

d-BA 2018

I rischi fisici nei luoghi di lavoro

Atti a cura di:
S. Goldoni, P. Nataletti, N. Della Vecchia

Bologna, 17 ottobre 2018





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

d-BA2018

I rischi fisici nei luoghi di lavoro

Convegno Nazionale promosso da:



In collaborazione con:



Bologna, 17 ottobre 2018

Atti a cura di:

S. Goldoni, P. Nataletti, N. Della Vecchia

Comitato Promotore

Adriana Giannini	Regione Emilia-Romagna
Ester Rotoli	INAIL DC Prevenzione
Massimo Annicchiario	Azienda USL di Modena

Comitato Scientifico

Carlo Biancifiori	Eni S.p.A. Milano
Luisa Biazzi	Università degli Studi di Pavia
Massimo Bovenzi	Università degli Studi di Trieste
Monica Carfagni	DIEF Università di Firenze
Gian Marco Contessa	ENEA
Nicoletta Cornaggia	GTISSLL – Regione Lombardia
Pasquale Di Palma	INAIL - SSC
Dario D’Orazio	DIN Università di Bologna
Davide Ferrari	Azienda USL di Modena
Liliana Frusteri	INAIL - Contarp centrale
Francesco Frigerio	ICS Maugeri Spa Pavia
Massimo Garai	DIN - Università di Bologna
Alessandro Giomarelli	USL Toscana sud est
Andrea Gnudi	Ordine degli Ingegneri di Bologna
Silvia Goldoni	Azienda USL di Modena
Sergio Iavicoli	INAIL - DiMEILA
Fabio Lo Castro	CNR-INM Roma
Sergio Luzzi	Vie en.ro.se. Ingegneria, Firenze
Alessandro Merlino	CeSNIR, Villasanta (MB)
Lucia Miligi	ISPRO Firenze
Giuseppe Monterastelli	Regione Emilia-Romagna
Iole Pinto	Usl Toscana Sud-Est
Alessandro Polichetti	ISS
Raffaella Raffaelli	Ord. Interpr. Chimici e Fisici Emilia R.
Enrica Zinzini	Medico Oculista

Segreteria Scientifica

Silvia Goldoni

Azienda USL di Modena

Pietro Nataletti

INAIL - DiMEILA

Nino Della Vecchia

Azienda USL di Modena

Segreteria Organizzativa

Morena Piumi: formazionesp@ausl.mo.it

Redazione atti:

Silvia Goldoni, Nino Della Vecchia

Azienda USL di Modena - Dipartimento di Sanità Pubblica - SPSAL

Via Martiniana, 21 Baggiovara – 41126 Modena; Tel. 059-3963100

PRESENTAZIONE

Questo volume raccoglie gli Atti del Convegno “**dba2018 – I rischi fisici nei luoghi di lavoro**” che si è tenuto a Bologna il 17 ottobre 2018.

Il Convegno, incentrato come sempre sulla tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, è stato organizzato dalla *Regione Emilia Romagna*, Assessorato alla Sanità, dall'*Azienda Unità Sanitaria Locale di Modena*, Dipartimento di Sanità Pubblica e dall'*INAIL*, Istituto Nazionale Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro.

L'edizione di **dba2018** sarà inclusiva di approfondimenti relativi a tutti i rischi fisici nei luoghi di lavoro: l'intento è quello di raccogliere il contributo degli esperti e dei professionisti del settore, condividere conoscenze ed esperienze per la valutazione del rischio occupazionale derivante dalla esposizione ad agenti fisici, mediante la presentazione delle novità legislative in materia, l'analisi delle criticità derivanti dalla loro applicazione, nonché di casi e studi in ambito industriale, sanitario e di ricerca.

Il Convegno si rivolge ai tecnici privati e pubblici di igiene industriale, ai medici competenti, ai responsabili e agli addetti dei servizi di prevenzione e protezione aziendali.

Gli Atti di **dba2018**, disponibili anche in formato elettronico, si avvalgono dei contributi dei principali esperti del settore a livello. Ci auguriamo che i materiali presentati possano essere di valido ausilio per gli operatori della tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

Ringrazio il Comitato Promotore, il Comitato Scientifico, la Segreteria Scientifica, gli Autori delle relazioni qui raccolte, i partecipanti al Convegno, la Redazione e tutti coloro che hanno contribuito con il loro impegno all'organizzazione della manifestazione.

Il Responsabile Scientifico
Silvia Goldoni



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

Programma

I sessione

- 9,00 Registrazione dei partecipanti ECM e CFP
- 9,30 Apertura dei lavori - Saluti delle Autorità
- 10,00 Rumore: bonifiche acustiche in ambienti di lavoro e di vita - casi studio e incentivi (Pietro Nataletti, Diego Annesi - INAIL DiMEILA)
- 10,20 Comfort e qualità acustica degli ambienti di lavoro - classificazione e tecniche per l'analisi e la progettazione acustica degli ambienti di lavoro (Sergio Luzzi - Vie En.Ro.Se. Ingegneria Firenze, Monica Carfagni - Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) Università di Firenze)
- 10,40 Il comfort acustico degli uffici open plan (Massimo Garai, Dario D'Orazio - Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Bologna)
- 11,00 Nuovi criteri per la valutazione dei rischi da esposizione a vibrazioni mano-braccio (ISO/TR 18570:2017) e a vibrazioni e shock meccanici trasmessi al corpo intero (ISO/CD 2631-5) (Massimo Bovenzi - Unità Clinica Operativa di Medicina del Lavoro, Dipartimento di Scienze Mediche, Chirurgiche e della Salute, Università degli Studi di Trieste)
- 11,20 Rischio professionale da vibrazioni nel settore del trasporto merci su gomma e nel trasporto passeggeri urbano ed extraurbano. (Stefano Casini - ConTARP INAIL Direzione Regionale Sicilia)
- 11,40 La conoscenza dei cicli lavorativi in agricoltura per la valutazione dell'esposizione a rischio vibrazioni e sovraccarico biomeccanico (Massimo Cervellati, Nunzio Papapietro - ConTARP INAIL Direzione Regionale Puglia)
- 12,00 Radiazioni ottiche naturali nei lavori outdoor: valutazione, percezione e prevenzione del rischio cancerogeno. (Lucia Miligi - SS di Epidemiologia dell'ambiente e del lavoro, ISPRO - Istituto per lo Studio, la Prevenzione e la Rete Oncologica - Firenze, Iole Pinto - Laboratorio di Sanità pubblica AUSL Toscana Sud Est - Siena)
- 12,20 La valutazione del rischio microclima dalla A alla Z. Michele del Gaudio (INAIL U.O. Territoriale di Avellino), Daniela Freda (INAIL DIT Roma)
- 12,40 Dibattito
- 13,00 Chiusura della I° Sessione del Convegno

d3A2018

I rischi fisici nei luoghi di lavoro

Programma

II sessione

- 14,30 Valutazione dello stress termico per lavoratori sottoposti ad alti carichi, in regime di non applicabilità delle metodiche WGBT e PHS (Alessandro Merlini - CeSNIR srl - Villasanta MB)
- 14,50 Metodologia di monitoraggio e valutazione degli infrasuoni ed ultrasuoni: prime applicazioni presso siti industriali Eni (Fabio Lo Castro – CNR INM Sezione di Acustica e Sensoristica O.M. Corbino, Roma)
- 15,10 Atmosfere iperbariche: l'esperienza del cantiere dell'isola del Giglio (Alessandro Giomarelli - Azienda USL Toscana Sud Est - Grosseto)
- 15,30 Radiazioni ottiche artificiali. Patologie oculari da ROA. Stato dell'arte, casi studio e criticità (Enrica Zinzini - Medico Oculista, Iole Pinto - Laboratorio di Sanità pubblica AUSL Toscana Sud Est - Siena)
- 15,50 Dai puntatori ai laser show: rischio laser solo nel luogo di lavoro? (Francesco Frigerio - ICS Maugeri Spa Pavia, Luisa Biazzini - Università degli Studi di Pavia)
- 16,10 Il D.Lgs.159/2016 a due anni dall'entrata in vigore: novità e criticità (Rosaria Falsaperla - INAIL DiMEILA)
- 16,30 Sviluppo ed utilizzo di uno strumento web per l'elaborazione delle misure di esposizione al campo magnetico di bassa frequenza e la determinazione dell'indice di picco ponderato (Moreno Comelli - IFAC CNR Firenze)
- 16,50 Dibattito
- 17,30 Chiusura della II° Sessione del Convegno

Indice generale

RELAZIONI

RUMORE: BONIFICHE ACUSTICHE IN AMBIENTI DI LAVORO E DI VITA - CASI STUDIO E INCENTIVI

Diego Annesi, Pietro Nataletti, Antonio Moschetto, Domenico Magnante, Ilaria Barra pag.1

COMFORT E QUALITÀ ACUSTICA DEI LUOGHI DI LAVORO - CLASSIFICAZIONE DEGLI AMBIENTI E METODOLOGIA PER L'ANALISI E LA PROGETTAZIONE ACUSTICA

Sergio Luzzi, Monica Carfagni, Lucia Busa, Francesco Borchì, Lapo Governi, Stefano Baldini, Pietro Nataletti pag.15

IL COMFORT ACUSTICO DEGLI UFFICI OPEN PLAN

Dario D'Orazio, Elena Rossi, Massimo Garai pag.31

NUOVI CRITERI PER LA VALUTAZIONE DEI RISCHI DA ESPOSIZIONE A VIBRAZIONI MANO-BRACCIO (ISO/TR 18570:2017) E A VIBRAZIONI E SHOCK MECCANICI TRASMESSI AL CORPO INTERO (ISO/CD 2631-5)

Massimo Bovenzi pag.43

RISCHIO PROFESSIONALE DA VIBRAZIONI NEL SETTORE DEL TRASPORTO MERCI SU GOMMA E NEL TRASPORTO PASSEGGERI URBANO ED EXTRAURBANO

Stefano Casini pag. 63

LA CONOSCENZA DEI CICLI LAVORATIVI IN AGRICOLTURA PER LA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE A RISCHIO VIBRAZIONI E SOVRACCARICO BIOMECCANICO

Massimo Cervellati, Nunzio Papapietro pag.75

RADIAZIONI OTTICHE NATURALI NEI LAVORI OUTDOOR: VALUTAZIONE, PERCEZIONE E PREVENZIONE DEL RISCHIO CANCEROGENO

Lucia Miligi, Iole Pinto, Andrea Bogi, S. Piro pag.83

LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO MICROCLIMA DALLA A ALLA Z
**Michele del Gaudio, Daniele Leone, Adele Pomponio, Angela Nicotera,
Daniela Freda, Raffaele Sabatino, Pietro Nataletti, Paolo Lenzuni**
pag.97

VALUTAZIONE DELLO STRESS TERMICO PER LAVORATORI
SOTTOPOSTI AD ALTI CARICHI, IN REGIME DI NON
APPLICABILITÀ DELLE METODICHE WBGT E PHS
**Alessandro Merlino, Gianluca Gambino, Daniele Meda, Gabriele
Quadrio**
pag. 113

METODOLOGIA DI MONITORAGGIO E VALUTAZIONE DEGLI
INFRASUONI ED ULTRASUONI: PRIME APPLICAZIONI PRESSO
SITI INDUSTRIALI ENI
**Fabio Lo Castro, Sergio Iarossi, Massimiliano De Luca, Carlo
Biancifiori**
pag. 151

ATMOSFERE IPERBARBARICHE: L'ESPERIENZA DEL CANTIERE
DELL'ISOLA DEL GIGLIO
Alessandro Giomarelli
pag. 169

RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI: PATOLOGIE OCULARI DA
ROA
Enrica Zinzini
pag. 185

RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI: STATO DELL'ARTE, CASI
STUDIO E CRITICITÀ
Iole Pinto, Andrea Bogi, Francesco Picciolo, Nicola Stacchini
pag. 197

DAI PUNTATORI AI LASER SHOW: RISCHIO LASER SOLO NEL
LUOGO DI LAVORO?
Francesco Frigerio, Luisa Biazzi, Chiara Mariotti, Filippo Scortichini
pag. 211

IL D. LGS. 159/2016 A DUE ANNI DALL'ENTRATA IN VIGORE:
NOVITÀ E CRITICITÀ
**Rosaria Falsaperla, Andrea Bogi, Gian Marco Contessa, Iole Pinto,
Alessandro Polichetti**
pag. 231

SVILUPPO ED UTILIZZO DI UNO STRUMENTO WEB PER L'ELABORAZIONE DELLE MISURE DI ESPOSIZIONE AL CAMPO MAGNETICO DI BASSA FREQUENZA E LA DETERMINAZIONE DELL'INDICE DI PICCO PONDERATO

Daniele Andreuccetti, Moreno Comelli, Simona D'Agostino, Rosaria Falsaperla, Nicola Zoppetti pag. 247

VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DI UNA SCHERMATURA ELETTRROMAGNETICA PER LA RIDUZIONE DELL'ESPOSIZIONE AI CEM EMESSI DA PUNTATRICI ELETTROMECCANICHE

Andrea Bogi, Nicola Stacchini, Iole Pinto, Rosaria Falsaperla, Giancarlo Burriesci, Francesco Picciolo, Marco Alveli, Sauro Paperini pag. 261

ERGONOMIA ED ACUSTICA NELLA DIDATTICA MUSICALE

Raffaele Mariconte, Claudia Giliberti, Fabio Lo Castro, Sergio Iarossi, Lucia Longo, Maria Patrizia Orlando pag. 269

RISULTATI PRELIMINARI DEL PROGETTO BRIC INAIL: TECNICHE DI VALUTAZIONE DELLA DOSE AL CRISTALLINO PER I LAVORATORI ESPOSTI ALLE RADIAZIONI IONIZZANTI IN CAMPO MEDICO, MODELLIZZAZIONE DEI RELATIVI EFFETTI BIOLOGICI E STRATEGIE DI RIDUZIONE DEL RISCHIO RADIOINDOTTO

Claudia Giliberti, Raffaella Marconi, Daniela D'Alessio, Vicente Bruzzaniti, Mauro Iori, Federica Fioroni, Marco Bertolini, Antonella Sgura, Ion Udroi, Antonella Rosi, Sveva Grande, Alessandra Palma, Marco Sumini, Lidia Strigari pag. 283

CORRETTA ALIMENTAZIONE DEI LAVORATORI ESPOSTI AD AMBIENTI SEVERI CALDI

Michele del Gaudio, Daniela Freda, Michele Di Stasio, Maria Grazia Volpe pag. 297

PIANO DI GESTIONE INTEGRATA DEL RUMORE DI CANTIERE (PGRUM) – CASO DI STUDIO: DEMOLIZIONE DI UN FABBRICATO

Papa Augusto, Addonizio Pasquale pag. 307

I RISCHI DA AGENTI FISICI NEL SETTORE DELLA PESCA. LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE E VIBRAZIONI NEL SETTORE PESCA NELLE MARINERIE PUGLIESI

Caradonna Luigi, Cervellati Massimo, Mario Tavolaro pag. 319

ANALISI DEGLI INTERVENTI DI VIGILANZA DELLE ASL DELLE
REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA IN MATERIA DI RISCHIO
RUMORE E VIBRAZIONI, NEI COMPARTI A MAGGIOR RISCHIO
**Silvia Goldoni, Nino Della Vecchia Antonio Santarpia, Silvana Gatti,
Marco Gatti, Francesco Demontis, Alessandra Figini** pag. 333

La biblioteca di  & altre Pubblicazioni

pag. 365



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

RUMORE: BONIFICHE ACUSTICHE IN AMBIENTI DI LAVORO E DI VITA - CASI STUDIO E INCENTIVI

Diego Annesi⁽¹⁾, Pietro Nataletti⁽¹⁾, Antonio Moschetto⁽¹⁾, Domenico Magnante⁽²⁾, Ilaria Barra⁽²⁾

⁽¹⁾ INAIL, Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro ed Ambientale (DiMEILA), Monte Porzio Catone (Roma)

⁽²⁾ INAIL, Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione (CONTARP), Roma

1. Premessa.

Il presente lavoro di rassegna riporta una serie di interventi di mitigazione del rumore sia negli ambienti di lavoro che in quelli esterni.

L'importanza di una riduzione del rumore nei luoghi di lavoro non dipende solo dalla constatazione che l'ipoacusia costituisce in Italia una delle malattie professionali più diffuse, ma è un problema rilevante sotto il profilo sanitario, sociale ed economico. È ormai diffusa la consapevolezza che la riduzione del rumore è necessaria per realizzare ambienti di lavoro ergonomici: il rumore è infatti uno dei parametri che contribuiscono a caratterizzare negativamente la fruibilità di un luogo di lavoro. Analizzando il D.Lgs. 81/2008, il rumore è trattato nel Titolo VIII e nei suoi Capi I e II, che stabiliscono le modalità esecutive ed i requisiti della valutazione del rischio e del Documento di Valutazione del Rischio, richiamando più volte che l'obiettivo generale della valutazione del rischio è identificare le azioni che permettano la riduzione del rischio per una sua corretta gestione (controllo del rischio). Nello specifico, saranno trattati due esempi di bonifica di un ambiente di lavoro industriale: nel primo è stata utilizzata la metodica di caratterizzazione del decadimento spaziale quale indice di

caratterizzazione del luogo di lavoro; nel secondo è stato effettuato un intervento di tipo organizzativo corredato da una barriera acustica.

Per quanto riguarda l'ambiente esterno e di vita, gli effetti negativi dell'inquinamento acustico sulla salute umana e sulla qualità della vita sono ormai noti e rappresentano uno dei più gravi (e sottovalutati) problemi ambientali, a causa dell'elevato e diffuso impatto sulla popolazione. Molte ricerche specialistiche hanno infatti dimostrato come alcuni effetti, quali l'incidenza di disturbi del sonno, ipertensione e malattie cardiovascolari, siano più diffusi tra la popolazione che vive nella congestione di città particolarmente rumorose, rispetto a quella meno sottoposta ai rumori [1]. Nel caso specifico viene esaminato il disturbo arrecato ad un casale isolato dalla vicina strada statale a scorrimento veloce. In questo caso si è intervenuti con una barriera a basso impatto ambientale, in quanto risulta essere propensa alla integrazione nel contesto grazie alla possibilità di essere ricoperta dalla vegetazione locale.

2. Esempio di caratterizzazione acustica e diminuzione del tempo di riverbero attraverso la caratterizzazione del DL_2 .

La caratterizzazione acustica di un capannone industriale è stata effettuata seguendo il protocollo indicato dalla norma standardizzata UNI EN ISO 14257:2004 [2]. Per meglio studiare la curva di distribuzione spaziale alle diverse distanze, è stato ritenuto opportuno soffermarsi sul calcolo dell'indice di attenuazione spaziale dei livelli di pressione sonora al raddoppio della distanza, (DL_2), fortemente condizionato da un altro parametro acustico di primaria importanza, ovvero il tempo di riverberazione. La curva di decadimento del suono nello spazio è stata individuata a partire da un cammino di raccolta punti che, ponendo il microfono ad un'altezza di 1,55 m dal suolo, si muove con visuale libera sulla sorgente sonora. (Figura 1).

L'insieme delle procedure di misura serve, quindi, a produrre una curva di distribuzione spaziale in bande di frequenza, a cui, successivamente, si applicano algoritmi di calcolo per l'estrazione, in ciascun intervallo di distanze, del descrittore DL_2 . Questi scopi metrologici sono dettagliati nella norma UNI EN ISO 14257:2004. Alle curve di distribuzione spaziale sono stati applicati algoritmi di calcolo al fine di estrarre, per la qualificazione acustica ambientale, un valore univoco di DL_2 , pari a 2,88 dB [2]. Il modello digitale 3D, utilizzato per la simulazione della propagazione acustica all'interno dell'ambiente, è stato costruito a partire dalla planimetria dello stabilimento fornita dalla Committenza. La fase successiva alla costruzione del modello architettonico prevede lo studio e la raccolta di tutti i materiali caratterizzanti il capannone industriale.

Una volta fissati materiali, sorgente e ricettori, è stato possibile procedere con la taratura vera e propria del modello architettonico. Nello specifico, noto il livello di pressione acustica misurato, si esegue la simulazione dello stato di fatto e si valutano le eventuali discrepanze tra livello di pressione sonora misurato e quello simulato: se rilevanti, si interviene sul coefficiente di assorbimento di uno o più materiali nelle bande d'interesse, modificandolo opportunamente, quindi si ripete la simulazione. Tra le varie ipotesi progettuali avanzate ai fini del risanamento acustico, si è deciso di effettuare un trattamento fonoassorbente ambientale che garantisca un abbattimento delle onde riflesse. Nello specifico, allo scopo di ridurre il tempo di riverbero entro il limite consentito e, di conseguenza, aumentare il DL_2 oltre i valori minimi accettabili, si è scelto di posizionare in punti strategici unità assorbenti opportunamente dimensionate, definite baffles. Partendo da un DL_2 medio iniziale di 2,88 dB, questo subisce un incremento man mano che si aumenta il numero di unità assorbenti all'interno dell'ambiente oggetto di studio. Tuttavia, aumentando il numero di baffles oltre i 56, è evidente come l'incremento del DL_2 medio sia nullo o comunque poco significativo. In definitiva, dalle varie simulazioni svolte, l'ipotesi progettuale indicata per la riduzione del tempo di riverbero prevede l'installazione di 56 baffles biassorbenti sull'area sovrastante le macchine a cui sono associate le principali emissioni sonore. Così facendo i calcoli previsionali mostrano come il DL_2 medio assuma un valore pari a 3,32 dB, conforme a quello riportato nel prospetto 3 della norma UNI EN ISO 11690-1:1998 (Tabella 1) [3].



Figura 1: Fase sperimentale della misura del decadimento spaziale.

d-A2018

L'intervento di agire tramite i baffles e diminuire di conseguenza il tempo di riverbero e l'energia riflessa ha portato ad un abbassamento medio del rumore in campo riverberante (lontano dalle macchine) di circa 5 dB(A), ottenuti dalla simulazione acustica.

DL_2 ante operam = 2,88 dB	DL_2 ottimale > 3 - 4 dB
DL_2 post operam = 3,32 dB	

Tabella 1: Qualificazione acustica ambientale in riferimento al DL_2 medio.

3. Esempio di interventi tecnici e organizzativi.

Così come riporta la norma UNI 11347:2015 “Acustica - Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro” [4], effettuando un attento studio sulla macchina si può diminuire l'emissione sonora senza stravolgere il funzionamento e a volte a “costo zero”.

L'esempio trattato riguarda una bonifica di tipo tecnico e organizzativo eseguito su una macchina che produce bottiglie in plastica. La realizzazione delle bottiglie in plastica nasce a seguito della fusione dei PET. Il PET fuso iniettato in uno stampo dà vita alla preforma, la quale attraverso un'ulteriore fase di lavorazione, (soffiaggio) prenderà le sembianze di bottiglia destinata a contenere bevande ad uso elementari, olio o detergenti. Una preforma è costituita da un finish, (o collo della bottiglia), che non verrà modificato in fase di soffiaggio. Il PET allo stato liquido viene convogliato dalla rotazione della vite in una camera di iniezione in quantità tale da riempire il totale delle cavità montate sullo stampo. Quando lo stampo si chiude, il PET fuso viene iniettato all'interno delle cavità dove entra a contatto con la matrice da cui prenderà forma solidificando. Nello specifico è stata esaminata una fase di lavorazione che prevede il riempimento per gravità di un contenitore di PET necessarie alla realizzazione di bottiglie in plastica.

Come si può vedere nelle Figura 2, la fase iniziale della produzione di bottiglie consiste nel riempire il cassone di PET che saranno processate a caldo dalla macchina di stampaggio. Questa operazione prevede la caduta per gravità di numerose PET in un lasso di tempo limitato. La bonifica, ipotizzata e realizzata, consiste nel “chiudere” la bocca di carico e far scendere per gravità un numero minore di PET, allungando il tempo di caduta. Questa sezione iniziale della linea di produzione corrisponde a una postazione fissa di controllo da parte di un operatore, per il quale è stato misurato il livello sonoro di esposizione secondo le normative tecniche di riferimento [5, 6]. Al fine di verificare la bontà dell'intervento, sono state eseguite misure nella stessa postazione sia nella fase definita “Ante-operam”, prima dell'intervento, che “post-operam”, dopo l'intervento.



Figura 2: Fase di scarico dei PET nel contenitore.

Di seguito, in Figura 3, sono rappresentati gli andamenti del segnale nel tempo dove si può vedere la diminuzione del livello di emissione sonora e il relativo aumento del tempo di caduta del materiale (PET) nel contenitore di carico della macchina.

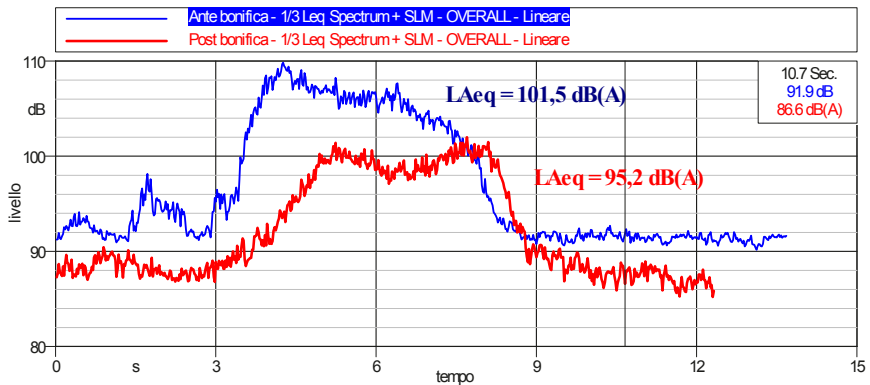


Figura 3: Time history della fase di scarico.

(Blu-ante bonifica - Rosso post-bonifica)

Il risultato ottenuto è una diminuzione di ben 6,3 dB(A) del livello L_{Aeq} di esposizione, con il solo intervento di tipo organizzativo.

Successivamente, sempre sulla stessa macchina è stato realizzato un intervento di mitigazione della emissione sonora, tramite l'utilizzo di un cabinato fono-assorbente e fono-impedente (lato rivolto verso la macchina), in grado di abbassare ulteriormente il livello di pressione sonora (Figura 4).



Figura 4: posizionamento della barriera in prossimità della macchina

Il livello di pressione sonora ottenuto nella postazione del lavoratore dopo l'introduzione di una barriera (Tabella 2) è di 81,3 dB(A). La combinazione dei due interventi (organizzativo e l'introduzione di una barriera) ha comportato una diminuzione di ben 20,2 dB(A). Si rende necessario sottolineare che per ottenere lo stesso risultato, se si interveniva con la sola barriera, le prestazioni acustiche della stessa dovevano essere notevolmente superiori con i relativi costi aggiunti.

L_{Aeq} ANTE-OPERAM dB(A)	L_{Aeq} POST-OPERAM dB(A)
95,2	81,3

Tabella 2: Riepilogo dei risultati ottenuti dagli interventi tecnico organizzativi e dalla introduzione di una barriera.

4. Esempio di mitigazione utilizzando una barriera

Si riporta di seguito un esempio di mitigazione acustica tramite una barriera naturale. Il progetto è stato simulato tramite un software di simulazione acustica. Nello specifico, al fine di migliorare la qualità acustica presso il casale denominato "Casale del Principe", ubicato nel territorio comunale di Massa Martana, sono stati sviluppati diversi scenari e valutati gli effetti risultanti con il modello acustico previsionale. Il suddetto casale si sviluppa su due edifici di due piani (casale edificio 1 e 2), posizionati ad una quota superiore rispetto all'infrastruttura stradale E45, che rappresenta nell'area la sorgente acustica preponderante. Sono

d-A2018

presenti anche una viabilità secondaria, che raccorda le viabilità di accesso alle diverse pertinenze, e una linea ferroviaria con transiti non significativi: il loro contributo sul clima acustico dell'area si può ritenere trascurabile, in relazione al volume di traffico della E45. In accordo con la norma vigente, Decreto Ministeriale 16 Marzo 1998 *Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico* [7], lo stato attuale è stato valutato con un monitoraggio fonometrico settimanale a un metro dalla facciata più esposta dei due edifici di pertinenza e ad una quota di 4 metri: per l'intero periodo di misura il valor medio per il periodo di riferimento diurno risulta pari a 58,5 dB(A), mentre per il periodo di riferimento notturno è pari a 53,5 dB(A) (misura dal 19 al 26 settembre 2016). Pur se tali valori rientrano nei limiti indicati dal DPR 142/2004, si deve tener conto che il casale punta su una fruizione delle proprie pertinenze legata a criteri acustici di qualità propri di un ambiente rurale, nel quale la quiete rappresenta un requisito fondamentale.

Si ritiene pertanto opportuno il conseguimento dei seguenti valori obiettivo:

- Periodo di riferimento diurno: livello di immissione ≈ 55 dBA
- Periodo di riferimento notturno: livello di immissione ≈ 50 dBA

A partire dallo stato di fatto sono state pertanto portate una serie di simulazioni con diverse condizioni di mitigazione, sia direttamente sulla sorgente stradale, sia sulla via di propagazione del rumore. In questa sede saranno riportate esclusivamente le barriere posizionate in prossimità del casale esaminato.

L'ipotesi progettuale prevede l'inserimento di una barriera aventi le caratteristiche acustiche riportate in Tabella 3 e Figura 5.

Secondo normativa DIN EN ISO 717-1 e DIN EN 1793		
	Isolamento acustico al rumore aereo	Assorbimento
PLANTA BASIC	RW (C;Ctr) = 34 (-2;-6) dB; DL _n 28 dB (Gruppo B3)	DL _n = 9 dB (Gruppo A3)

Tabella 3. Caratteristiche acustiche di attenuazione della barriera "Planta Basic" dichiarate dalla Rottensteiner



Figura 5: immagini raffiguranti esempi di installazione della barriera “Planta Basic” prodotta dalla Rottensteiner

L'intervento ipotizzato si sviluppa linearmente per circa 150 metri e con altezza costante pari a 4 metri, da ubicare in prossimità del ricettore sul limite di proprietà (lato interno). Di seguito sono rappresentate (Figura 6) le curve di isolivello ottenute dalla simulazione acustica ipotizzando la barriera sopra descritta.

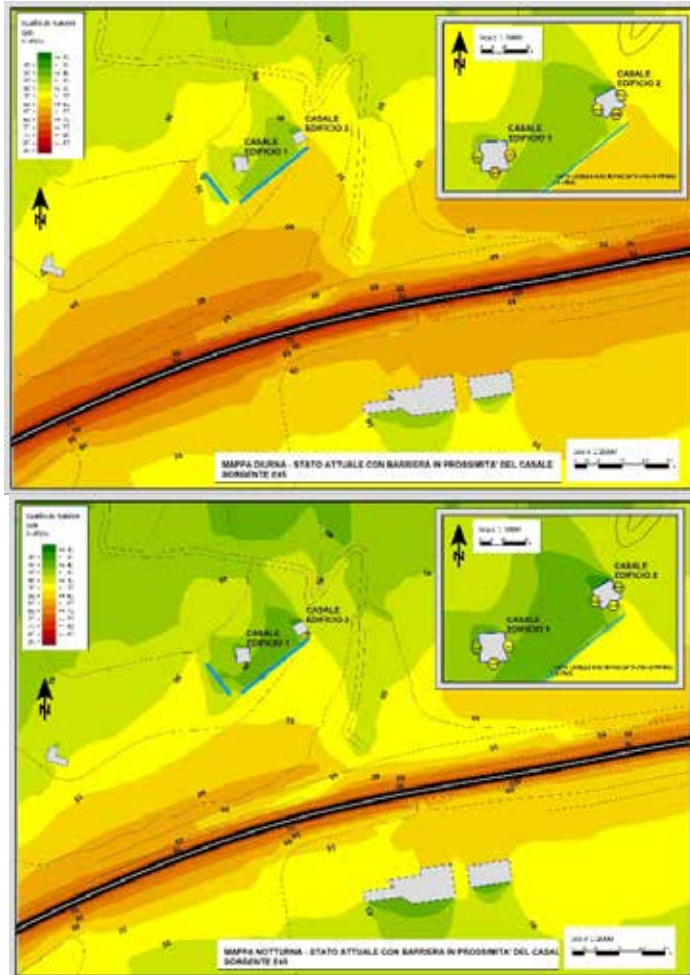


Figura 6: Mappatura acustica ottenuta dalla simulazione riferita al periodo di riferimento diurno e notturno.

I risultati ottenuti analizzando la Tabella 4 portano ad una importante diminuzione della immissione sonora simulata in facciata agli opifici, che si attestano in 6,9-9,2 dB(A) nel periodo di riferimento diurno e in 7,0-9,2 dB(A) riferiti al periodo di riferimento notturno.

	Risultati ante-operam		Risultati post-operam		Differenza Periodo Diurno	Differenza Periodo notturno
	diurno [dBA]	notturno [dBA]	diurno [dBA]	notturno [dba]		
Postazione di controllo						
casale - edificio 1	56,0	50,7	49,1	43,7	6,9	7,0
casale - edificio 2	51,8	46,5	42,6	37,3	9,2	9,2

Tabella 4: Riepilogo delle simulazioni divise per i due edifici

5. Incentivi ISI

Gli avvisi pubblici ISI dell'Inail, a favore delle imprese che investono in sicurezza, costituiscono ormai da quasi un decennio una interessante opportunità per avviare azioni di prevenzione volte al miglioramento delle condizioni di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, principalmente da parte delle piccole, medie e micro imprese.

L'istituto ha messo in campo ingenti risorse economiche: la somma complessivamente stanziata a partire dal 2010 è pari a circa 1.810 milioni di Euro, per il sovvenzionamento di questi progetti che, nell'ultimo triennio, prevedono finanziamenti in conto capitale pari al 65% delle spese finanziabili, con importi massimi, per singolo progetto, fino a 130.000 Euro.

L'esperienza maturata nel corso della gestione dei Bandi ISI ha portato a modulare e specializzare sempre di più i parametri di accesso ai finanziamenti, per consentire alle imprese di orientarsi verso interventi sempre più efficaci nella riduzione dei rischi presenti nei luoghi di lavoro.

Per quel che concerne in particolare il rischio rumore, numerosi sono stati i progetti volti alla riduzione di tale rischio finanziati nel corso degli anni, in particolare tale studio si focalizza sui progetti presentati dal Bando ISI 2014 al Bando ISI 2016.

I dati relativi al numero di progetti riguardanti il rischio rumore presentati dalle imprese che hanno superato la fase del click day sono riepilogati in Tabella 5.

Dai dati emerge che il numero di progetti presentati dalle ditte nel corso degli anni per lo specifico rischio rimane significativo; il leggero calo evidenziato in Tabella 5, segue il calo dei progetti totali, con la percentuale dei progetti relativi alla riduzione del rischio legato al rumore rispetto al totale dei progetti pari all'11% come media nel triennio considerato. Per quel che concerne invece l'importo richiesto, la media nel triennio è pari a circa 100.000 Euro a progetto.

I progetti hanno riguardato sostanzialmente la riduzione del rischio di esposizione mediante la sostituzione di macchine con altre che presentano un livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A (L_{Aeq}) e un livello di potenza sonora ponderata A (L_{WA}) inferiori. Solo un numero limitato dei progetti presentati ha riguardato interventi ambientali sulla trasmissione e propagazione del rumore, numero che nel corso del triennio è passato dall'11% al 3% rispetto al totale dei progetti rumore, nonostante l'aumento del punteggio attribuito agli interventi ambientali (Figura 7).

BANDI ISI	2014	2015	2016
Numero totale progetti presentati	3.434	3.382	2.842
Progetti sostituzione macchine	381	317	297
Interventi ambientali	48	22	10
Totale progetti rumore	429	339	307
Percentuale progetti rumore	12	10	11
Importo medio richiesto per progetti rumore (€)	94.385	100.352	105.401

Tabella 5: Progetti relativi al rischio rumore nei Bandi ISI 2014-2016.

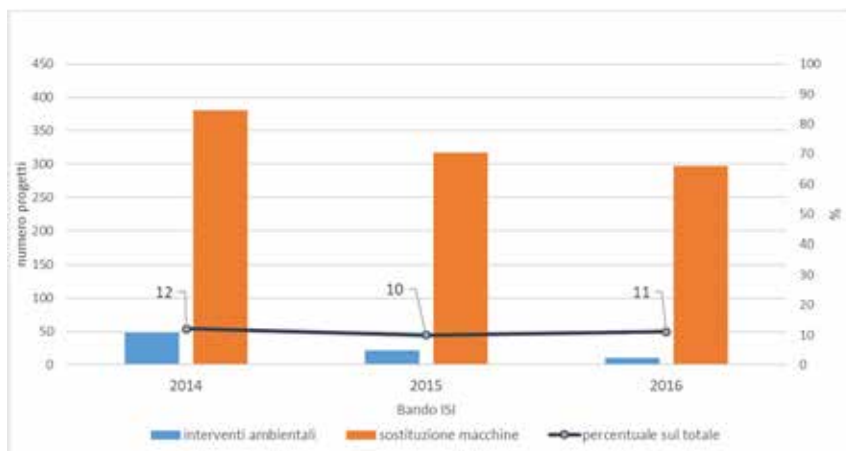


Figura 7: Progetti relativi alla riduzione del rischio rumore richiesti dalle imprese per i Bandi ISI 2014-2016

Per quel che riguarda infine la tipologia dei settori economici che hanno richiesto i progetti relativi alla riduzione del rumore per il Bando ISI 2016, si evince una percentuale preponderante di progetti nel settore edile, pari al 34%, seguita dalla fabbricazione prodotti in metallo, dal settore agricolo forestale e dalla ristorazione che raggiungono una percentuale del 7% (Figura 8).

Dai dati riportati, emerge che tra i settori in cui vi è stata una maggiore richiesta di progetti volti alla riduzione del rischio rumore sono presenti quelli caratterizzati da un maggior numero di casi riconosciuti di ipoacusia, segno di una consapevolezza della presenza del rischio da parte delle aziende.

Si evidenzia, tuttavia, il ricorso massiccio alla sostituzione di macchine a scapito degli interventi sugli ambienti di lavoro, che denota una scarsa capacità da parte delle aziende e dei loro consulenti di proporre interventi di tutela più corretti e più efficaci per la protezione dei lavoratori, anche se più complessi. Infatti, non c'è dubbio che, a parità di costo, la sostituzione di una macchina è un intervento più semplice dal punto di vista tecnico ma protegge prevalentemente solo l'addetto alla macchine, mentre un intervento ambientale di fonoisolamento/fonoassorbimento sulle sorgenti e/o sulle vie di propagazione del rumore è un intervento più complesso da progettare ed a realizzare, ma protegge tipicamente un maggior numero di addetti ed ha un impatto sulla qualità dell'ambiente di lavoro e sugli effetti sulla salute superiore¹ [9].



Figura 8: Distribuzione percentuale dei progetti relativi alla riduzione rumore nei settori ATECO per il bando ISI 2016

¹ Si veda a tale proposito il parametro η (rapporto costo/benefici, in €/dB) definito dalla UNI 11347:2015 (par. 4.3.2.3)

6. Conclusioni

Nelle statistiche assicurative dell'INAIL la voce di malattia ICD X “Effetti del rumore sull'orecchio interno - ipoacusia da rumore, trauma acustico” è ancora una delle patologie professionali più frequentemente denunciate, con un trend che seppure in diminuzione (si passa dai 5.354 casi denunciati nel 2011 a 4.547 casi denunciati nel 2017, fonte <https://bancadaticsa.inail.it>), colloca questa patologia tra le prime dieci in Italia. Tra i comparti con maggior numero di casi riconosciuti di ipoacusia risultano le costruzioni e la metalmeccanica, che insieme raggruppano oltre il 60% dei casi, seguiti dalla trasformazione di minerali non metalliferi, dalle attività dei servizi e dalla lavorazione del legno.

Risulta evidente quindi che in questi comparti l'ulteriore diminuzione delle ipoacusie passi necessariamente per un aumento degli interventi tecnici di prevenzione e protezione, le cosiddette bonifiche acustiche. Gli strumenti tecnici (le norme tecniche, manuali operativi e linee guida) e finanziari (incentivi ISI, OT/24) ci sono, occorre diffondere le informazioni e le conoscenze tra le imprese e i consulenti, come l'INAIL sta facendo da diversi anni. Dal punto di vista tecnico, si citano a questo proposito la sezione rumore del PAF (www.portaleagentifisici.it), con strumenti quali la banca dati delle bonifiche acustiche, e il corso di alta formazione “Bonifiche acustiche in ambienti di vita e di lavoro” realizzato in collaborazione con l'ISPRA².

² <https://www.inail.it/cs/internet/attivita/prevenzione-e-sicurezza/formazione/calendario-corsi/corso-bonifiche-acustiche-ambienti-lavoro-vita.html>

BIBLIOGRAFIA

- [1] World Health Organization “*Biological mechanisms related to cardiovascular and metabolic effects by environmental noise*”, Regional Office for Europe, Copenhagen 2018. Vedi anche articoli di rassegna su Int. J. Environ. Res. Public Health 2017, Vol. 14 e 2018, Vol. 15
- [2] Norma UNI EN ISO 14257:2004 “*Acustica – Misurazione e descrizione parametrica delle curve di decadimento del suono nello spazio degli ambienti di lavoro per la valutazione delle loro prestazioni acustiche*”
- [3] Norma UNI EN ISO 11690-1:1998 “*Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario - Strategie per il controllo del rumore*”
- [4] Norma UNI 11347:2015 “*Acustica - Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro*”
- [5] Norma UNI EN ISO 9612:2011 “*Acustica - Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro - Metodo tecnico progettuale*”
- [6] Norma UNI 9432:2011 “*Acustica - Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell' ambiente di lavoro*”
- [7] Decreto Ministeriale 16 Marzo 1998 “*Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico*”
- [8] Inail “*Rapporto annuale 2017*”, Roma luglio 2017
- [9] P. Lenzuni “*Il Rapporto costi-benefici e l'ottimizzazione degli interventi di bonifica acustica negli ambienti di lavoro*”, Rivista Italiana di Acustica 37 (1), 33 – 37 (2013).



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

COMFORT E QUALITÀ ACUSTICA DEI LUOGHI DI LAVORO - CLASSIFICAZIONE DEGLI AMBIENTI E METODOLOGIA PER L'ANALISI E LA PROGETTAZIONE ACUSTICA

Sergio Luzzi (1), Monica Carfagni (2), Lucia Busa (1), Francesco Borchi (1),
Lapo Governi (2), Stefano Baldini (2), Pietro Nataletti (3)

- (1) Vie en.ro.se. Ingegneria, Firenze
- (2) Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) – Università di Firenze
- (3) INAIL, Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, Roma

1 - INTRODUZIONE

Negli ambienti di lavoro, così come negli ambienti di vita, l'esposizione al rumore rappresenta uno dei fattori che maggiormente influenzano la qualità percepita dei luoghi. L'inquinamento acustico, prodotto da sorgenti interne ed esterne, determina scenari nei quali ai livelli di rischio uditivo ed extra-uditivo per la salute dei lavoratori, si uniscono livelli di peggioramento e degrado della qualità e della vivibilità degli ambienti.

Con l'evoluzione del concetto stesso di "luogo di lavoro", legata allo sviluppo delle tecnologie informatiche e ai nuovi modelli economici dominanti, è da considerare una possibile nuova visione aggiornata delle categorie e delle metodiche che hanno fin qui caratterizzato la valutazione e la bonifica del rumore in ambito occupazionale. Vi sono nuove e diverse sorgenti acustiche, nuove e diverse postazioni, condizioni e tempistiche di lavoro. Ferme restando le procedure di valutazione dei rischi che si sono affermate e aggiornate nel decennio di attuazione delle disposizioni del D.Lgs. 81/2018 [1], si hanno sempre maggiori evidenze di nuove correlazioni tra qualità degli ambienti di lavoro e situazioni di disagio

occupazionale, che meritano considerazione e, ove possibile, la definizione di nuove metodologie valutative da affiancare alle suddette procedure.

Nello specifico del rumore, le metodologie consolidate di calcolo dell'esposizione e di valutazione del rischio che hanno avuto origine si sono arricchite grazie al Testo Unico [1] e all'evoluzione delle norme di riferimento [2] [3], di nuovi elementi valutativi e correttivi, riguardanti, ad esempio, l'incertezza nelle sue componenti, l'efficacia ed efficienza degli otoprotettori, e soprattutto l'obbligo di programmare ed eseguire interventi di riduzione del rischio con l'obiettivo di migliorare la salubrità degli ambienti di lavoro.

Nella presente memoria, oltre ad un'introduzione sui concetti relativi all'habitat acustico dei luoghi di lavoro ed al significato del Global Comfort Design negli habitat lavorativi, vengono analizzate le procedure per l'analisi e la progettazione acustica dei luoghi di lavoro anche sulla base dei primi risultati del progetto di ricerca *“Definizione di linee guida innovative, basate sullo stato dell'arte attuale, ai fini della progettazione, costruzione, certificazione e bonifica di macchine, attrezzature e ambienti di lavoro a basso rischio di esposizione a rumore e vibrazioni per i lavoratori”* recentemente attivato e co-finanziato su Bando Ricerche In Collaborazione (BRIC) – Piano attività della ricerca discrezionale 2016-2018 di INAIL.

2 - L'HABITAT ACUSTICO E I LUOGHI DI LAVORO

Possiamo dire che il luogo di lavoro propriamente detto rappresenta una parte integrante e importante dell'habitat, ovvero del contesto di vita, le cui caratteristiche permettono a una comunità di svilupparsi e progredire. In quanto tale, l'ambiente di lavoro si collega agli ecosistemi e ai modelli di sviluppo e, in questi ambiti, al pari degli altri elementi che caratterizzano gli habitat, influenza la qualità della vita delle comunità che lo abitano.

Negli ambienti di lavoro, così definiti, la progettazione degli elementi di funzionalità e di sicurezza può essere contemporanea e integrata con la progettazione delle fonti di benessere percepito. Analogamente la considerazione, la conoscenza e la catalogazione di nuove patologie extra-uditiva e di nuove forme di malessere “da edificio malato”, derivanti da carenza di comfort ambientale, può portare a nuovi e diversi modelli valutativi, rispetto a quelli basati sulle consolidate procedure metrologiche e analitiche stabilite dal D.Lgs. 81/2008. Ma soprattutto, in questa nuova ottica, è la progettazione dei nuovi ambienti di lavoro e delle modifiche agli ambienti esistenti che può attingere alle esperienze di global comfort design dell'ambiente costruito per tutti gli aspetti legati alla definizione, correzione e qualificazione dei suoni che contribuiscono a rendere gradevole la fruizione di un ambiente e la protezione dai rumori che lo disturbano.

La definizione dello spazio sonoro, come parte significativa di un contesto funzionale più ampio, è uno degli elementi base della progettazione olistica,

visione e metodologia che privilegia soluzioni integrate, sostenibili ed ecocompatibili.

Da qui, la necessità di un approccio innovativo al controllo del rumore negli ambienti di lavoro, che vada oltre il mero rispetto dei limiti acustici e consideri i contesti culturali e funzionali degli spazi regolamentati.

La considerazione del benessere acustico percepito da chi abita e anima gli ambienti di lavoro è un approccio emergente che merita di essere esplorato e sviluppato. La sperimentazione messa in atto in progetti di riqualificazione acustica di ambienti di lavoro, basata sulle regole dell'acustica architettonica, normalmente usate per la progettazione di spazi destinati all'ascolto, ha già prodotto risultati interessanti [4]. Se a queste regole si uniscono quelle della Soundscapes Analysis e altri parametri olistici e di serendipità che collegano la progettazione acustica alle variabili del global comfort [5], si possono raggiungere livelli notevoli di ottimizzazione del benessere occupazionale oggettivo e soggettivo, come punto cardine della riqualificazione dell'habitat acustico delle persone e delle comunità.

3 - LA SALUTE NELL'HABITAT LAVORATIVO

Come è noto, il rumore produce sull'uomo effetti uditivi ed extrauditivi, coinvolgendo quindi con patologie varie l'organo dell'udito e altri organi ed apparati. Le categorie che rappresentano gli effetti del rumore sull'uomo sono varie e in evoluzione. L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha definito, fin dal 1999, scenari e livelli massimi di esposizione al rumore che considerano tali effetti, riferendoli a condizioni tipiche di vita delle persone e delle comunità [6], proponendo parametri diversi con valori e livelli limite di riferimento che sono, in certi casi, decisamente inferiori ai limiti fissati dalla Legge per l'esposizione occupazionale al rischio rumore.

Si parla di DANNO DA RUMORE quando si ha un'alterazione parzialmente o totalmente irreversibile di un organo o di un sistema, obiettivamente da un punto di vista clinico e /o anatomico-patologico; si parla di DISTURBO DA RUMORE quando si ha una alterazione temporanea di un organo o di un sistema, anch'essa obiettivamente attraverso procedure cliniche e strumentali.

Si definisce poi ANNOYANCE la sensazione di scontentezza e discomfort, riferita al rumore, che l'individuo sa o crede che possa agire su di lui in modo negativo: questo fastidio è la risposta soggettiva agli effetti combinati dello stimolo disturbante e di altri fattori di natura psicologica, sociologica ed economica [7].

Al pari degli effetti uditivi (ipoacusie, patologie vestibolari, traumi acustici, acufeni), che possono alterare in modo temporaneo o permanente lo stato di salute delle persone esposte, gli effetti extrauditivi e l'annoyance meritano di essere considerati da chi si occupa di salute nei luoghi di lavoro. Gli effetti extra-uditivi diventano ancora più importanti se si considerano le abitudini dei lavoratori e gli eventuali fattori di rischio concorrenti a cui sono esposti

nelle ore non lavorative e nei luoghi diversi dall'ambiente di lavoro che fanno comunque parte del loro habitat.

Si hanno molte e importanti evidenze di patologie extra-uditiva, connesse all'esposizione al rumore. Fra queste si segnalano patologie a carico degli apparati cardiovascolare, endocrino, vestibolare e visivo e muscolo-scheletrico con effetti fisiologici correlati al rumore quali vasocostrizione, ipertensione, aumento della frequenza cardiaca.

L'annoyance interferisce sulla comunicazione verbale, provoca disagi comportamentali e relazionali, disturbi dell'apprendimento, modifica l'efficienza lavorativa, riduce la memoria, genera astenia, disturbi del sonno e conseguente aumento di assunzione di farmaci ipnotici e psicofarmaci.

Sempre l'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO Regional Office for Europe) ha elaborato una nuova serie di linee guida, in pubblicazione nel 2018 che riguardano le evidenze di danno, disturbo e annoyance da esposizione a rumore ambientale [8]. In questo documento e nelle pubblicazioni che lo hanno preceduto, anticipandone i contenuti, si può vedere come si possano affrontare in modo sistematico le problematiche derivanti dalla scarsa qualità acustica (e conseguenti livelli elevati di esposizione a rumore) dei luoghi in cui le persone trascorrono la maggior parte del loro tempo, definiti in modo simile a come abbiamo sopra definito l'"habitat" acustico. Queste evidenze possono essere molto utili nella considerazione dei fattori che possono rendere un ambiente di lavoro acusticamente confortevole.

Rispetto alle precedenti linee guida sul rumore [6] [9], gli sviluppi più significativi includono nuove prove dell'associazione tra esposizione al rumore e annoyance, così come tra esposizione al rumore e danni extrauditivi, anche legati a fattori comportamentali. Si parla di effetti cardiovascolari, obesità ed effetti metabolici (come il diabete), deterioramento cognitivo, disturbi del sonno, acufeni, problemi per la gravidanza e si definiscono anche nuove categorie di "health outcomes" come qualità della vita, salute mentale e benessere.

Si parla in particolare di "adverse health outcomes" (esiti avversi per la salute) e si cerca di quantificarli con parametri come il Global Burden of Disease (GBD), che misura il "contributo" negativo alla salute associabile a un determinato fattore utilizzando il Disability Adjusted Life Year (DALY), che combina anni di vita persi a causa della mortalità prematura e anni di vita persi a causa del tempo vissuto in condizioni inferiori a quelle di piena salute [10].

Le nuove Linee Guida OMS, che fanno riferimento al rumore ambientale ma forniscono spunti molto utili applicabili anche in ambito occupazionale, si pongono come obiettivo principale valutare qual è, tra la popolazione generale esposta al rumore, il rapporto tra esposizione (misurabile attraverso vari indicatori) e il numero di persone che soffrono di patologie correlate

all'esposizione stessa. Le molteplici evidenze emerse dal lavoro di rassegna sono state raggruppate in sette categorie corrispondenti a specifici effetti sulla salute derivanti da esposizione al rumore, così definite: 1) annoyance, 2) effetti cardiovascolari e metabolici, 3) disturbi cognitivi e dell'apprendimento, 4) effetti sul sonno, 5) ipoacusia e tinnito, 6) effetti negativi sulla gravidanza e sulla nascita, 7) effetti sulla qualità della vita, sulla salute mentale e sul benessere.

4 - PROGETTARE IL COMFORT E LA QUALITÀ ACUSTICA DELL'HABITAT LAVORATIVO

La mitigazione del rumore negli ambienti di lavoro è sempre più collegata a nuovi approcci progettuali basati sui principi dell'igiene occupazionale e della promozione della salute.

Le strategie di pianificazione del risanamento e della riduzione dell'esposizione al rischio rumore, così come la progettazione delle soluzioni contenute nei relativi piani, possono trovare spunti di ottimizzazione di costi e benefici applicando i suddetti approcci [11].

Le metodiche e gli algoritmi del Global Comfort Design, con i relativi indicatori ben si applicano a questo ambito di progettazione specialistica. In Figura 1 è riportato un esempio di identificazione degli indicatori di comfort legati all'acustica per la progettazione olistica degli ambienti di lavoro. Per ciascun indicatore di comfort si può definire un set di variabili che rappresentano i diversi aspetti fisici o soggettivi, misurabili o percepiti della qualità dell'ambiente che sono collegabili, direttamente o indirettamente alla progettazione acustica [12].

In questo ambito di ricerca si colloca il progetto sulla "Definizione di linee guida innovative, basate sullo stato dell'arte attuale, ai fini della progettazione, costruzione, certificazione e bonifica di macchine, attrezzature e ambienti di lavoro a basso rischio di esposizione a rumore e vibrazioni per i lavoratori" co-finanziato su Bando Ricerche In Collaborazione (BRIC), come parte del Piano attività della ricerca discrezionale 2016-2018 di INAIL.

Il progetto è coordinato dal Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale dell'Università di Roma La Sapienza e vede fra i partner il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Firenze (DIEF), quest'ultimo incaricato dell'analisi di metodi e tecniche di studio e progettazione acustica degli ambienti di lavoro industriali e non, di cui si tratta in questa memoria.



Figura 1: Indicatori di Global Comfort nei luoghi di lavoro

Nella prima fase dell'attività di ricerca è stata realizzata un'analisi di letteratura relativa alle tecniche di progettazione e bonifica degli ambienti di lavoro riguardante gli aspetti normativi, la manualistica di settore, le pubblicazioni scientifiche e atti di convegno. L'analisi normativa si è svolta andando ad esaminare la Legislazione Nazionale riguardante la materia dell'acustica e gli ambienti di lavoro in genere oltre ad una ricerca dettagliata in merito alle normative tecniche UNI/EN/ISO riguardo tutti gli aspetti che possono interessare la progettazione acustica in termini di comfort e isolamento acustico tra ambienti nonché tutte le norme di settore che interessano i luoghi di lavoro. In riferimento agli aspetti legislativi, a livello nazionale, è stato analizzato nel dettaglio il Decreto Legislativo del 09/04/2008, 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" [1]. Il decreto impone la redazione della valutazione del rischio rumore contenente la verifica dei limiti di rumorosità presso l'operatore che svolge una determinata mansione ed impone al datore di lavoro di adottare opportune azioni al fine di ridurre i livelli di esposizione.

In riferimento alla normativa tecnica è stata fatta una raccolta delle norme UNI/EN/ISO di settore in riferimento ai seguenti aspetti di interesse per il progetto: rumore emesso da macchine e apparecchiature in genere; definizione dei livelli sonori e caratterizzazione acustica di sorgenti; esposizione al rumore del personale nei luoghi di lavoro; progettazione degli ambienti di lavoro; progettazione acustica di elementi tecnici e tecnologici; misure acustiche per la caratterizzazione degli ambienti e dei macchinari; valutazione dell'incertezza.

In particolare, di seguito si riportano le norme ritenute più rilevanti ai fini della parte di progetto relativa alla progettazione degli interventi di mitigazione acustica:

- UNI 11347:2015 [13], che tratta gli aspetti procedurali e gestionali per la progettazione di programmi denominati P.A.R.E. mirati alla riduzione del rumore degli ambienti di lavoro. Questo strumento si configura come una sorta di linea guida che il datore di lavoro può seguire al fine di organizzare tutti gli aspetti che lo porteranno alla definizione di obiettivi per la risoluzione di problematiche acustiche mediante l'adozione di scelte tecniche e/o procedurali ben precise in riferimento ad un'analisi costi/benefici eseguita a priori.
- UNI 14257:2004 [14]. Questa norma è utilizzabile per valutare il decadimento sonoro in un ambiente interno.
- UNI EN ISO 3382, parti 2 e 3 [15], utilizzate per la misura del tempo di riverberazione.
- UNI EN ISO 11690, parti 1, 2, 3 [16], che nello specifico forniscono indicazioni e soluzioni tecniche per la riduzione del rumore interno e la scelta ottimale del parametro di decadimento sonoro e/o tempo di riverberazione al fine di ottenere un ambiente di lavoro a bassa rumorosità in termini di energia sonora riflessa.
- Le norme della serie UNI EN 12354 [17] utilizzate per la valutazione delle prestazioni acustiche di elementi divisorii tra locali distinti. Nello standard vengono definiti gli algoritmi di calcolo per stimare le prestazioni acustiche di partizioni verticali e orizzontali tra ambienti interni e verso l'ambiente esterno. Tali norme sono di utilità nei casi in cui si presentano contesti di lavoro dove l'ambiente principale è suddiviso in più locali distinti come, ad esempio, nel caso di contesti industriali dove è richiesta la compartimentazione di specifiche lavorazioni o negli uffici/call-center dove si vogliono creare dei locali acusticamente isolati.

Infine, per quanto riguarda la manualistica di settore, si deve citare con particolare evidenza il Manuale operativo INAIL [18] che fornisce indicazioni puntuali per la riduzione del rumore nei luoghi di lavoro in riferimento ad alcune tipologie di ambienti.

A valle dell'analisi di letteratura, l'attività di ricerca ha previsto una fase di acquisizione dati su esperienze rilevanti di analisi e progettazione acustica degli ambienti di lavoro. Sulla base dei dati raccolti, è stata proposta una catalogazione aggiornata degli ambienti di lavoro a partire dalla rilevanza dell'acustica per la loro qualità strutturale e funzionale e per i conseguenti livelli di qualità e benessere valutabili attraverso descrittori acustici oggettivi, i cui valori sono strettamente collegati alla percezione del benessere e che possono tradursi in variabili e indicatori tipici degli algoritmi di calcolo del Global Comfort degli ambienti di lavoro.

La catalogazione si è basata su esperienze e dati disponibili in letteratura, su esperienze progettuali dirette del DIEF ed anche sulla raccolta di esperienze rilevanti di analisi e progettazione fornite dalla società Vie en.ro.se.

Ingegneria (con riferimento ad esempio alla progettazione di ambienti industriali di grandi dimensioni). La nuova classificazione delle principali categorie di ambiente di lavoro è basata anche sulle tipologie lavorative più recenti, incluso lo “smart working”, definendo per ogni tipologia lavorativa i parametri acustici di maggior interesse e i relativi valori di riferimento. In sintesi, la nuova catalogazione proposta ha previsto di suddividere gli ambienti di lavoro in otto categorie generali, suddivisibili a loro volta in sottocategorie aventi differenti peculiarità acustiche.

Le otto categorie sono le seguenti: 1) Ambienti industriali, 2) Ambienti scolastici, 3) Ambienti ad uso sanitario ed ospedaliero, 4) Ambienti ad uso ufficio, 5) Mense e ristoranti, 6) Attività commerciali, 7) Ambienti per l'intrattenimento, 8) Contesti lavorativi estremi soggetti ad elevate pressioni sonore.

Nella Tabella 1 si riporta lo schema in bozza dei primi risultati del progetto riferiti alla categoria 4. È interessante notare come, oltre alle tipologie tradizionali di ambienti a destinazione ufficio, si sono considerate anche le nuove tipologie tipiche dell'ufficio organizzato secondo i principi dello “smart working”.

A titolo di esempio si noti come nel “phone boot”, piccolo spazio destinato all'effettuazione di conference call e chiamate telefoniche da parte di un solo operatore, i parametri acustici da considerare sono il livello di rumore di fondo e l'isolamento acustico delle partizioni interne ed esterne, con le rispettive grandezze di riferimento.

Analogamente, negli “spazi collettivi di lavoro o relax”, dove gli obiettivi acustici sono una riverberazione contenuta e un adeguato livello di privacy rispetto alle aree di lavoro limitrofe, i descrittori da considerare sono il Tempo di Riverberazione e la Distanza di Disattenzione.

Per ciascuna categoria in cui sono stati suddivisi gli ambienti di lavoro, è stata elaborata una specifica metodologia per la progettazione acustica, applicabile ad ambienti di lavoro nuovi o esistenti, a partire dalla fase di analisi e raccolta dei dati fino alla conclusione del processo di progettazione comprendente il collaudo acustico degli interventi realizzati.

La metodologia è stata elaborata a partire dall'esperienza maturata in casi studio reali, aventi caratteristiche anche molto diverse tra loro (destinazione d'uso, dimensioni, numero di lavoratori, macchine ed attrezzature, tipologia di impianti, ecc.), in alcuni dei quali sono state affrontate tutte le fasi di lavoro: dall'analisi conoscitiva al collaudo degli interventi.

Sempre con riferimento alla categoria degli uffici, scelta come esempio, si riporta di seguito l'elenco delle fasi di lavoro previste dalla suddetta metodologia.

Tabella 1: Classificazione degli ambienti a uso ufficio e relativi descrittori

4	AMBIENTI AD USO UFFICIO				
Cod.	Classificazione degli ambienti	Particolarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento
4.1	Ufficio con postazioni singole di lavoro	Si tratta di ambienti di piccole dimensioni con la presenza di un unico lavoratore (o ufficio delegato).	L'obiettivo acustico è un basso livello di rumore di fondo ed un elevato isolamento acustico delle partizioni interne ed esterne.	Livello di rumore di fondo $L_{Aeq,10}(dB)$ Isolamento acustico delle partizioni interne $R_{w,10}(dB)$ Livello di pressione sonora di calpestio $L_{p,c,10}(dB)$ Isolamento acustico di facciata $D_{p,c,10}(dB)$	$L_{Aeq} \leq 35-45$ (dB(A)) UNI EN ISO 11800-1 $D_{p,c,10} \geq 50$ (dB) Classe III UNI 11307 (interiori) $L_{p,c,10} \leq 41$ (dB) Classe III UNI 11307
4.2	Ufficio con due o più postazioni di lavoro (fino a 10 postazioni di lavoro)	Si tratta di ambienti di piccole/medio dimensioni con la presenza di più lavoratori che svolgono compiti simili.	L'obiettivo acustico è un basso livello di rumore di fondo, un tempo di riverberazione contenuto ed un adeguato livello di privacy tra le postazioni di lavoro.	Livello di rumore di fondo $L_{Aeq,10}(dB)$ Durata di distribuzione $t_{30}(s)$	Tempo di riverberazione (s) $TR \leq 0,5-0,8$ s (V<200 m ³) $TR \leq 0,8-1,3$ s (200V<1000 m ³) UNI EN ISO 11800-1 Formula C.1 UNI 11307 $L_{Aeq} \leq 35-45$ (dB(A)) UNI EN ISO 11800-1 Prospetti B.3 e B.4 della norma UNI EN ISO 9241-6
4.3	Ufficio open space (fino 10 postazioni di lavoro)	Si tratta di ambienti di grandi dimensioni ed altezza contenuta in cui sono presenti più lavoratori che svolgono mansioni anche molto differenti tra loro. La postazione di lavoro possono essere a diretto contatto tra loro oppure schermate da elementi di arredo.	L'obiettivo acustico è un tempo di riverberazione molto basso, un livello di rumore di fondo non necessariamente elevato, ed un adeguato livello di privacy tra le postazioni di lavoro.	Livello di riverberazione (s) Indice di attenuazione spaziale dal parlato $D_{p,10}(dB)$ Decremento sonoro per il sviluppo della distanza DL_1 DL_2 e DL_3	Tempo di riverberazione (s) $TR \leq 0,5-0,8$ s (V<200 m ³) $TR \leq 0,8-1,3$ s (200V<1000 m ³) UNI EN ISO 11800-1 Formula C.1 UNI 11307 Indice di attenuazione spaziale dal parlato $D_{p,10}(dB)$ UNI EN ISO 8082-2 Decremento sonoro per il sviluppo della distanza DL_1 $DL_2 \geq 2-4$ (dB) UNI EN ISO 9041-6 $DL_3 \geq 9-11$ (dB) UNI EN ISO 2029
4.4	Phone booth	Si tratta di un ambiente di piccole dimensioni molto contenute (max 2x2x3 m) per lo svolgimento di conferenze call di un unico lavoratore, attrezzato generalmente con una postazione telefonica.	L'obiettivo acustico è un livello di rumore di fondo molto basso e un livello elevato di isolamento acustico delle partizioni interne ed esterne.	Livello di pressione sonora ponderato A del parlato $L_{p,w,A}(dB)$ Livello di rumore di fondo $L_{Aeq,10}(dB)$ Durata di distribuzione $t_{30}(s)$ Livello di rumore di fondo $L_{Aeq,10}(dB)$ Isolamento acustico delle partizioni esterne $R_{w,10}(dB)$ Isolamento acustico di facciata $D_{p,c,10}(dB)$	$L_{p,w,A} \leq 48$ (dB(A)) UNI EN ISO 11800-1 $L_{Aeq} \leq 35-45$ (dB(A)) UNI EN ISO 11800-1 Prospetti B.3 e B.4 della norma UNI EN ISO 9241-6 $t_{30} \leq 5$ (s) UNI EN ISO 8082-2 $L_{Aeq} \leq 30$ (dB(A)) UNI EN ISO 11800-1 Prospetti B.3 e B.4 della norma UNI EN ISO 9241-6 $D_{p,c,10} \geq 45$ (dB) UNI 11307 classe N interiore $D_{p,c,10} \geq 37$ (dB) Classe III UNI 11307
4.5	Sale per conferenze call per due o più partecipanti	Si tratta di un ambiente di piccole dimensioni che generalmente ospita fino a 4-6 persone per svolgere conferenze call in remoto.	L'obiettivo acustico è un livello di rumore di fondo molto basso, un tempo di riverberazione contenuto ed un livello elevato di isolamento acustico delle partizioni interne ed esterne.	Tempo di riverberazione (s) Livello di rumore di fondo $L_{Aeq,10}(dB)$ Isolamento acustico delle partizioni esterne $R_{w,10}(dB)$ Isolamento acustico di facciata $D_{p,c,10}(dB)$	Tempo di riverberazione (s) $TR \leq 0,5-0,8$ s (V<200 m ³) $TR \leq 0,8-1,3$ s (200V<1000 m ³) UNI EN ISO 11800-1 Formula C.1 UNI 11307 $L_{Aeq} \leq 30-40$ (dB(A)) UNI EN ISO 11800-1 Prospetti B.3 e B.4 della norma UNI EN ISO 9241-6
4.6	Salas riunioni	Si tratta di un ambiente di medie dimensioni con densità di occupazione medio-alta. Può essere dotata di impianto audiovisivo per attuazione di conferenze call in remoto.	L'obiettivo acustico è un tempo di riverberazione contenuto ed un livello elevato di isolamento acustico delle partizioni interne ed esterne.	Isolamento acustico delle partizioni esterne $R_{w,10}(dB)$ Isolamento acustico di facciata $D_{p,c,10}(dB)$	$D_{p,c,10} \geq 45$ (dB) UNI 11307 classe N interiore $D_{p,c,10} \geq 37$ (dB) Classe III UNI 11307
4.7	Spazi collettivi di lavoro o relax	Si tratta di aree aperte realizzate all'interno di uno spazio tipo open space dal quale possono essere schermati attraverso elementi di arredo con proprietà fonoassorbenti e fonoisolanti, tali aree sono realizzate da una sistema flessibile di utitagli.	L'obiettivo acustico è un tempo di riverberazione contenuto ed un adeguato livello di privacy rispetto alle aree di lavoro ambinate.	Tempo di riverberazione (s) Durata di distribuzione $t_{30}(s)$	Tempo di riverberazione (s) $TR \leq 0,5-0,8$ s (V<200 m ³) $TR \leq 0,8-1,3$ s (200V<1000 m ³) UNI EN ISO 11800-1 Formula C.1 UNI 11307 Durata di distribuzione $t_{30}(s)$ UNI EN ISO 3382-1

4.8	Call center	Si tratta di ambienti di grandi dimensioni ed altezza considerevole, dove il livello di accoppiamento, la tipologia di attività prevede elevati livelli di rumore in continuo.	L'obiettivo acustico è un tempo di riverberazione medio basso, un livello di rumore di fondo non elevato ed un adeguato livello di privacy tra le postazioni di lavoro.	Tempo di riverberazione (s) $T_{R} \leq 0,5 \text{ (0,3) (vs } 200 \text{ m}^3)$ $T_{R} \leq 0,8 \text{ (1,1) (vs } 200 \text{ vs } 1000 \text{ m}^3)$ UNI EN ISO 3382-1 Formula C1 UNI 11367 Indice di attenuazione spaziale del parlato D_{50} dB $D_{50} \geq 27$ dB(A) UNI EN ISO 3382-1 Livello di rumore di fondo $L_{w,eq}$ dB(A) $L_{w,eq} \leq 35-40$ dB(A) UNI EN ISO 3382-1 Freggetti 0,3 e 0,4 della norma UNI EN ISO 12541-6 Distanza di installazione $r_{1/2}$ (m) $r_{1/2} \geq 3$ m UNI EN ISO 3382-1
-----	-------------	--	---	--

A. FASE DI ANALISI

A.1 Analisi del quadro conoscitivo

1. Raccolta dei dati forniti dal committente, dalle amministrazioni locali o da altri tecnici esterni che si sono occupati degli aspetti progettuali dello specifico luogo di lavoro: planimetrie, sezioni, layout, progetto o as built degli impianti tecnici (aria, illuminazione, rilevatori di fumo, antincendio, ecc.), stratigrafie delle partizioni interne ed esterne, particolari tecnologici, ecc.
2. Nel caso di edifici esistenti, valutazione delle caratteristiche specifiche dell'azienda, mediante colloqui con i responsabili, gli addetti al Servizio di Prevenzione e Protezione, ecc.
3. Analisi del layout esistente o di progetto finalizzato all'individuazione delle principali criticità acustiche, con particolare riferimento alla prossimità tra ambienti silenziosi e rumorosi, attraversamenti impiantistici tra ambienti, presenza di elementi deboli sulle partizioni interne (prese d'aria, porte, ecc.).
4. Individuazione delle principali fonti di rumore (impianti tecnici, locale server, telefoni, voce, ecc.).
5. Reperimento delle schede tecniche e dei manuali d'uso delle principali sorgenti acustiche (impianti tecnici) contenenti i dati emissione sonora.
6. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili.
7. Identificazione di particolari esigenze igieniche e di sicurezza della sorgente e dell'ambiente.
8. Definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, curve di decadimento spaziale del suono, l'indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, l'eccesso del livello di pressione sonora, tempi di riverberazione, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame ed alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

9. Misure fonometriche di caratterizzazione dell'ambiente utilizzando il più opportuno descrittore in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame (TR, D2m,nT,w, DnT,w, L'n,w, DL2, DLF, D2s, ecc.).
10. Misure fonometriche del rumore di fondo (ambienti non occupati e impianti spenti).
11. Misure fonometriche in corrispondenza dell'attivazione degli impianti tecnici (trattamento e ricambio aria, ascensore, ecc.).
12. Rilievo geometrico e materico degli ambienti, comprendente tutti gli elementi acusticamente influenti in riferimento alla propagazione sonora. Tra questi, oltre a pavimento, pareti e soffitto, si individuano principalmente le superfici interne di grandi dimensioni che delimitano lo spazio al suo interno (schermi, divisori, ecc.) e gli arredi (scrivanie, sedie, scaffalature, tendaggi, ecc.). Nel caso di edifici esistenti, qualora le informazioni di cui al punto 1 risultassero insufficienti, potrà essere necessario effettuare ulteriori indagini per conoscere la stratigrafia e le modalità realizzative delle partizioni interne ed esterne.
13. Costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente e validazione attraverso il confronto con i dati di caratterizzazione dell'ambiente misurati di cui al punto 8. Il modello deve essere il più possibile semplificato e contenere elementi con dimensioni caratteristiche non inferiori a 1.5 m; elementi come scaffali, tavoli, piccole macchine, ecc. possono essere trattati collettivamente aumentando i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici dove essi giacciono. Ai fini della taratura si suggerisce di lavorare con i coefficienti di assorbimento acustico/diffusione degli elementi poco noti e/o complessi per geometria e materiali. Successiva implementazione nel modello acustico delle sorgenti e dei ricevitori.
14. Per la valutazione degli isolamenti acustici, costruzione del modello di calcolo mediante procedura descritta dalla serie di norme UNI EN ISO 12354, comprendente la definizione delle caratteristiche geometriche ed acustiche delle soluzioni tecniche esaminate (es. parete di separazione, parete di facciata, tramezzi e solai), e dei relativi nodi per la valutazione della trasmissione laterale. Nel caso di strutture esistenti, validazione attraverso il confronto con i dati misurati di cui al punto 7.
15. Calcolo delle attenuazioni dei livelli sonori e/o degli incrementi di isolamento acustico, mediante il confronto tra la



configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.

16. Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 7.

B. FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

17. Definizione delle ipotesi di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche, nonché delle modalità realizzative più opportune (es. giunto parete di facciata/parete tra ambienti adiacenti, parete tra ambienti adiacenti/solaio, ecc.).
18. Verifica con il Committente della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali ed impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche del lavoro, alla movimentazione delle persone, alla presenza e al funzionamento dei macchinari, ecc.
19. Definizione del dimensionamento geometrico e delle caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
20. Implementazione nei modelli di simulazione acustica di cui ai punti 13 e 14 delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti.
21. Calcolo delle attenuazioni mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.
22. Stima di massima del costo degli interventi e del rapporto costo/beneficio (UNI 11347).
23. Formulazione delle procedure di collaudo degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 7.

C. EVENTUALE FASE DI INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

24. Stesura del progetto definitivo/esecutivo che può interessare uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici (in riferimento alla tipologia di sistemi presenti).

D. FASE DI DIREZIONE LAVORI

25. Verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle Ditte che realizzeranno gli interventi.
26. Verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi.
27. Elaborazione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.

E. FASE DI COLLAUDO ACUSTICO

28. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 22.

5 - CONCLUSIONI

La presente memoria riguarda i temi relativi all'habitat acustico dei luoghi di lavoro ed il significato del Global Comfort Design in tali ambienti, in considerazione dell'evoluzione del concetto stesso di "luogo di lavoro", legata allo sviluppo delle tecnologie informatiche e ai nuovi modelli economici dominanti.

A partire dalla necessità di una visione aggiornata delle categorie e delle metodiche che hanno fin qui caratterizzato la valutazione e la bonifica del rumore in ambito occupazionale, vengono qui analizzati i primi risultati del progetto di ricerca "*Definizione di linee guida innovative, basate sullo stato dell'arte attuale, ai fini della progettazione, costruzione, certificazione e bonifica di macchine, attrezzature e ambienti di lavoro a basso rischio di esposizione a rumore e vibrazioni per i lavoratori*" (recentemente attivato e co-finanziato su Bando Ricerche In Collaborazione (BRIC) – Piano attività della ricerca discrezionale 2016-2018 di INAIL), in riferimento alle procedure per l'analisi e la progettazione acustica dei luoghi di lavoro.

In particolare, nella presente memoria viene presentata la nuova catalogazione degli ambienti di lavoro proposta nell'ambito del progetto di ricerca, che comprende anche le tipologie lavorative più recenti, incluso lo "smart working", definendo per ogni tipologia lavorativa i parametri acustici di maggior interesse e i relativi valori di riferimento.

Per ciascuna categoria in cui sono stati suddivisi gli ambienti di lavoro, è in corso di elaborazione la stesura di una specifica metodologia per la progettazione acustica, applicabile ad ambienti di lavoro nuovi o esistenti, a partire dalla fase di analisi e raccolta dei dati fino alla conclusione del processo di progettazione, comprendente il collaudo acustico degli interventi realizzati. A titolo di esempio, viene riportata la proposta di metodologia applicabile al caso degli ambienti ad uso ufficio.

Il progetto di ricerca è attualmente in corso di svolgimento e nei prossimi mesi è prevista la realizzazione di ulteriori approfondimenti che porteranno alla stesura di un manuale tecnico dedicato all'analisi e alla progettazione acustica degli ambienti di lavoro nel quale saranno riportate le procedure di progettazione da utilizzare per tutte le categorie di ambienti di lavoro, unitamente a schede di sintesi elaborate sulla base dei casi studio ritenuti di maggior interesse.

BIBLIOGRAFIA

- [1] D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81- Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n.123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro (Testo Unico in materia di salute e sicurezza sul lavoro) e sue successive modifiche e integrazioni.
- [2] Norma UNI EN ISO 9612:2011 – “Acustica - Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro - Metodo tecnico progettuale”.
- [3] Norma UNI 9432:2011 – “Acustica - Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro”.
- [4] S. Luzzi, A. Amatruda, M. Montellanico, F. Borchi, “Nuovi approcci modellistici e progettuali per la riduzione dei rischi in ambienti industriali complessi”, Atti del 31° Congresso Nazionale AIDII, Naples, June 2014.
- [5] S. Luzzi, L. Busa, C. Bartalucci, “Acoustic smartness and sustainability in urban planning and building design”, Proceedings of Euronoise 2018 Congress, Hersonissos, May 2018.
- [6] B. Berglund, T. Lindvall, D.H. Shwela, “Guidelines for Community Noise”, WHO, geneva, 1999.
- [7] M.P. Orlando, “Annoyance: percorsi psico-neuro-immuno-endocrinologici”, Bollettino Ingegneri n. 1/2018 pp. 12-13.
- [8] D. Jarosi, M. Heroux et al., “Development of the WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: An Introduction”, Int. J. Environ. Res. Public Health 2018, 15, 813.
- [9] WHO Regional Office for Europe, Night Noise Guidelines, WHO, Geneva, 2009
- [10] WHO Regional Office for Europe; European Commission Joint Research Centre. “Burden of Disease from Environmental Noise-Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe” WHO, Geneva, 2011.
- [11] S. Luzzi, “Holistic approaches in urban planning and in the acoustic design of buildings”, Proceedings of the 48th Congreso Espanol de Acustica – European Symposium on sustainable building acoustics”, A Coruna, October 2017.
- [12] S. Luzzi, “Acoustics and global comfort in the habitat of Anthropocene”, Proceedings of 8th International Symposium on temporal Design, Bologna, September 2017.
- [13] UNI 11347:2015, “Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro”.
- [14] UNI 14257:2004 “Misurazione e descrizione parametrica delle curve di decadimento del suono nello spazio degli ambienti di lavoro per la valutazione delle loro prestazioni acustiche”.



d=A2018

- [15] UNI EN ISO 3382, “Acustica - Misurazione dei parametri acustici degli ambienti”, parte 2(2008) e parte 3(2012).
- [16] UNI EN ISO 11690 “Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario”, parti 1, 2 e 3.
- [17] Norme della serie UNI EN 12354.
- [18] Manuale operativo INAIL “Metodologia e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro – Edizione 2013”.

d-A2018

I rischi fisici nei luoghi di lavoro

IL COMFORT ACUSTICO DEGLI UFFICI OPEN PLAN

Dario D’Orazio (1), Elena Rossi (1), Massimo Garai (1)

(1) Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN) - Università di Bologna

INTRODUZIONE

La tipologia di ufficio open plan si è rivelata nel tempo inadeguata a garantire la tranquillità, il silenzio e la privacy di cui le persone hanno bisogno per svolgere le proprie attività. Nello studio dell’acustica degli open spaces sono da tenere in considerazione alcuni aspetti fondamentali:

- non sono verificate le condizioni per la validità della teoria di Sabine a causa della distribuzione spaziale tipica di questi ambienti in cui due dimensioni prevalgono sulla terza;
- il rumore di fondo ha un ruolo importante e, entro certi limiti, svolge un’azione positiva sul mascheramento dell’intelligibilità del parlato. Per questo motivo, a differenza di altri ambiti progettuali, diventa fondamentale tenere in considerazione il rumore degli impianti di condizionamento e prevedere sistemi di mascheramento artificiali ove necessario;
- l’importanza degli arredi e dei pannelli di separazione tra le postazioni lavorative e gli effetti di attenuazione del campo sonoro diretto riconducibili a fenomeni di diffrazione acustica.

Le condizioni acustiche degli uffici open spaces, come l’assorbimento dei materiali, il livello di rumore di fondo, le partizioni e la distanza tra parlatore e ascoltatore, causano una variazione spaziale dell’indice di trasmissione del parlato (STI-Speech Transmission Index), valutata attraverso fitting lineare dei valori misurati. La ISO 3382-3 recepisce i parametri estratti dal

decadimento spaziale dello STI (raggio di privacy e raggio di distrazione) quali criteri per qualificare l'acustica degli uffici open plan.

L'ACUSTICA DEGLI AMBIENTI LAVORATIVI OPEN PLAN. L'INTELLIGIBILITÀ DEL PARLATO.

Il parametro STI (Speech Transmission Index), definito nella norma IEC 60268-16, quantifica l'effetto combinato dell'interferenza del rumore di fondo e della riverberazione sulla riduzione di intelligibilità del parlato. Tale parametro dipende dal tempo di riverberazione dell'ambiente, dal livello di pressione sonora, dal livello di rumore degli impianti e del rumore antropico. I valori di STI variano da 0 a 1, dove il valore 0 indica nessuna intelligibilità ed il valore 1 un'intelligibilità ideale. I valori di STI vengono suddivisi in range che definiscono categorie di qualità dell'intelligibilità.

Secondo la IEC 60268-16, lo STI può essere calcolato seguendo due metodi:

- metodo diretto, che utilizza un segnale modulato;
- metodo indiretto, calcolato sulla risposta all'impulso e corretto in post-processing con il rapporto segnale rumore (SNR).

Utilizzando il metodo diretto si usa il descrittore STIPA (Speech Transmission Index for Public Address system), che ha il vantaggio di qualificare *in situ* il rumore di fondo. È necessario l'utilizzo di una sorgente calibrata. I valori di STI e di STIPA sono in genere corrispondenti ai fini di una qualificazione acustica.

Le condizioni acustiche degli uffici open space, come l'assorbimento dei materiali, il livello di rumore di fondo, le partizioni e la distanza tra parlatore e ascoltatore, causano una variazione dell'indice di trasmissione del parlato.

La ISO 3382-3 definisce due distanze di riferimento che si basano sul parametro STI: la *distanza di distrazione* (r_D) definita per valori di STI inferiori a 0.5 e la *distanza di privacy* (r_p) definita per valori di STI inferiori a 0.2.

Numerose ricerche hanno dimostrato che la comprensione dei discorsi dei colleghi, e quindi l'intelligibilità del parlato, è il fattore di maggiore disturbo all'interno di un ufficio e risulta chiaro che tanto più l'indice di qualità di STI è basso, tanto minore sarà la comprensione e quindi la distrazione (

Figura 1).

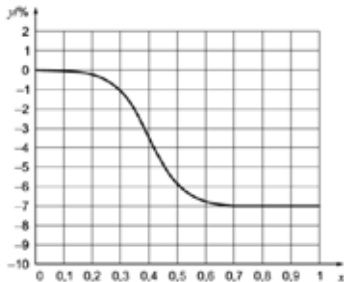


Figura 1 - Effetto di STI sulle performance cognitive durante attività di concentrazione (ISO 3382-3). Asse x: valore di STI misurato alla postazione di lavoro; Asse y: variazione dell'indice di produttività

Distribuzione spaziale dell'energia sonora

Nell'analisi della propagazione del suono, e più nello specifico del rumore, all'interno degli uffici open plan viene preso in considerazione un ulteriore parametro: il decadimento spaziale del suono ($D_{2,S}$). Il dato di decadimento spaziale risulta elemento significativo per la caratterizzazione dell'ambiente e di fatto relega il tempo di riverberazione a parametro di caratterizzazione locale delle superfici assorbenti. Mediante tale parametro è possibile stimare quanto rapidamente decade il rumore ambientale provocato dall'attività antropica delle persone e, tanto più questo valore è elevato tanto più basso sarà il livello di pressione sonora percepito al raddoppiare della distanza dalla sorgente.

La ISO 3382-3 stabilisce che un valore $D_{2,S} < 5$ dB è indicativo di un ambiente con insufficienti condizioni acustiche, mentre un valore $D_{2,S} > 7$ dB è indicativo di un ambiente con buone caratteristiche, questi valori assumono una maggiore chiarezza osservando la Figura 2 e la Figura 3.

Il livello di pressione sonora del parlato alla distanza di 1 m dalla sorgente, in una condizione normale, è di 60 dB, in accordo con la ISO 9921. Nella Figura 2 è possibile osservare che in un ufficio di medie dimensioni, se il valore del decadimento spaziale viene raddoppiato il livello di pressione sonora si abbassa notevolmente. Si osservi infatti che, quando si assume $D_{2,S} = 3$ dB, alla distanza di 4 m il livello di pressione sonora risulta $L_p = 54$ dB, mentre quando il decadimento viene raddoppiato, ovvero $D_{2,S} = 6$ dB, il livello di pressione sonora risulta notevolmente più basso ovvero $L_p = 48$ dB. Quando si considera un ufficio di grandi dimensioni (vedi Figura 3) questo risultato appare ancora più evidente: alla distanza di 8 m dalla sorgente, cioè dal parlatore seduto alla postazione di lavoro, il livello di pressione sonora risulta $L_p = 51$ dB quando $D_{2,S} = 3$ dB e $L_p = 42$ dB quando $D_{2,S} = 6$ dB; al raddoppiare del decadimento spaziale il livello di pressione sonora diminuisce di quasi 10 dB. Un'ulteriore considerazione va fatta prendendo in considerazione la compresenza di persone all'interno di un ufficio in quanto, intuitivamente, si assisterà ad un aumento del livello di



d-A2018

pressione sonora. Prendendo in considerazione un gruppo di 10 persone e un ambiente con decadimento $D_{2,S} = 3$ dB il valore del livello di pressione sonora alla distanza di 8 m è $L_p = 61$ dB mentre in un ambiente con decadimento $D_{2,S} = 6$ dB il valore del livello di pressione sonora alla stessa distanza è $L_p = 52$ dB. Questo dato è particolarmente interessante se si considera che, per le proprietà di calcolo dei decibel, al raddoppiare del gruppo di persone (ovvero della sorgente sonora) il livello di pressione sonora aumenta di 3 dB.

Con un decadimento di 6 dB quindi, per raggiungere il livello di pressione sonora di $L_p = 61$ dB, è necessario aumentare il numero di persone e, più precisamente, si dovrebbe aumentare da 10 a 80. Si può dire quindi che se l'ambiente ha buone caratteristiche acustiche e presenta decadimenti spaziali superiori 5 dB, è in grado di ospitare un numero di persone elevato garantendone comunque il comfort acustico.

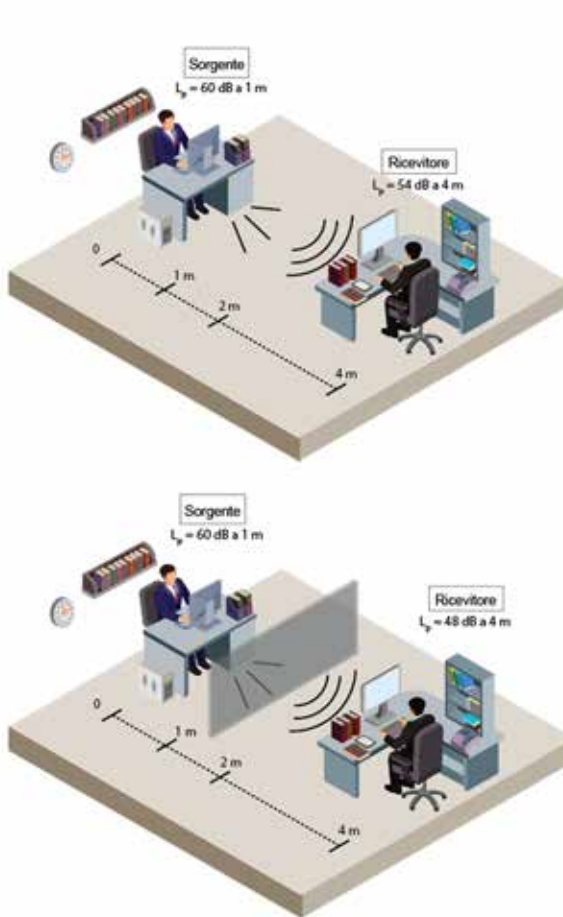


Figura 2 - Ufficio di medie dimensioni in cui la distanza sorgente-ricevitore non supera i 4.00 m. Nel caso in cui all'interno dell'ufficio non ci siano barriere il decadimento spaziale $D_{2,S}$ è 3 dB e il livello di pressione sonora al ricevitore risulta $L_p=54\text{dB}$. Se tra sorgente e ricevitore viene interposta una barriera il decadimento spaziale aumenta: si assume ad esempio $D_{2,S}=6\text{dB}$. In questo caso si nota che il valore del livello di pressione al ricevitore è $L_p=48 \text{ dB}$, più basso rispetto alla situazione precedente.

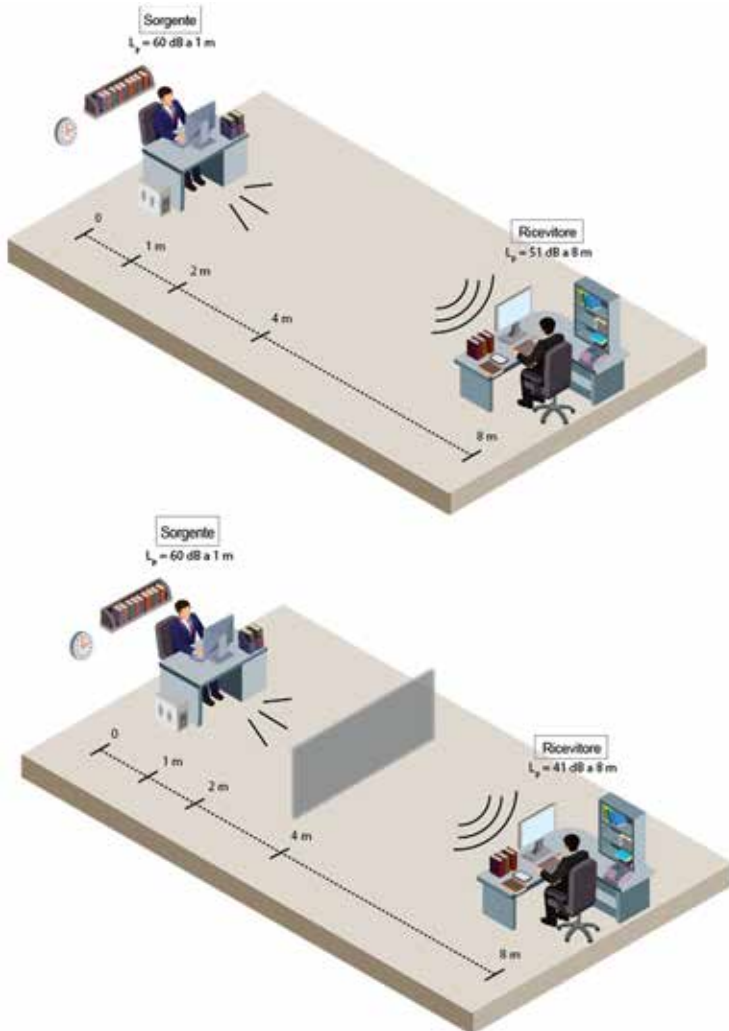


Figura 3 - Ufficio di grandi dimensioni in cui la distanza sorgente-ricevitore supera i 4.00 m. Nel caso in cui all'interno dell'ufficio non ci siano barriere il decadimento spaziale $D_{2,S}$ è 3 dB e il livello di pressione sonora al ricevitore risulta $L_p=51\text{dB}$. Se tra sorgente e ricevitore viene interposta una barriera il decadimento spaziale aumenta: si assume ad esempio $D_{2,S}=6\text{dB}$. In questo caso si nota che il valore del livello di pressione al ricevitore è $L_p=41 \text{ dB}$, considerevolmente più basso rispetto alla situazione precedente.

MISURA DI QUALITÀ ACUSTICA

Al fine di qualificare gli ambienti vengono condotte campagne di misura seguendo le indicazioni della ISO 3382-3. I casi di studio descritti di seguito rappresentano alcuni contesti in cui l'intelligibilità acustica e il decadimento spaziale ne definiscono la qualità acustica e in cui contribuiscono in maniera significativa al comfort di chi vi lavora.

Le misure di STI sono state effettuate utilizzando il metodo indiretto, in diverse configurazioni. Nei casi studio sono state utilizzate sorgenti sonore differenti: un dodecaedro custom ad alta potenza ed una sorgente direzionale, calibrata sullo spettro del parlato con sforzo vocale normale. Entrambe le sorgenti sono state calibrate in camera riverberante secondo ISO 3741. In fase di elaborazione dati, le misure di STI effettuate con metodo indiretto sono state corrette con il livello di rumore misurato in ambiente.

Le misure di distribuzione dell'energia sonora sono state condotte lungo linee di misura scelte per ottimizzare la caratterizzazione degli ambienti. Al fine di simulare la presenza delle persone, i ricevitori sono stati posizionati in corrispondenza delle sedute, all'altezza di 1,20 m. In ciascun caso di studio le misure sono state svolte con gli impianti di condizionamento accesi e senza la presenza di persone in accordo alla ISO 3382-3 e alla letteratura di riferimento.

L'attrezzatura utilizzata per le misure era composta da un laptop con il software DIRAC per fornire segnali ESS (exponential sine sweep), una Motu UltraLite AVB come microfono preamplificato e convertitore (24 bit/48 kHz), un dodecaedro custom ad alta potenza, una Talk Box usata come sorgente direzionale in accordo con le indicazioni della ITU-T p.51, microfoni omnidirezionali da mezzo pollice, un fonometro DUO usato per misurare il rumore di fondo e fonometro analizzatore NTI XL2.

Caso di studio 1: open plan office di una multinazionale (60 postazioni)

Il primo caso di studio riguarda un ufficio open plan di una multinazionale con sede a Bologna, la campagna di misurazione per la caratterizzazione acustica dell'ambiente è stata condotta a maggio 2017.

L'ufficio ha un'area di 420 m², un'altezza di 4.00 m, un volume totale di 1670 m³ ed è completamente arredato.

Sono presenti diversi tipi di postazioni lavorative: la maggior parte sono disposte nell'open space ma ci sono anche postazioni parzialmente chiuse da pannelli alti 1.80 m e tre uffici singoli chiusi. Ciascuna postazione comprende una scrivania, una sedia, uno schermo o computer personale. Sopra ogni scrivania si trovano diversi oggetti personali, fogli di carta, telefoni e cavi; non sono presenti pannelli divisorii tra le postazioni. In aggiunta agli arredi personali, all'interno dell'ufficio sono presenti numerosi scaffali e cassetiere, la maggior parte alte 1.40 m. Non sono presenti sistemi artificiali di mascheramento.

Per effettuare la campagna di misura e caratterizzare al meglio l'ambiente sono state scelte linee di misura, una longitudinale e una trasversale (Figura 4). I valori misurati in situ evidenziano livelli di STI elevati (Tabella 1), questo provoca una alta comprensione dei discorsi dei colleghi anche sulla lunga distanza a causa delle scarse caratteristiche acustiche dell'ambiente che non contribuisce al decadimento dell'energia sonora (valori di $D_{2,s}$ bassi).



a) Linea 1 e linea 2 utilizzate nelle configurazioni A e B.

Figura 4 – Linee di misura all'interno dell'ufficio; le dimensioni sono in metri. I dispositivi dell'impianto di condizionamento sono posizionati sulla destra, come mostrato in figura.

Config.	Correz. Rumore	STI	$D_{2,s}$	Sorgente	Linea (Fig. 2)	Lungh. (s)
A	No	0.81	4.1	Dodec.	1	2.73
A	Si	0.47	4.1			
B	No	0.89	4.8	Dodec.	2	2.73
B	Si	0.79	4.8			

Tabella 1 –Valori di STI (alla postazione più vicina alla sorgente) e $D_{2,S}$ misurati. Sono riportati i valori misurati in situ e i valori corretti successivamente con il rumore di fondo.

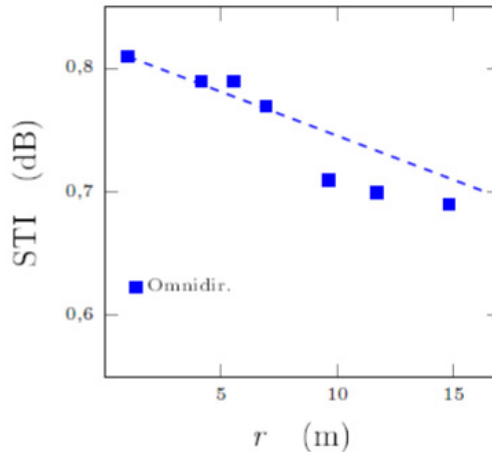


Figura 5 – Valori di STI misurati lungo la linea 1 alle diverse postazioni lavorative.

Caso di studio 2: ufficio programmazione (5 postazioni)

Al fine di valutare le condizioni acustiche allo stato di fatto dell' *ufficio programmazione* di una azienda è stata effettuata una campagna di misure (dalle 17:30 alle 19:30). L'ufficio in esame misura di 40 m², un'altezza di 2.80 m, un volume totale di 112 m³ ed è completamente arredato. Sono stati identificati sei punti significativi per effettuare le misurazioni e caratterizzare l'ambiente acustico dell'ufficio (vedi Figura 6). Cinque punti sono stati scelti in corrispondenza delle postazioni lavorative, come indicato dalla ISO 3382-3, e un punto in posizione centrale.

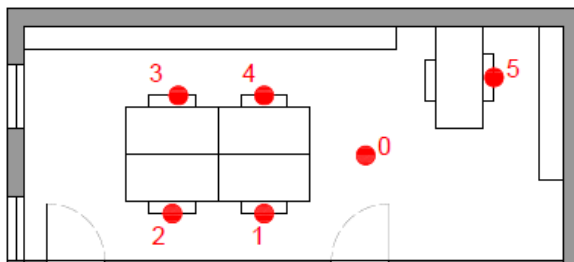


Figura 6 - Posizioni delle misurazioni dell'intelligibilità del parlato (STIPA), del decadimento spaziale (D2,S) e del rumore antropico.

Per poter valutare correttamente il parametro STIPA sono state misurate tutte le configurazioni possibili in cui parlatore e ascoltatore possono disporsi all'interno dell'ufficio. Si è proceduto disponendo la sorgente sonora (SSn, dove n indica il numero della postazione) in un punto e spostando il ricevitore microfonico (Rn, dove n indica il numero della postazione) nelle postazioni restanti. Si notano differenze a seconda delle postazioni, come riportato in Figura 7.

STIPA	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5
R1	-	0,56	0,54	0,61	0,59
R2	0,54	-	0,60	0,58	0,60
R3	0,55	0,54	-	0,55	0,63
R4	0,56	0,55	0,53	-	0,58
R5	0,56	0,56	0,57	0,55	-

Tabella 2 - Valori di STIPA misurati alla fine dell'orario lavorativo (impianto di condizionamento e computer accesi). I numeri di sorgenti (SSn) e ricevitori (Rn) fanno riferimento alla Figura 6.

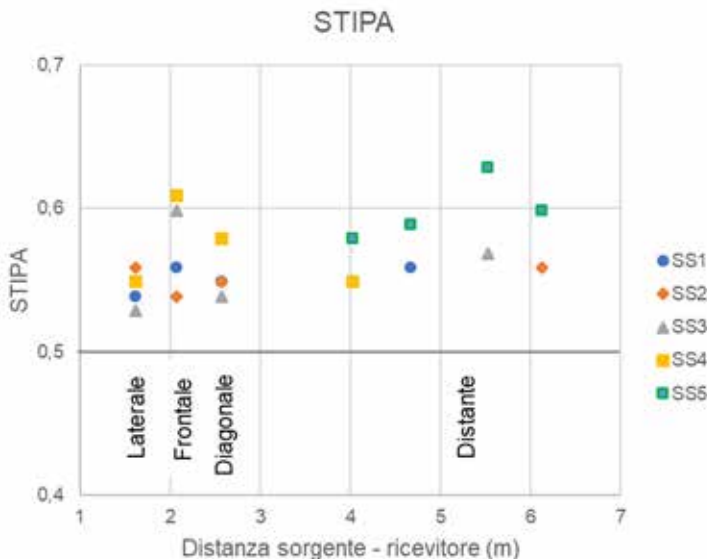


Figura 7 – Valori di STIPA misurati in tutte le cinque configurazioni. Il layout delle postazioni lavorative identifica quattro disposizioni di sorgente-ricevitore nello spazio: laterale (distanza S-R di 1.60 m), diagonale (distanza S-R di 2.55 m), frontale (distanza S-R di 2.05 m), distante (distanza S-R > 4.00 m).

I valori di $D_{2,S}$ e $L_{p,A,S,4m}$ misurati all'interno dell'ufficio evidenziano un ambiente con caratteristiche tali da non attenuare il propagarsi dell'energia sonora e se si paragonano i valori con i target di riferimento suggeriti dalla ISO 3382-3 si nota che i requisiti di qualità acustica non sono soddisfatti.

	Ricevitore	r (m)	$L_{p,A}$ (dB)	$D_{2,S}$ (dB)	$L_{p,A,S,4m}$ (dB)
Valori misurati: linea 1	R6	1,1	62,5	0,5	58,4
	R4	3,9	58,4		
	R3	5,41	58,2		
Valori misurati linea 2	R1	4,56	57,9	2	58,3
	R2	6	57,1		
Valori Target (ISO 3382-3)	-	-	-	> 7	≤ 48

Tabella 3 –Livelli di pressione sonora ponderati A ($L_{p,A}$) per ciascun ricevitore (vedi Figura 6). Sono individuati i valori di decadimento spaziale ($D_{2,S}$) al raddoppio della distanza e di livello di pressione sonora a 4 m di distanza dalla sorgente ($L_{p,A,S,4m}$).

CONCLUSIONI

Nei casi di studio analizzati, i valori di STIPA misurati denotano un indice di trasmissione del parlato alto e quindi che le persone riescono a comprendere i discorsi dei colleghi senza difficoltà, fatto che risulta frequente negli uffici a tipologia open space. Questo dato può avere complicazioni diverse: se l'attività svolta dalle persone richiede frequenti confronti e dialoghi in gruppo allora la buona qualità dell'intelligibilità favorisce la comprensione, se l'attività delle persone invece è prevalentemente individuale e i dialoghi con i colleghi sono limitati allora l'essere esposti all'ascolto involontario dei discorsi può essere causa di disturbo e perdita di concentrazione. Nei casi in esame, in cui l'attività lavorativa è prevalentemente individuale, i valori misurati elevati rivelano un diffuso discomfort, confermato dalle impressioni soggettive.

Grazie alle campagne di misurazioni, ai successivi interventi di miglioramento acustico e alla disposizione degli arredi secondo un nuovo layout, è stimabile un consistente decremento dell'energia sonora in ambiente e un'ottimizzazione del comfort lavorativo, con l'effetto di limitare lo sforzo vocale delle persone, riportandolo cioè a livelli "Normal" secondo ISO 9921.

Tutti gli effetti discussi hanno influenza sulla produttività lavorativa, come indicato in modo consolidato dalla letteratura scientifica sull'ergonomia e il comfort degli ambienti di lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ISO 3382-3:2012. Measurement of room acoustic parameters, Part 3: Open plan offices.
- [2] IEC 60268-16:2011. Sound system equipment. Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index.
- [3] ITU-T p.51 1996 – Telephone Transmission Quality – Artificial Mouth.
- [4] ISO 3741:2010. Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure.
- [5] ISO 9921:2003. Ergonomics Assessment of speech communication.

d-A2018

I rischi fisici nei luoghi di lavoro

NUOVI CRITERI PER LA VALUTAZIONE DEI RISCHI DA ESPOSIZIONE A VIBRAZIONI MANO-BRACCIO (ISO/TR 18570:2017) E A VIBRAZIONI E SHOCK MECCANICI TRASMESSI AL CORPO INTERO (ISO/CD 2631-5)

Massimo Bovenzi

Unità Clinica Operativa di Medicina del Lavoro, Dipartimento di Scienze Mediche, Chirurgiche e della Salute, Università degli Studi di Trieste

1.0 Introduzione

I risultati di recenti studi biodinamici, fisiopatologici ed epidemiologici hanno indotto a riconsiderare alcuni criteri di valutazione dei rischi da esposizione occupazionale a vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio (*hand-transmitted vibration*, HTV) e a vibrazioni e shock meccanici trasmessi al corpo intero (*whole-body vibration*, WBV).

In particolare, nel *Technical Report* ISO/TR 18570:2017 [1] viene proposta una nuova curva di ponderazione in frequenza di HTV per la predizione del rischio vascolare rappresentato dal fenomeno di Raynaud secondario a vibrazioni meccaniche segmentali (fenomeno del “dito bianco” o, nella terminologia anglosassone, “*vibration-induced white finger*”, VWF).

Nel *Draft International Standard* ISO/DIS 2631-5:2017 dedicato alla valutazione dell’esposizione a WBV caratterizzate da shock ripetitivi [2], viene proposto negli Allegati A e E un metodo per la stima del carico dinamico lombare associato alle forze intraspinali generate dall’esposizione occupazionale a WBV impulsive e shock meccanici.

2.0 Rischio vascolare da HTV

L’esposizione occupazionale a HTV può causare patologie a carico dei sistemi vascolare, neurologico e muscolo-scheletrico degli arti superiori, definite con termine unitario Sindrome da Vibrazioni Mano-Braccio (*Hand-*

Arm Vibration Syndrome, HAVS). La componente vascolare della HAVS è caratterizzata da fenomeni vasospastici delle arterie digitali innescati dal microclima freddo e obiettivamente evidenziati da episodi di pallore alle dita delle mani (VWF), [3].

Nell'Allegato C dello standard internazionale ISO 5349-1 [4] viene suggerita una relazione esposizione-risposta per le patologie da HTV che si assume essere valida per tutte le componenti della HAVS. In realtà, il modello ISO di rischio per HTV si basa esclusivamente su studi epidemiologici di prevalenza di VWF in gruppi selezionati di lavoratori esposti a HTV di differente magnitudo e durata. Nelle ultime tre decadi, numerosi studi epidemiologici hanno riportato discrepanze tra l'occorrenza osservata di VWF e quella predetta dallo standard ISO 5349-1 [5]: (i) sovrastima del rischio di VWF è stata osservata in gruppi di lavoratori esposti a HTV di bassa frequenza ed elevata ampiezza generate da utensili di tipo percussorio; (ii) sottostima dell'occorrenza di VWF è stata riportata in lavoratori esposti a HTV con componenti di media e alta frequenza quali quelle prodotte da motoseghe, smerigliatrici e martelli scalpellatori o rivettatori.

Tali discrepanze tra prevalenze osservate e predette di VWF sono state attribuite, almeno in parte, ai metodi di misura e di valutazione dell'esposizione occupazionale a HTV suggeriti dall'ISO 5349-1 [4]. Poiché la risposta biodinamica dell'arto superiore alle vibrazioni è frequenza-dipendente, lo standard ISO raccomanda di pesare l'accelerazione r.m.s. delle vibrazioni mediante una curva di ponderazione in frequenza (definita W_h) che assume che la sensibilità del sistema mano-braccio è approssimativamente proporzionale all'accelerazione r.m.s. delle vibrazioni per frequenze < 16 Hz e diminuisce in proporzione inversa alla frequenza delle vibrazioni tra 16 e 1250 Hz. Si assume, pertanto, che le vibrazioni di bassa frequenza siano più importanti delle vibrazioni di media e elevata frequenza per l'insorgenza degli effetti avversi da HTV. E' opportuno ricordare che la curva di ponderazione W_h dell'ISO 5349-1 deriva da un unico studio sperimentale psicofisico in cui le sensazioni di percezione neurosensoriale periferica elicitate da vibrazioni di diverse frequenze sono state indagate in un limitato numero di soggetti sani [6].

Sulla base dei risultati di recenti studi biomeccanici, sperimentazioni psicofisiche e fisiologiche su soggetti umani e animali da esperimento, e indagini epidemiologiche sull'occorrenza di VWF in varie popolazioni di lavoratori esposti a HTV [5,7-12], in un Workshop tenuto a latere della 12th International Conference on Hand-Arm Vibration [13] sono state discusse curve alternative per la ponderazione in frequenza di HTV. Le conclusioni del Workshop sono state in seguito formalizzate nel *Technical Report* ISO/TR 18570:2017 [1] in cui vengono proposti sia una nuova curva di ponderazione in frequenza di HTV (definita W_p) sia un metodo supplementare per la valutazione del rischio vascolare da HTV. Confrontata

con la curva di pesatura W_h dell'ISO 5349-1, la nuova curva di ponderazione W_p dà maggior peso alle vibrazioni di media e alta frequenza (Fig. 1). La forma della curva W_p per la valutazione del rischio vascolare da HTV deriva da un compromesso tra i risultati di studi biodinamici ed epidemiologici (Fig. 2): i fattori di ponderazione nel range delle frequenze 6.3 – 400 Hz (bande di terzi d'ottava) sono intermedi tra quelli derivati da esperimenti di assorbimento di energia meccanica nelle dita delle mani [8] e quelli suggeriti da uno studio epidemiologico di prevalenza di VWF in lavoratori giapponesi [14].

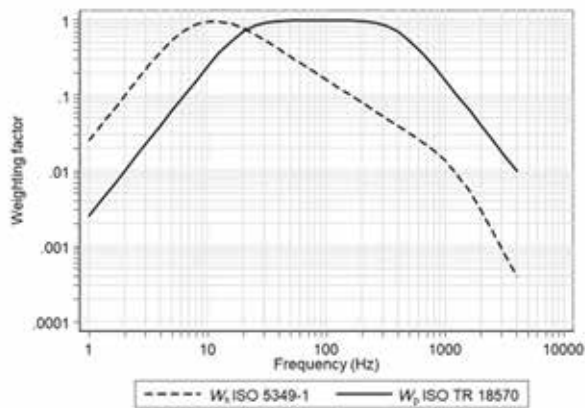


Figura 1. Confronto tra le curve di ponderazione in frequenza W_h e W_p .

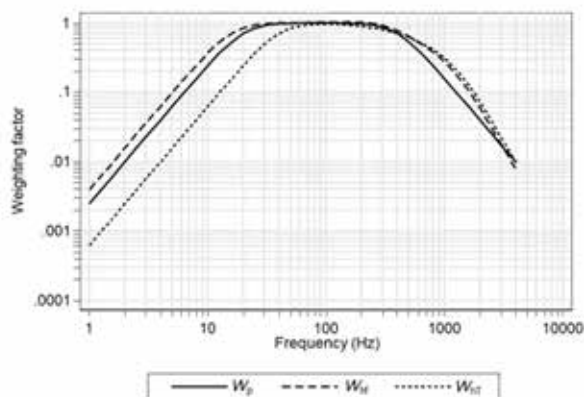


Figura 2. Curve di ponderazione in frequenza di HTV: W_p (ISO/TR 18570),

W_{hr} (assorbimento di energia meccanica), W_{HT} (studio epidemiologico giapponese).

2.1 Performance di W_h e W_p per la predizione del rischio vascolare

Allo scopo di indagare se vi è evidenza epidemiologica in grado di supportare il metodo supplementare per la valutazione del rischio vascolare da HTV suggerito dall'ISO/TR 18570:2017 e per comparare la performance relativa delle metriche costruite con le curve di ponderazione W_h e W_p per predire l'occorrenza di VWF, entrambe le metriche sono state applicate alla coorte italiana del progetto europeo VIBRISKS costituita da un gruppo di operatori forestali esposti a HTV da motoseghe e decespugliatori ($n=215$) e di lavoratori dei materiali lapidei esposti a HTV da smerigliatrici e martelli scalpellatori ($n=34$), [10,11,15].

Le vibrazioni generate dagli utensili dei due gruppi di lavoratori sono state misurate secondo le raccomandazioni dello standard ISO 5349-1 [4] e il valore totale delle vibrazioni ponderate in frequenza con W_h o W_p (W_i) lungo gli assi x , y e z è stato calcolato come segue:

$$a_{vi}(W_f) = \sqrt{a_{xi}^2(W_f) + a_{yi}^2(W_f) + a_{zi}^2(W_f)} \quad (ms^{-2} \text{ r. m. s.})$$

La Fig. 3 riporta le accelerazioni r.m.s. degli utensili ponderate con le curve W_h o W_p . Le differenze tra i due metodi di misura erano attese considerando che W_p , rispetto a W_h , dà maggior peso alle vibrazioni con medie e alte frequenze (cfr. Fig. 1).

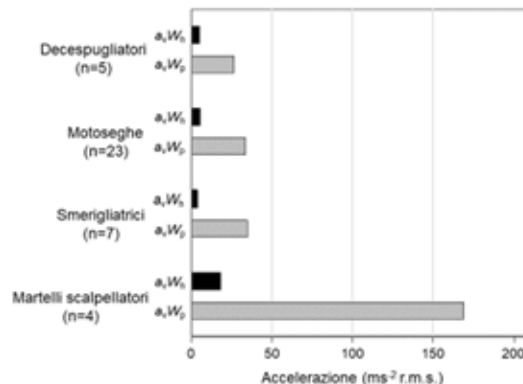


Figura 3. Valore totale delle vibrazioni (a_v in ms^{-2} r.m.s.) degli utensili adoperati dai forestali e dai lavoratori dei materiali lapidei, ponderate in frequenza con le curve W_h e W_p .

d-A2018

L'esposizione giornaliera a HTV è stata valutata in accordo con lo standard ISO 5349-1 [4] e la Direttiva EU sulle vibrazioni meccaniche [16] ed è stata espressa in termini di accelerazione r.m.s. normalizzata a 8 ore di lavoro ($A(8)$), ponderata in frequenza con W_h o W_p (W_f):

$$A(8)_{(W_f)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n a_{vi(W_f)}^2 \frac{T_i}{T_0}} \quad (ms^{-2} \text{ r. m. s.})$$

ove a_v è il valore totale delle vibrazioni dell'utensile i , T_i è la durata del lavoro con l'utensile i in ore, e T_0 è il periodo di riferimento di 8 ore.

Per stimare una possibile soglia per il rischio vascolare da HTV, l'ISO/TR 18570:2017 raccomanda di calcolare il valore di esposizione giornaliero a HTV ponderato con W_p ($E_{p,d}$ in $ms^{-1.5}$):

$$E_{p,d} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_{pvi})^2 T_i} \quad (ms^{-1.5})$$

ove a_{pvi} è il valore totale delle vibrazioni dell'utensile i ponderato in frequenza con W_p , e T_i è la durata di esposizione all'utensile i espressa in secondi.

La diagnosi di angiopatia da vibranti (VWF) nei lavoratori è stata formulata utilizzando criteri anamnestici e obiettivi di consenso internazionale e valutando la funzione vascolare periferica mediante la misura delle pressioni sistoliche digitali dopo cold test a 10°C con tecnica strain-gauge.

Dalla Tabella 1 si evince che l'esposizione a HTV e l'occorrenza di VWF erano significativamente maggiori nei lavoratori dei lapidei che nei forestali.

Tabella 1. Caratteristiche delle popolazioni studiate (mediane e quartili).

	Lavoratori forestali (n=215)	Lavoratori dei lapidei (n=34)
Età (anni)	42.8 (34.6 – 48.2)	37.2 (30.9 – 43.2)
$A_h(8)$ (ms^{-2} r.m.s.)	3.5 (2.5 – 4.8)	6.7 (5.4 – 15.8)*
$A_p(8)$ (ms^{-2} r.m.s.)	17.0 (12.3 – 26.0)	74.4 (62.9 – 152)*
$E_{p,d}$ ($ms^{-1.5}$)	2890 (2086 – 4408)	12633 (10678 – 25834)*

VWF (n)	16 (7.4%)	16 (47.1%)*
---------	-----------	-------------

*p<0.0001

La relazione tra esposizione giornaliera a HTV e risposta (occorrenza di VWF) durante un periodo di follow-up di 4 anni è stata valutata mediante modelli di regressione logistica longitudinale utilizzando le equazioni generalizzate di stima. La statistica QIC (Quasi-likelihood Information Criterion) è stata usata per comparare il *fitting* dei modelli che includevano le misure alternative di esposizione giornaliera a HTV ($A_h(8)$, $A_p(8)$, $E_{p,d}$): tanto minore è il valore di QIC, tanto migliore è l'adattamento del modello ai dati osservati.

I risultati dell'analisi logistica riportati in Tabella 2 suggeriscono un migliore adattamento all'occorrenza di VWF (cfr. statistica QIC) per i modelli sia grezzi sia aggiustati per vari fattori di confondimento quando l'esposizione giornaliera a HTV era espressa in termini di $A_p(8)$ piuttosto che come $A_h(8)$.

Tabella 2. Odds ratio grezzi e aggiustati per fattori di confondimento (IC 95%) e statistica QIC per l'associazione tra occorrenza di VWF e esposizione giornaliera a HTV ($A(8)$) ponderate con le curve W_h o W_p .

Fattori	Modello 1		Modello 2		Modello 3	
	$A_h(8)$ ($\times 1 \text{ ms}^{-2}$)	$A_p(8)$ ($\times 10 \text{ ms}^{-2}$)	$A_h(8)$ ($\times 1 \text{ ms}^{-2}$)	$A_p(8)$ ($\times 10 \text{ ms}^{-2}$)	$A_h(8)$ ($\times 1 \text{ ms}^{-2}$)	$A_p(8)$ ($\times 10 \text{ ms}^{-2}$)
	OR (IC 95%)	OR (IC 95%)	OR (IC 95%)	OR (IC 95%)	OR (IC 95%)	OR (IC 95%)
$A_h(8)$	1.34 (1.23-1.47)	1.36 (1.23-1.50)	1.36 (1.24-1.48)	1.37 (1.24-1.51)	1.38 (1.26-1.52)	1.41 (1.26-1.57)
Anni exp	-	-	1.06 (1.01-1.12)	1.06 (1.01-1.12)	1.04 (0.99-1.10)	1.04 (0.99-1.11)
Età	-	-	-	-	1.59 (0.90-2.81)	1.79 (0.96-3.34)
Tabacco	-	-	-	-	1.90 (0.81-4.47)	2.10 (0.87-5.07)
QIC	576	556	559	540	558	535
Δ QIC	20		19		23	

La migliore performance di $A_p(8)$ rispetto a $A_h(8)$ è anche evidenziata dai dati di Tabella 3 che riporta la predizione dell'occorrenza di VWF stimata mediante i modelli logistici longitudinali di Tabella 2. Tale evidenza si riscontra in particolare nel gruppo dei lavoratori dei materiali lapidei esposti a vibrazioni di media e alta frequenza generate da smerigliatrici e martelli scalpellatori.

In un Allegato del *Technical Report* ISO/TR 18570 [1], viene suggerita come possibile soglia per l'insorgenza di VWF un valore di esposizione giornaliera a HTV pari a $E_{p,d} \approx 1750 \text{ ms}^{-1.5}$ (corrispondente a un valore di

$A_p(8)$ di circa 10.3 ms^{-2} r.m.s.), quando le misure di HTV vengono espresse come valore totale delle vibrazioni (a_v). Nel nostro studio, 32 dei 249 lavoratori esposti a HTV (12.9%) erano esposti a $E_{p,d} \leq 1750 \text{ ms}^{-1.5}$, e di questi un solo lavoratore riportava VWF (3.1%). Dopo aggiustamento per età, durata di esposizione e abitudine al fumo di tabacco, il modello di regressione logistica stimava un'occorrenza predetta di VWF del 5.4% per un valore di esposizione $E_{p,d}=1750 \text{ ms}^{-1.5}$. Pertanto, i risultati di questo studio sembrano fornire un certo grado di evidenza epidemiologica per il valore soglia di $E_{p,d}$ suggerito da ISO/TR 18570 per l'insorgenza di VWF in lavoratori professionalmente esposti a HTV.

Tabella 3. Occorrenza di VWF osservata e predetta da misure alternative di esposizione giornaliera a HTV ($A_h(8)$ o $A_p(8)$). Le occorrenze predette di VWF sono state stimate mediante i modelli logistici di Tabella 2.

Occupazione	VWF osservato (%)	VWF predetto (%)					
		Modello 1		Modello 2		Modello 3	
		$A_h(8)$	$A_p(8)$	$A_h(8)$	$A_p(8)$	$A_h(8)$	$A_p(8)$
Lav. forestali (n=215)	7.4	9.4	8.0	9.2	7.8	9.5	8.1
Lav. lapidei (n=34)	47.1	35.7	43.9	36.9	44.9	35.6	43.3

È opportuno sottolineare che la nuova metodologia di valutazione del rischio vascolare da HTV suggerita dall'ISO/TR 18570:2017 [1] è di carattere supplementare, ovvero non sostituisce né abroga le raccomandazioni contenute nello standard ufficiale ISO 5349-1:2001 [4]. In particolare la metodologia ISO/TR 18570 non si applica per la valutazione delle patologie neurologiche e muscolo-scheletriche da HTV. I risultati di recenti studi epidemiologici, infatti, non hanno evidenziato differenze significative tra misure di HTV pesate con diverse curve di ponderazione in frequenza (ISO W_h o curve similari a W_p) nella predizione dell'occorrenza di disturbi neurosensitivi o muscolo-scheletrici in lavoratori esposti a HTV [17,18]. Queste evidenze epidemiologiche suggeriscono che è improbabile che una singola curva di ponderazione in frequenza di HTV sia appropriata per predire l'occorrenza di tutti gli effetti avversi da HTV in quanto differenti fattori etiologici e diversi meccanismi fisiopatologici possono intervenire nell'insorgenza delle varie componenti della sindrome da vibrazioni mano-braccio. Mentre VWF è una malattia professionale causata da uno specifico agente fisico, le patologie neurologiche e muscolo-scheletriche sono malattie lavoro-correlate nelle quali altri fattori di rischio, oltre a HTV, possono

giocare un ruolo, quali le caratteristiche personali, un eccessivo carico fisico (forza, ripetitività, postura), e un elevato stress psicologico/psicosociale.

In conclusione, le misure di esposizione giornaliera a HTV costruite con la curva di ponderazione W_p ($A_p(8)$) e $E_{p,d}$ in accordo con ISO/TR 18570:2017), che danno maggior peso alle vibrazioni di media e alta frequenza, sembrano essere migliori predittori del rischio vascolare da HTV rispetto alla metrica convenzionale ISO calcolata con la curva W_h ($A_h(8)$) in accordo con ISO 5349-1:2001). Vi è qualche evidenza epidemiologica per un valore soglia di $E_{p,d}$ associato con l'insorgenza di VWF, con l'avvertenza che tale soglia è valida solamente per il rischio vascolare e non si applica agli altri effetti patologici da HTV (neurosensitivi e muscolo-scheletrici). La misura di HTV mediante la curva di ponderazione W_p può avere varie implicazioni per l'implementazione e la gestione della prevenzione dei disturbi vascolari da HTV, ad esempio la scelta di guanti protettivi con efficaci proprietà anti-vibrazioni. In ogni caso, le nuove informazioni emerse dagli studi biomeccanici ed epidemiologici possono essere di aiuto per il disegno e la manifattura di utensili vibranti e di dispositivi personali di protezione che riducano al minimo il rischio di patologie degli arti superiori associate all'esposizione occupazionale a HTV [16].

3.0 Valutazione dei rischi da esposizione a WBV e shock meccanici

La lombalgia (*low back pain*, LBP) è un sintomo di origine multifattoriale molto comune nella popolazione generale. Tra i fattori di rischio, gli studi epidemiologici hanno fornito evidenza per una significativa associazione tra LBP ed esposizione occupazionale a WBV e shock meccanici negli autisti di macchine industriali o agricole e di veicoli di pubblica utilità [3,20,21]. La Direttiva EU sulle vibrazioni meccaniche definisce le WBV come: “*le vibrazioni meccaniche che, se trasmesse al corpo intero, comportano rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare lombalgie e traumi del rachide*” [16]. Poiché è arduo separare il contributo indipendente di WBV all'occorrenza di LBP da quello di altri fattori avversi di origine individuale, ergonomica o psicosociale [22], una precisa relazione esposizione-risposta per WBV è di difficile definizione. Tuttavia, le ricerche sperimentali hanno fornito supporto biodinamico ai risultati degli studi epidemiologici, evidenziando che in laboratorio l'esposizione controllata a WBV provoca sovraccarico meccanico del rachide lombare.

In una recente meta-analisi degli studi trasversali pubblicati tra il 1986 e il 2014 [19], l'odds ratio combinato per la prevalenza di LBP, aggiustato almeno per l'età, è risultato pari a 1.87 (IC 95% 1.52 – 2.30) in 28 popolazioni di autisti professionisti esposti a WBV quando confrontati con i rispettivi gruppi di controllo (Fig. 4).

Nella medesima meta-analisi [19], l'odds ratio combinato per la prevalenza di sciatalgia è risultato pari a 1.67 (IC 95% 1.25 – 2.23) in 12 popolazioni di autisti professionisti esposti a WBV rispetto ai gruppi di controllo.

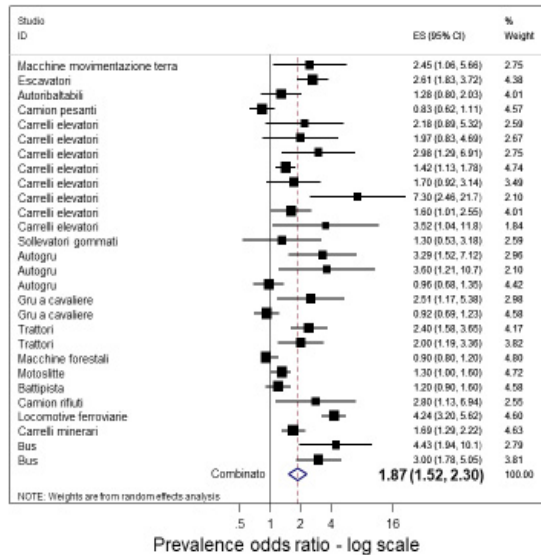


Figura 4. Meta-analisi degli studi epidemiologici (1986-2014) sulla prevalenza di LBP in autisti professionisti vs controlli non esposti a WBV (cfr. ref. 19 per gli studi originali).

3.1 LBP e misure di esposizione esterna a WBV

Allo scopo di proteggere la salute dei lavoratori dai rischi da esposizione a WBV, la Direttiva EU sulle vibrazioni meccaniche [16] ha stabilito valori giornalieri di esposizione che fanno scattare l'azione e valori limite giornalieri di esposizione (Tabella 4). Per valutare l'esposizione giornaliera a WBV, la Direttiva EU suggerisce due diverse metriche. La metrica $A(8)$ in ms^{-2} r.m.s. è calcolata con il metodo della seconda potenza:

$$A(8)_{max} = \left(\sum_i a_{wi(max)}^2 \times \frac{t_{di}}{T_{(8)}} \right)^{1/2} \quad (ms^{-2} \text{ r. m. s.})$$

ove $a_{wi(max)}^2$ è il valore più elevato dell'accelerazione r.m.s. per l'esposizione i determinato lungo i tre assi ortogonali ($1.4 a_{wx}$, $1.4 a_{wy}$, o a_{wz} per un soggetto seduto), t_{di} è la durata dell'esposizione i , and $T_{(8)}$ è la durata di riferimento di 8 ore.

d-A2018

Alternativamente, la Direttiva EU suggerisce l'utilizzo del Valore di Dose delle Vibrazioni (VDV in $\text{ms}^{-1.75}$) calcolato con il metodo della quarta potenza quando l'esposizione a WBV è caratterizzata da vibrazioni impulsive o shock ripetuti:

$$VDV_{\max} = \left[\int_{t=0}^{t=T} a_{w(\max)}^4(t) dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad (\text{ms}^{-1.75})$$

ove $a_{w(\max)}^4$ è il valore più elevato dell'accelerazione r.m.q. determinato lungo i tre assi ortogonali ($1.4 a_{wx}$, $1.4 a_{wy}$, o a_{wz} per un soggetto seduto), e T è la durata di esposizione alle vibrazioni espressa in secondi.

Numerosi studi hanno evidenziato che, mentre vi è qualche evidenza clinica e sperimentale che tende a supportare il valore di azione $A(8)_{\max}=0.5 \text{ ms}^{-2}$ r.m.s. stabilito dalla Direttiva EU (Tabella 4), all'opposto non vi è alcuna validazione biodinamica o epidemiologica per il valore limite di $A(8)_{\max}=1.15 \text{ ms}^{-2}$ r.m.s.. Questi valori di esposizione, d'altra parte, sono superiori a quelli raccomandati in un Allegato allo standard ISO 2631-1 [23] dedicato agli effetti sulla salute di WBV (Tabella 5). Saggiamente, pertanto, si è comportato il legislatore del nostro Paese abbassando tale valore limite a 1.0 ms^{-2} r.m.s. e introducendo un valore di esposizione di breve periodo (1.5 ms^{-2} r.m.s.) per prevenire l'insorgenza di eventi acuti da WBV.

Tabella 4. Valori di esposizione giornaliera a WBV stabiliti dalla Direttiva EU [16].

Valori di esposizione giornaliera	WBV
Valore di azione	$A(8)=0.5 \text{ ms}^{-2}$ r.m.s. $VDV=9.1 \text{ ms}^{-1.75}$
Valore limite di esposizione	$A(8)=1.15 \text{ ms}^{-2}$ r.m.s. (EU) 1.0 ms^{-2} r.m.s. (Italia) $VDV=21 \text{ ms}^{-1.75}$
Esposizione per breve periodo	1.5 ms^{-2} r.m.s. (Italia)

Tabella 5. Valori di cautela per la salute suggeriti dallo Standard ISO 2631-1 (Allegato B), [23].

Rischio per la salute	Probabilità di rischio	Standard ISO 2631-1	
		$A(8)$ (ms^{-2} r.m.s.)	VDV ($\text{ms}^{-1.75}$)
Effetti non documentati	Bassa	< 0.45	< 8.5
Rischio potenziale	Moderata	0.45 – 0.90	8.5 – 17

per la salute			
Rischio probabile per la salute	Alta	> 0.90	> 17

Le legislazioni nazionali della quasi totalità dei Paesi Europei hanno adottato $A(8)_{\max}$ quale metrica di preferenza per la valutazione del rischio da WBV. E' da notare che $A(8)$, se comparato con VDV , tende a sottostimare gli effetti di WBV in presenza di vibrazioni impulsive o shock ripetitivi. Inoltre, è criticabile la scelta di calcolare entrambe le metriche sulla base dell'accelerazione misurata sull'asse dominante, ovvero $A(8)_{\max}$ o VDV_{\max} , mentre sarebbe più appropriato utilizzare la somma vettoriale delle accelerazioni ($a_{w\text{sum}} = [(1.4 a_{wx})^2 + (1.4 a_{wy})^2 + (a_{wz})^2]^{0.5}$), ovvero $A(8)_{\text{sum}}$ o VDV_{sum} , in particolare per macchine e veicoli che generano vibrazioni multi-assiali di comparabile magnitudo.

Queste puntualizzazioni appaiono rilevanti se si considera che la Direttiva EU e la stessa legislazione del nostro Paese (D.Lgs. 81/2008), hanno stabilito che i lavoratori esposti a WBV hanno diritto alla sorveglianza sanitaria quando viene superato il valore giornaliero di azione. Nel braccio Italiano del progetto Europeo VIBRISKS [15] è stata valutata l'esposizione a WBV in tre gruppi di autisti professionisti che non lamentavano LBP allo studio trasversale (n=202). In ciascun gruppo, $A(8)_{\text{sum}}$ e VDV_{sum} sono risultati significativamente più elevati di $A(8)_{\max}$ e VDV_{\max} (p<0.001).

Tabella 6. Distribuzione degli autisti professionisti della coorte Italiana VIBRISKS rispetto al valore di azione per esposizione giornaliera a WBV calcolato con diverse metriche [24]. I dati sono espressi come numeri (%)

Esposizione giornaliera a WBV	Autisti			
	Macchine movimento terra (n=49)	Carrelli elevatori (n=67)	Pubblica utilità (n=86)	Totale (n=202)
$A(8)_{\max}$ (ms ⁻² r.m.s.)				
<0.5	39 (79.6)	54 (80.6)	86 (100)	179 (88.6)
>0.5	10 (20.4)	13 (19.4)	0 (0)	23 (11.4)
$A(8)_{\text{sum}}$ (ms ⁻² r.m.s.)				
<0.5	20 (40.8)	48 (71.4)	86 (100)	154 (76.2)
>0.5	29 (59.2)	19 (28.4)	0 (0)	48 (23.8)
VDV_{\max} (ms ^{-1.75})				
<9.1	19 (38.8)	32 (47.8)	86 (100)	137 (67.8)
>9.1	30 (61.2)	35 (52.2)	0 (0)	65 (32.2)
VDV_{sum} (ms ^{-1.75})				

<9.1	14 (28.6)	31 (46.3)	77 (89.5)	122 (60.4)
>9.1	35 (71.4)	36 (53.7)	9 (10.5)	80 (39.6)

La Tabella 6 evidenzia che un numero progressivamente maggiore di autisti sarebbero stati eligibili alla sorveglianza sanitaria qualora il valore di azione giornaliero fosse stato calcolato con le diverse metriche: 23 soggetti (11.4%) per $A(8)_{\max} \geq 0.5 \text{ ms}^{-2}$ r.m.s., 48 soggetti (23.8%) per $A(8)_{\text{sum}} \geq 0.5 \text{ ms}^{-2}$ r.m.s., 65 soggetti (32.2%) per $\text{VDV}_{\max} \geq 9.1 \text{ ms}^{-1.75}$, e 80 soggetti (39.6%) per $\text{VDV}_{\text{sum}} \geq 9.1 \text{ ms}^{-1.75}$ [24].

3.2 LBP e misure di esposizione interna a WBV

Le metriche $A(8)$ e VDV sono misure di esposizione esterna alle vibrazioni e riflettono solo parzialmente le forze intraspinali che agiscono sulle strutture anatomiche del rachide lombare. Inoltre, è improbabile che misure di esposizione giornaliera a WBV siano validi indicatori per la valutazione dei rischi a lungo termine quali le patologie croniche a carico della colonna lombare. Poiché queste ultime sono di origine multifattoriale negli autisti professionisti, è stato suggerito che le misure di esposizione giornaliera raccomandate dallo standard ISO 2631-1 [23] e dalla Direttiva EU [16] non tengono adeguatamente conto dell'influenza di altri cofattori sul rischio di lesioni lombari quali l'età, le caratteristiche antropometriche, la postura e la durata complessiva di esposizione a WBV. Sulla base di tali considerazioni, sono stati implementati modelli dinamici calcolati con il metodo degli elementi finiti (*dynamic fine-element (FE) models*) per predire le forze intralombare generate dall'esposizione occupazionale a WBV [25-28]. La modellazione FE della risposta lombare alle WBV è stata validata dai risultati della ricerca sperimentale biodinamica [25,27]. Inoltre, i modelli dinamici FE sono ben correlati con le caratteristiche anatomiche della colonna lombare e sono stati adattati alle posture e ai dati antropometrici di gruppi rappresentativi degli autisti professionisti Europei [29].

Nell'ISO/DIS 2361-5 viene proposto un metodo per la valutazione del rischio da WBV caratterizzate da shock meccanici ripetitivi che possono verificarsi in un contesto industriale (macchine movimentazione terra, trattori, macchine forestali). La metodologia proposta si applica a condizioni di esposizione a shock meccanici che non causino perdita di contatto con la superficie del sedile o che comunque non generino un'accelerazione di picco $> 9.81 \text{ ms}^{-2}$ (Allegati A e E all'ISO/DIS 2631-5), [2]. Un metodo diverso di valutazione del rischio viene invece suggerito per esposizioni a veicoli militari *off-road* e imbarcazioni o natanti ultraveloci quando gli shock causano sobbalzi con perdita di contatto con il sedile e l'accelerazione di picco eccede il valore di 9.81 ms^{-2} (Allegati C e D all'ISO/DIS 2631-5), [2].

Nel caso di esposizioni a shock meccanici in ambito industriale, la risposta lombare alle WBV viene predetta mediante il calcolo delle forze intravertebrali sulla base di funzioni di trasferimento dalle accelerazioni non-pesate delle vibrazioni alle forze lombari stimate da modelli FE anatomico-dipendenti. Le metriche per la valutazione del carico lombare sono espresse in termini di dose giornaliera di compressione (*daily compressive dose*), S_d^A (MPa), e di fattore di rischio R^A (adimensionale) calcolati sulla base delle relazioni tra forze intraspinali statiche e dinamiche e le caratteristiche individuali del soggetto quali l'età, il peso, il body mass index (BMI), la postura e la durata di esposizione del lavoratore.

La dose giornaliera di compressione S_d^A (MPa) è calcolata come segue (gli apici^A si riferiscono alle formule incluse nell'Allegato A all'ISO/DIS 2631-5 per differenziarle da quelle dell'Allegato C):

$$S_d^A = \left(\sum_i S_i^{A^6} \times \frac{t_{d,i}}{t_{m,i}} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (MPa)$$

ove S_i^A è lo stress dinamico di compressione causato dalle vibrazioni generate dall'esposizione (veicolo) i e calcolato come somma delle forze compressive di picco agenti sull'area del piatto vertebrale (mm^2), $t_{d,i}$ è la durata giornaliera dell'esposizione (veicolo) i alle vibrazioni (per una singola esposizione si assume $t_{d,i}=4$ h), $t_{m,i}$ è il tempo di misura durante il quale S_i^A è stato calcolato, e i è il numero delle esposizioni (veicoli guidati).

Il fattore di rischio R^A (adimensionale) è una metrica per la valutazione degli effetti avversi associati con la dose di compressione, e per un'esposizione giornaliera costante in tutti gli anni di esposizione è calcolato come segue (Allegato E all'ISO/DIS 2631-5):

$$R^A = \left[\sum_{j=1}^n \left(\frac{S_d^A \times N_j^{1/6}}{S_{u,j}^A - S_{stat,j}^A} \right)^6 \right]^{1/6}$$

ove S_d^A è la "daily compressive dose" (MPa), $S_{u,j}^A$ è la massima forza di resistenza dei piatti vertebrali (MPa) per un soggetto di età ($b+j$) ove b è l'età all'inizio dell'esposizione e j è la conta degli anni, $S_{stat,j}^A$ è lo stress compressivo statico dovuto alle forze gravitazionali in funzione del peso corporeo, il BMI e la postura del soggetto, N è il numero di giornate di esposizione/anno, e n è il numero di anni di esposizione.

Si segnala che è disponibile un software per semplificare il calcolo delle forze intraspinali, la dose giornaliera di compressione S_d^A , e il fattore di

rischio R^A . Il software, accompagnato da una guida per gli utilizzatori, è allegato allo standard DIN SPEC 45697 [30] ed è anche reperibile in un sito Web dell'ISO [2]. Il software consente il calcolo di S_d^A e di R^A per ciascuno dei sei livelli vertebrali del rachide lombare (da T12/L1 a L5/S1) per diverse combinazioni delle accelerazioni misurate su differenti macchine, delle caratteristiche individuali (età, BMI, postura) e delle durate di esposizione (ore/die, giorni/anno, e anni delle diverse esposizioni). I dati devono essere inseriti in un file Excel per poter poi essere processati dal software.

Nel braccio Italiano del progetto Europeo VIBRISKS è stato condotto uno studio di coorte prospettico su autisti professionisti con lo scopo di: (i) validare dal punto di vista epidemiologico le misure di carico lombare interno per la valutazione del rischio di effetti avversi da shock meccanici, (ii) comparare la performance relativa delle misure di dose esterna ($A(8)_{\max}$ e VDV_{\max} in accordo con la Direttiva EU [16]) rispetto alle misure di carico lombare interno (S_d^A e fattore R^A in accordo con ISO/DIS 2631-5 [2]) per la predizione di sintomi lombari [31,32].

L'occorrenza di sintomi lombari è stata indagata in una coorte di 537 autisti professionisti durante un periodo di follow up di due anni. I sintomi lombari (LBP, sciatalgia), le caratteristiche individuali (età, caratteristiche antropometriche), e altri fattori di rischio lavoro-correlati (carico fisico e ambiente psicosociale) sono stati rilevati mediante un questionario strutturato e validato [15].

Allo studio trasversale, le prevalenze di LBP e sciatalgia (mutualmente esclusive) nei 537 autisti professionisti erano del 12.7% e 23.1%, rispettivamente. Durante il periodo di follow up, vi furono 79 nuovi casi di LBP e 90 nuovi casi di sciatalgia (mutualmente esclusivi), dando luogo a incidenze cumulative del 16.8% e del 21.8%, rispettivamente.

L'analisi logistica multivariata longitudinale eseguita con il metodo delle equazioni generalizzate di stima per misure ripetute ha evidenziato una significativa associazione tra sintomi lombari (LBP, sciatalgia) e le misure di carico lombare interno (S_d^A e fattore R^A in particolare) espresse come variabili continue (Tabella 7). Per un aumento di 0.1 unità del fattore R^A , le stime di rischio aggiustate aumentavano del 28% per LBP e del 32% per la sciatalgia. Non sono, invece, emerse associazioni significative tra sintomi lombari e misure di esposizione esterna a WBV ($A(8)_{\max}$ e VDV_{\max}).

Quando i fattori di rischio occupazionale sono stati inclusi nei modelli logistici longitudinali come variabili quartili, il carico lombare interno (fattore R^A) e il carico fisico, ma non l'ambiente psicosociale, sono risultati significativamente associati con l'occorrenza dei sintomi lombari (Tabella 8).

Nell'Allegato E all'ISO/DIS 2631-5 [2], viene suggerito che un valore del fattore $R^A < 0.8$ indica una bassa probabilità di effetti avversi per il rachide

lombare, mentre un valore del fattore $R^A > 1.2$ indica una elevata probabilità di tali effetti.

Tabella 7. Relazione tra occorrenza di LBP e sciatalgia e misure di esposizione esterna ($A(8)_{\max}$, VDV_{\max}) e interna (S_d^A , fattore R^A) a WBV. Gli odds ratio (OR) sono aggiustati per vari fattori di confondimento [32].

Sintomo	Misure di esposizione a WBV	OR (IC 95%)
LBP	$A(8)_{\max}$ ($\text{ms}^{-2} \times 10^{-1}$)	0.94 (0.83–1.08)
	VDV_{\max} ($\text{ms}^{-1.75}$)	0.95 (0.90–1.01)
	S_d^A ($\text{MPa} \times 10^{-1}$)	1.09 (0.86–1.38)
	Fattore R^A (unità $\times 10^{-1}$)	1.28 (1.08–1.51)
Sciatalgia	$A(8)_{\max}$ ($\text{ms}^{-2} \times 10^{-1}$)	1.06 (0.94–1.18)
	VDV_{\max} ($\text{ms}^{-1.75}$)	1.00 (0.95–1.04)
	S_d^A ($\text{MPa} \times 10^{-1}$)	1.30 (1.07–1.58)
	Fattore R^A (unità $\times 10^{-1}$)	1.32 (1.15–1.52)

Tabella 8. Relazione tra occorrenza di LBP e sciatalgia e misure di carico lombare interno (fattore R^A), carico fisico e ambiente psicosociale. Gli odds ratio (OR) sono aggiustati per vari fattori di confondimento [32].

Fattori	LBP	Sciatalgia
	OR (IC 95%)	OR (IC 95%)
Fattore R^A (unità)		
0.07 – 0.19	1.0 (-)	1.0 (-)
0.20 – 0.27	0.73 (0.43 – 1.27)	1.09 (0.72 – 1.65)
0.28 – 0.40	1.09 (0.65 – 1.84)	1.57 (0.99 – 2.48)
0.41 – 0.72	1.83 (1.07 – 3.13)	2.13 (1.36 – 3.36)
Carico fisico		
lieve	1.0 (-)	1.0 (-)
moderato	1.34 (0.85 – 2.11)	1.46 (1.04 – 2.06)
pesante	1.59 (1.01 – 2.50)	1.72 (1.23 – 2.41)
molto pesante	2.09 (1.35 – 3.24)	2.03 (1.46 – 2.83)
Ambiente psicosociale		
buono	1.0 (-)	1.0 (-)
ragionevole	0.68 (0.43 – 1.09)	0.87 (0.58 – 1.29)
insufficiente	0.71 (0.45 – 1.10)	0.86 (0.60 – 1.24)
negativo	1.05 (0.64 – 1.71)	1.39 (0.91 – 2.13)

In una nota dell'Allegato E all'ISO/DIS 2631-5 si afferma che il valore $R^A=1$ non corrisponde all'evenienza certa di un danno al rachide lombare, e in particolare di lesioni dei piatti vertebrali; il valore $R^A=1$ indica soltanto che il carico dinamico dovuto allo shock meccanico ha raggiunto il medesimo

ordine di grandezza della forza (statica) ultimativa cui la vertebra può resistere.

Le probabilità di effetti avversi indicate nell'Allegato E all'ISO/DIS 2631-5 sono stimate sulla base di un valore di stress compressivo statico (S_{stat}^A) di 0.25 MPa (pari a circa 400 N su un'area del disco di 1600 mm²) in un soggetto con 45 anni lavorativi (dall'età di 20 a 65 anni) e con 240 giorni/anno di eguale esposizione (4 h/die) a dosi giornaliere di compressione (S_d^A) di 0.5 MPa ($R^A=0.8$) e 0.75 MPa ($R^A=1.2$).

Allo stato attuale, non vi è validazione epidemiologica per le sopramenzionate probabilità di rischio associate al fattore R^A . Nello studio VIBRISKS, l'analisi logistica longitudinale ha evidenziato un raddoppio del rischio di sintomi lombari (OR 1.83 – 2.13) nel quartile superiore del fattore R^A (0.41-0.72 unità) rispetto al quartile inferiore (0.07-0.19 unità), (Tabella 8). Si noti che nello studio VIBRISKS il quartile superiore del fattore R^A include valori più bassi del valore del fattore R^A che l'ISO/CD 2631-5 associa ad una bassa probabilità di rischio per patologie del rachide lombare (fattore $R^A < 0.8$). Pertanto, i risultati di questo studio epidemiologico sembrano indicare che i valori limite del fattore R^A suggeriti dall'ISO/CD 2631-5 non sono sufficientemente protettivi per la salute dei lavoratori esposti a shock meccanici. Tuttavia, va positivamente segnalata una nota inclusa nel documento ISO che afferma: *“When more experience of use of this part of ISO 2631 has been gained, comparisons between these S_d^A and R^A values and existing experience of adverse effects of long-term exposure might justify a re-evaluation of the values”* [2]. Va anche riconosciuto che ulteriori studi biodinamici ed epidemiologici sono necessari per validare i risultati dello studio VIBRISKS.

In conclusione, gli studi epidemiologici hanno fornito una forte evidenza per significative associazioni tra sintomi lombari ed esposizione occupazionale a WBV e shock meccanici negli autisti professionisti. Il valore limite di esposizione giornaliera a WBV stabilito dalla Direttiva EU ($A(8)_{\text{max}}=1.15$ ms⁻² r.m.s.) è eccessivo e opportunamente il legislatore Italiano ha ridotto tale valore limite di $A(8)_{\text{max}}$ a 1.0 ms⁻² r.m.s.. Nello studio di coorte prospettico realizzato nell'ambito del progetto Europeo VIBRISKS, le misure di carico lombare interno (forze compressive di picco) calcolate con modelli dinamici FE sono risultate migliori predittori dell'occorrenza di sintomi lombari in autisti professionisti rispetto alle metriche di esposizione esterna ($A(8)_{\text{max}}$ o VDV_{max}) stabilite dalla Direttiva EU sulle vibrazioni meccaniche. I valori limite di carico lombare interno (fattore di rischio R^A) raccomandati dall'ISO/DIS 2631-5 non sono epidemiologicamente validati; i



d-A2018

risultati dello studio VIBRISKS suggeriscono che tali valori limite tendono a sottostimare il rischio di patologie lombari nei lavoratori esposti a shock meccanici.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ISO, International Organization for Standardization. Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Supplementary method for assessing risk of vascular disorders. ISO/TR 18570. ISO, Geneva, 2017.
- [2] ISO, International Standardization Organization. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to vibration - Part 5: Methods for evaluation of vibration containing multiple shocks. ISO/DIS 2631-5, 2017.
- [3] CEN, Comité Européen de Normalisation. Mechanical vibration - Guide to the health effects of vibration on the human body. CR Report 12349. Brussels: CEN, 1996
- [4] ISO, International Organization for Standardization. Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements. ISO 5349-1. ISO, Geneva, 2001.
- [5] Bovenzi M. Epidemiological evidence for new frequency weightings of hand-transmitted vibration. *Ind Health* 2012; 50:377-387.
- [6] Miwa T. Evaluation methods for vibration effect. Part 3: Measurement of thresholds and equal sensation contours on hand for vertical and horizontal vibrations. *Ind Health* 1967; 5:213-220.
- [7] Bovenzi M, Lindsell CJ, Griffin MJ. Acute vascular response to the frequency of vibration transmitted to the hand. *Occup Environ Med* 2000; 57:422-430.
- [8] Dong RG, Welcome DE, Wu JZ. Frequency weightings based on biodynamics of fingers-hand-arm system. *Ind Health* 2005; 43:516-526.
- [9] Krajnak K, Riley DA, Wu J, et al. Frequency-dependent effects of vibration on physiological systems: experiments with animals and other human surrogates. *Ind Health* 2012; 50:343-353.
- [10] Bovenzi M. A prospective cohort study of exposure-response relationship for vibration-induced white finger. *Occup Environ Med* 2010;67:38-46.
- [11] Bovenzi M, Pinto I, Picciolo F, et al. Frequency weightings of hand-transmitted vibration for predicting vibration-induced white finger. *Scand J Work Environ Health* 2011; 37:244-252.
- [12] Brammer AJ, Pitts PM. Frequency weighting for vibration-induced white finger compatible with exposure-response models. *Ind Health* 2012; 50:397-411.
- [13] Brammer AJ, Pitts PM. Hand-arm vibration risk – Editorial. *Ind Health* 2012; 50:341.



- [14] Tominaga Y. New frequency weighting of hand-arm vibration. *Ind Health* 2005; 43:509-515.
- [15] VIBRISKS. Risks of Occupational Vibration Exposures. FP5 Project No. QLK4-2002-02650. European Commission Quality of Life and Management of Living Resources Programme. Southampton, UK: Human Factors Research Unit, Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton [updated 28 February 2007; cited 15 July 2018]. Available from: <http://www.vibrisks.soton.ac.uk>.
- [16] Directive 2002/44/EC of the European Parliament and the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration) (16th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC). *Official Journal of the European Communities*, L 117/13, 6.7.2002.
- [17] Bovenzi M, Prodi A, Mauro M. Relationships of neurosensory disorders and reduced work ability to alternative frequency weightings of hand-transmitted vibration. *Scand J Work Environ Health* 2015; 41:247-258.
- [18] Bovenzi M, Prodi A, Mauro M. A longitudinal study of neck and upper limb musculoskeletal disorders and alternative measures of vibration exposure. *Int Arch Occup Environ Health* 2016; 89:923-933.
- [19] Bovenzi M, Schust M, Mauro M. An overview of low back pain and occupational exposures to whole-body vibration and mechanical shocks. *Med Lav* 2017; 108:419-433.
- [20] Bovenzi M, Hulshof CTJ. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain 1986-1997. *Int Arch Occup Environ Health* 1999; 72:351-365.
- [21] Bovenzi M, Palmer K. Whole body vibration. In Baxter PJ Aw T-C, Cockcroft A, Durrington P, Harrington JM (eds): *Hunter's Diseases of Occupations*, 10th edition. London: Hodder Arnold, 2010, pp. 513-522.
- [22] Burdorf A, Sorock G. Positive and negative evidence on risk factors for back disorders. *Scand J Work Environ Health* 1998; 23:243-256.
- [23] ISO, International Standardization Organization. *Mechanical vibration and shock - guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements*. ISO 2631-1. Geneva: ISO, 1997.
- [24] Bovenzi M. A longitudinal study of low back pain and daily vibration exposure in professional drivers. *Ind Health* 2010; 48:584-595.
- [25] Pankoke S, Buck B, Wölfel HP. Dynamic FE model of sitting man adjustable to body height, body mass, and posture used for calculating internal forces in the lumbar intervertebral disks. *J Sound Vib* 1998; 215: 827-839.

- [26] Seidel H, Blüthner R, Hinz B. Application of finite-element models to predict forces acting on the lumbar spine during whole-body vibration. *Clin Biomech* 2001;16 (suppl 1): S57–S63.
- [27] Seidel H, Hinz B, Hofmann J, et al. Intraspinal forces and health risk caused by whole-body vibration – Prediction for European drivers and different field conditions. *Int J Ind Ergon* 2008; 28:856-867.
- [28] Schust M, Menzel G, Hofmann J, et al. Measures of internal lumbar load in professional drivers – The use of a whole-body finite-element model for the evaluation of adverse health effects of multi-axis vibration. *Ergonomics* 2015; 58:1191-1206.
- [29] Hinz B, Seidel H, Hofmann J, et al. The significance of using anthropometric parameters and postures of European drivers as a database for finite-element models when calculating spinal forces during whole-body vibration exposure. *Int J Ind Ergon* 2008; 28:816-843.
- [30] DIN, Deutsches Institut für Normung: *Mechanische Schwingungen und Stöße – Verfahren zur Bewertung stoßhaltiger Ganzkörper-Vibrationen; mit CD-ROM (Mechanical vibration and shock – Method for evaluation of impulsive whole-body vibration; with CD-ROM)*. German National Standard, DIN SPEC 45697, 2012.
- [31] Bovenzi M, Schust M, Menzel G, et al. A cohort study of sciatic pain and measures of internal spinal load in professional drivers. *Ergonomics* 2015; 58:1088-1102.
- [32] Bovenzi M, Schust M, Menzel G, et al. Relationships of low back outcomes to internal spinal load: a prospective cohort study of professional drivers. *Int Arch Occup Environ Health* 2015; 88:487-499.



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

RISCHIO PROFESSIONALE DA VIBRAZIONI NEL SETTORE DEL TRASPORTO MERCI SU GOMMA E NEL TRASPORTO PASSEGGERI URBANO ED EXTRAURBANO

Stefano Casini

INAIL, CONTARP Direzione Regionale Sicilia

RIASSUNTO

È stato recentemente istituito all'interno di INAIL un gruppo di lavoro per redigere le Linee d'indirizzo "Malattie professionali dovute a vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio e al corpo intero: valutazioni tecniche e indicazioni medico-legali" al cui interno sono previsti dei casi studio riguardanti, tra l'altro, il trasporto merci su gomma ed il trasporto passeggeri sia urbano che extraurbano.

Nei casi studio vengono esaminati i cicli di lavoro e determinati gli intervalli di variabilità dei tempi di effettiva adibizione alla guida degli autisti, secondo una divisione di massima in percorsi a corto, medio e lungo raggio; altresì vengono collezionati i valori misurati dai tecnici di alcune CONTARP regionali in fase di sopralluogo tecnico per la valutazione del rischio professionale da vibrazioni, indicando l'intervallo di variabilità (percentili 10% e 90%) dei valori di $A_{w(max)}$ plausibili.

Una prima analisi dei dati misurati porta alle seguenti considerazioni:

- i valori di $A_{w(max)}$ sono maggiori per i tragitti a corto raggio ed urbani, e minori per i tragitti a lungo raggio extraurbani ed autostradali;
- i valori di $A_{w(max)}$ sono inferiori a 1 m/s^2 per i tragitti a corto raggio e inferiori a $0,5 \text{ m/s}^2$ per i tragitti a lungo raggio;

- poiché, nel caso dei trasporti a medio e corto raggio, i tempi effettivi di guida giornalieri sono ben inferiori a 8 ore, l'esposizione quotidiana $A_{(8)}$ risulta essere quasi sempre inferiore a $0,5 \text{ m/s}^2$, valore d'azione previsto dal D. Lgs. 81/2008.

Stante comunque la discreta numerosità delle denunce di malattie professionali nel settore dell'autotrasporto, alla luce anche della migliorata ergonomia a partire dagli anni 2000 dei sedili di guida di bus, pullman, autocarri e motrici, si ritiene che le vibrazioni non siano il principale agente di rischio per le malattie al rachide degli autisti, bensì possano avere solo un effetto concausale rispetto ad altri fattori quali le posture prolungate (per il medio-lungo raggio) e l'eventuale movimentazione manuale dei carichi (trasporto merci a medio-corto raggio); infine, ci si interroga se la valutazione dell'esposizione basata su $A_{w(\max)}$ non tenda a sottostimare il rischio, e se sia preferibile usare come parametro valutativo il vettore dell'accelerazione A_v .

PREMESSA

È stato recentemente istituito all'interno di INAIL un gruppo di lavoro, di cui lo scrivente fa parte, incaricato di redigere delle Linee d'indirizzo riguardanti "*Malattie professionali dovute a vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio e al corpo intero: valutazioni tecniche e indicazioni medico-legali*"; l'articolazione delle Linee d'indirizzo prevede, oltre alla parte generale riguardante gli aspetti tecnici, medi e normativi, anche l'esame di alcuni casi studio tra cui il trasporto merci su gomma ed il trasporto passeggeri sia urbano che extraurbano.

Scopo delle Linee d'indirizzo è quello di costituire un ausilio destinato principalmente al personale interno dell'INAIL, sia medico che tecnico, per una corretta valutazione dell'origine professionale delle malattie derivanti da esposizione a vibrazioni, sia al corpo intero che al sistema mano braccio; ciò non toglie che possano essere utilizzate a fini prevenzionali anche dagli attori del mondo esterno.

Per quanto riguarda i casi studio relativi al trasporto merci su gomma ed al trasporto passeggeri si è scelto di suddividere i cicli lavorativi in tre macro categorie: piccolo, medio e lungo raggio, e per ciascuna categoria determinare gli intervalli di variabilità sia dei tempi di effettiva adibizione alla guida degli autisti, sia dei valori di accelerazione misurati sul sedile di guida.

Inoltre, si danno indicazione sulla possibile presenza di attività di movimentazione manuale dei carichi (MMC) e sulla possibile assunzione per tempi elevati di posture statiche e/o incongrue.

INTERVALLI DI VARIABILITÀ

d-A2018

Gli intervalli di variabilità dei tempi di effettiva adibizione alla guida degli autisti sono stati dedotti in base alle dichiarazioni rilasciate dai lavoratori e dai datori di lavoro nel corso di sopralluoghi tecnici eseguiti dai Professionisti della CONTARP per la valutazione di casi di malattia professionale, tenendo anche conto di quanto prescritto nei contratti di lavoro nazionali.

Gli intervalli di variabilità dei valori di accelerazione misurati sul sedile di guida sono stati dedotti da quanto effettivamente misurato dai Professionisti della CONTARP nel corso dei suddetti sopralluoghi; inoltre, vengono riportati separatamente anche gli intervalli di variabilità dei valori di accelerazione provenienti da altre fonti (DVR aziendali, studi di letteratura, ecc.) ritenute attendibili dagli autori delle Linee d'indirizzo; non vengono invece riportati valori pubblicati nella Banca Dati Vibrazioni del Portale Agenti Fisici.

Gli estremi degli intervalli di variabilità sono stati ricavati applicando i percentili 10% e 90% alla distribuzione dei risultati delle misure (prendendo a riferimento i valori di $A_{w(max)}$); sono da ritenersi indicativi del fenomeno quando il numero di misurazioni è elevato, meno attendibili quando il numero di misurazioni è limitato.

Si è scelto di usare direttamente i percentili piuttosto che la classica formula "media \pm deviazione standard" poiché le distribuzioni dei dati misurati sono generalmente asimmetriche.

TRASPORTO MERCI SU GOMMA

Trasporto di merci a piccolo raggio con più destinatari di piccole quantità

Gli automezzi impiegati sono in genere furgoni e/o autocarri a due/tre assi di lunghezza limitata (7 metri).

L'attività prevede il carico della merce presso il deposito del mittente; il carico può essere effettuato con ausili meccanici o a mano, a seconda della tipologia della merce; altresì, l'autista può essere adibito o meno al carico della merce.

I percorsi sono generalmente urbani ed extraurbani su tratte di breve percorrenza; si può ipotizzare al massimo 200-250 km/giorno.

Le soste sono numerose, legate al numero di destinatari; la durata della sosta è legata alla quantità di merce da scaricare; a seconda dei casi, l'autista ed un suo eventuale aiutante possono occuparsi dello scarico della merce e del suo trasporto all'interno dei locali del destinatario.

In genere sul furgone o presso il destinatario è presente un carrello manuale che facilita il trasporto della merce una volta scesa a terra: qualora il furgone sia dotato di sponda idraulica viene ridotto grandemente il rischio da MMC dovuto allo scarico della merce dal piano del furgone al livello terra.

A volte viene eseguito il carico di merce resa anche presso il singolo destinatario.

Causa le numerose soste, il tempo passato alla guida può considerarsi tra il 20% ed il 50% dell'orario di lavoro giornaliero; la postura seduta viene mantenuta consecutivamente per tempi inferiori ai 30 minuti.

I valori di accelerazione equivalente rilevati per gli automezzi utilizzati variano da:

		Percentili intervallo di variabilità (m/s ²)	
Fonte dei dati	N. misure	10%	90%
Misure CONTARP	3	0,47	0,91
Misure altre fonti	11	0,3	0,6

Trasporto di merci a medio raggio

Valgono le considerazioni fatte per il trasporto a piccolo raggio, con alcune differenze.

Gli automezzi impiegati possono essere più grandi rispetto a quelli impiegati nel piccolo raggio; i percorsi hanno una componente extraurbana superiore; il numero dei destinatari, e quindi le soste, sono minori; la quantità di merce scaricata per singola sosta è maggiore, e quasi sempre è previsto l'utilizzo di ausili meccanici e la presenza di sponda idraulica; le percorrenze possono raggiungere e superare i 300 km/giorno; il tempo passato alla guida può considerarsi tra il 40% ed il 75% dell'orario di lavoro giornaliero; la postura seduta viene mantenuta consecutivamente anche per tempi dell'ordine dei 120 minuti.

I valori di accelerazione equivalente rilevati per gli automezzi utilizzati variano da:

		Percentili intervallo di variabilità (m/s ²)	
Fonte dei dati	N. misure	10%	90%
Misure CONTARP	28	0,33	0,56
Misure altre fonti (*)	6	0,47	0,73

(*) misure eseguite tutte su automezzi costruiti prima del 2000

Trasporto di merci a lungo raggio

Gli automezzi impiegati sono in genere autoarticolati con rimorchio ed autotreni di lunghezza superiore ai 10 metri.

L'attività prevede il carico della merce presso il deposito del mittente; il carico a bordo del rimorchio viene effettuato con ausili meccanici (muletti, gru ecc.) e, a seconda della tipologia della merce, l'autista può essere adibito

d-A2018

o meno alla sistemazione dei singoli colli o pallet di merce all'interno del rimorchio, con l'ausilio di carrelli e/o transpallet manuali o elettrici.

I percorsi sono generalmente extraurbani, in genere inter-regionali o nazionali, con brevi tratti urbani; sono spesso disponibili nelle periferie dei grandi centri urbani degli interporti dove poter operare lo scambio, caricando la merce trasportata su mezzi di dimensioni minori per la distribuzione cittadina con brevi tratti urbani; si possono raggiungere percorrenze di oltre 600 km/giorno.

Le soste sono rare: è prevista una pausa obbligatoria di 45 minuti dopo 4,5 ore di guida, ed un massimo di 9 ore di guida giornaliera; il numero di destinatari è generalmente limitato (1 o 2); l'autista può viaggiare da solo o in compagnia di un aiutante; a seconda dei casi, l'autista ed un suo eventuale aiutante possono occuparsi della movimentazione della merce contenuta all'interno del rimorchio fino alla sponda idraulica.

Spesso e volentieri, scaricata la merce presso il destinatario, ci si reca presso un altro deposito per caricare la merce da trasportare nel viaggio di ritorno.

Causa le soste limitate al minimo indispensabile, il tempo passato alla guida può considerarsi prossimo al 100% dell'orario di lavoro giornaliero; la postura seduta viene mantenuta consecutivamente per tempi superiori alle 4 ore.

I valori di accelerazione equivalente rilevati per gli automezzi utilizzati variano da:

		Percentili intervallo di variabilità (m/s ²)	
Fonte dei dati	N. misure	10%	90%
Misure CONTARP	27	0,24	0,52
Misure altre fonti	0	Non disponibile	Non disponibile

Trasporti di materiali da costruzione con accessi in cave e cantieri

Vengono utilizzati automezzi di media dimensione, i percorsi sono principalmente extraurbani di piccolo e medio raggio; il carico della merce viene eseguito con ausili meccanici (pale nel caso di inerti, gru o carrelli a forche nel caso di laterizi e simili); durante il carico e lo scarico della merce l'autista si occupa della manovra della gru o dello scarrabile; sovente ci sono pause dovute all'attesa in coda per caricare o scaricare la merce trasportata.

Il numero dei viaggi giornalieri è molto variabile, dipende dalla distanza tra il luogo di approvvigionamento ed il cantiere di destinazione; per motivi economici, è comunque raro che tale distanza superi i 100 km.

La percorrenza dei tratti sterrati all'interno della cava e/o del cantiere di destinazione porta ad un innalzamento dei valori di accelerazione rilevati sugli automezzi rispetto al trasporto su strada, e spesso le velocità di guida

mantenute all'interno del cantiere, soprattutto nel viaggio di ritorno a camion scarico, sono notevoli rispetto alle condizioni della superficie; tuttavia, la durata del percorso in cantiere è generalmente di pochi minuti.

Causa le soste, il tempo passato alla guida può considerarsi pari al 50% circa dell'orario di lavoro giornaliero; la postura seduta viene mantenuta consecutivamente per tempi dell'ordine dei 60-90 minuti.

I valori di accelerazione equivalente rilevati per gli automezzi utilizzati, relativamente al solo percorso all'interno della cava o del cantiere, variano da:

Fonte dei dati	N. misure	Percentili intervallo di variabilità (m/s ²)	
		10%	90%
Misure CONTARP	5	0,49	1,1
Misure altre fonti	0	Non disponibile	Non disponibile

TRASPORTO PASSEGGERI

Trasporto urbano e suburbano

Per quanto concerne le variabili che influenzano l'esposizione professionale, il ruolo fondamentale è rivestito dalla velocità del mezzo e dalle condizioni del fondo stradale: le linee maggiormente sollecitate sono quelle che hanno percorsi suburbani, in ragione della maggiore velocità di marcia, oppure su pavimentazione stradale lastricata e pavé, che generalmente attraversano i centri storici.

La presenza di discontinuità del manto stradale, in parte riconducibili alle interferenze con eventuali cantieri attivi o cattiva manutenzione del manto stradale, costituisce fattore significativo per l'aggravamento delle sollecitazioni a bordo del mezzo. Per quanto riguarda i dossi rallentatori di velocità, le vibrazioni sul loro passaggio non sono invece particolarmente elevate e in genere non presentano caratteristiche impulsive, poiché sono affrontati a velocità limitata.

Si evidenzia inoltre, in generale, che a vettura scarica l'autista subisce un'accelerazione ponderata lungo l'asse Z maggiore rispetto alla vettura carica, questo a causa della velocità media relativamente più elevata e del minor peso della vettura.

I valori di accelerazione equivalente rilevati per gli automezzi utilizzati variano da:

Fonte dei dati	N. misure	Percentili intervallo di variabilità (m/s ²)	
		10%	90%
Misure CONTARP	0	Non disponibile	Non disponibile
Misure altre fonti	25	0,22	0,38

d-A2018

Trasporto extraurbano provinciale e regionale

Le aziende di trasporto, per lo più pubbliche o concessionarie, hanno tipicamente più depositi distribuiti sul territorio regionale, quindi pur erogando il servizio sull'intera regione i percorsi di fatto hanno dimensioni circoscritte alle varie zone.

Le tipologie di percorso coperte sono:

- Tratto urbano
- Strada statale extraurbana di montagna
- Autostrada
- Strada provinciale extraurbana mista
- Strada provincia extraurbana
- Strada statale extraurbana

Gli automezzi impiegati sono costituiti da automezzi a 2 assi quali:

- autobus di lunghezza 12 metri interurbani standard
- autobus di lunghezza 12 metri interurbani bipiano
- autobus interurbani a ridotta capacità di trasporto
- autobus suburbani a pianale ribassato

L'attività può prevedere il carico e lo scarico dei bagagli dei passeggeri, effettuato di prassi manualmente, dall'autista e/o dall'eventuale aiutante o secondo autista.

I tempi di effettiva adibizione alla guida sono stimati tra il 40% ed il 60% dell'orario giornaliero.

I valori di accelerazione equivalente rilevati per gli automezzi utilizzati variano da:

Fonte dei dati	N. misure	Percentili intervallo di variabilità (m/s ²)	
		10%	90%
Misure CONTARP	11	0,27	0,47
Misure altre fonti (*)	58	0,37	0,59

(*) ricavate dai DVR dell'azienda COTRAL del Lazio

STIMA DELL'ESPOSIZIONE QUOTIDIANA

Dall'analisi dei valori di vibrazione misurati, rapportati ai tempi di effettiva adibizione alla guida, risulta che è in generale difficile superare il valore d'azione di 0,5 m/s², e praticamente impossibile raggiungere il valore limite di 1 m/s² previsti dal D.Lgs. 81/2008.

Alla luce della discreta numerosità di denunce di malattie professionali che hanno come organo bersaglio il rachide presentate da autisti delle varie tipologie di trasporto, e per le quali non si ravvisano altri tipi di esposizioni extra professionali, appare logico porsi degli interrogativi.

- 1) Gli altri fattori di rischio legati all'attività degli autisti (MMC, posture, clima) in che misura possono essere considerati sinergici se non preponderanti rispetto alle vibrazioni per la genesi delle patologie del rachide?
- 2) Il parametro scelto per rappresentare il rischio da vibrazioni ($A_{w,max}$), è l'indicatore più corretto per correlarlo alla genesi di una patologia del rachide?
- 3) Il valore d'azione ed il valore limite previsti dal D.Lgs. 81/2008 sono poco cautelativi nei confronti degli autisti?

ALTRI FATTORI DI RISCHIO

Movimentazione manuale dei carichi

Per quanto riguarda il rischio da movimentazione manuale dei carichi, questo è da escludere per il trasporto pubblico di persone sia su percorsi urbani che extraurbani; per il trasporto privato a lungo raggio (pullman a noleggio per gite organizzate) può capitare che l'autista collabori i passeggeri nel carico e scarico dei bagagli nella stiva; l'operazione viene svolta in genere con una frequenza di due volte al giorno (alla partenza ed all'arrivo), ed al massimo il peso movimentato è dell'ordine dei 1500 kg (25 kg per 60 persone); si rimane lontani dai limiti previsti dalla norma UNI ISO 11228-1:2009.

Diverso il discorso per il trasporto merci: soprattutto nel caso dei cosiddetti padroncini, spesso il carico e lo scarico della merce viene effettuato dall'autista, non sempre coadiuvato da ausili quali sponde mobili o carrelli, per non parlare di situazioni in cui occorre consegnare merci pesanti ed ingombranti, ad esempio elettrodomestici o bombole del gas, direttamente a domicilio superando scale, dislivelli ecc.

Anche per il trasporto a lungo raggio l'autista può essere soggetto alla movimentazione interna al camion di pallet di grosso peso, e benché aiutato da carrelli o transpallet lo sforzo può essere maggiore del normale stante la pavimentazione del camion che non è sempre scorrevole e le manovre da effettuare in spazi angusti.

Pertanto non si può escludere la presenza di un rischio da MMC negli autisti per trasporto merci, sebbene vada analizzata caso per caso.

Posture incongrue

La postura seduta viene mantenuta continuamente per tempi che vanno dai pochi minuti (nel caso dei padroncini che fanno molte consegne urbane giornaliere) a diverse ore (nel caso dei trasporti a lungo raggio).

E' noto che più tempo si resta seduti più i dischi intervertebrali soffrono per la mancanza di "nutrimento", e ciò comporta l'amplificazione degli effetti nocivi dovuti agli altri fattori di rischio (MMC e vibrazioni).

A conoscenza dello scrivente non esistono però, al momento, indicazioni tecniche o epidemiologiche che forniscano una correlazione ben definita tra il tempo di guida continuativo e l'insorgenza di patologie muscolo scheletriche al rachide.

Clima

Il lavoro in climi particolarmente freddi facilita la contrattura dei muscoli dorsali, soprattutto in concomitanza con le attività di movimentazione dei carichi.

Oggi la quasi totalità dei mezzi di trasporto è dotato di cabine ben isolate con l'esterno, prive di spifferi e dotate di climatizzatore d'aria; pertanto è improbabile che le condizioni climatiche possano amplificare l'effetto delle vibrazioni trasmesse dal sedile durante la guida.

QUALE PARAMETRO UTILIZZARE?

La legislazione prevede di utilizzare per la valutazione dell'esposizione a vibrazioni il valore $A_{(8)}$ calcolato utilizzando come valore delle accelerazioni il maggiore tra $1,4 \cdot A_{wx}$, $1,4 \cdot A_{wy}$, A_{wz} , per brevità indicato come $A_{w,max}$.

La norma UNI ISO 2631-1:2008 suggerisce di utilizzare metodi alternativi quando le vibrazioni contengono transitori o urti occasionali, situazioni in cui il fattore di cresta risulta superiore a 9; l'applicazione del metodo base in questi casi può sottostimare il disagio provocato dalle vibrazioni.

I metodi alternativi consistono nel misurare il MTVV (valore massimo delle vibrazioni transitorie) o il VDV (dose di vibrazioni calcolata con l'accelerazione elevata alla quarta potenza): però la 2631-1 fornisce valori limite solo per quest'ultimo parametro.

Inoltre la 2631-1 propone in una nota di utilizzare come parametro di valutazione il vettore dell'accelerazione A_v (con i singoli assi moltiplicati per il fattore correttivo) quando non esiste un asse di vibrazione dominante; in realtà nel caso del trasporto su gomma, pur essendo nella quasi totalità dei casi predominante l'asse Z, spesso e volentieri l'asse X o l'asse Y, a seconda del tipo di percorso e dello stile di guida, risultano essere di entità non trascurabile.

Nella tabella che segue vengono riportate le differenze percentuali tra $A_{w,max}$ e A_v per alcune delle misure strumentali eseguite dallo scrivente: si può notare come la differenza sia spesso dell'ordine del 40% o superiore.

Gli studi più recenti (*Bovenzi M., Vibrazioni impulsive trasmesse al corpo intero: dati epidemiologici e aggiornamenti normativi – Atti dBA2015 – Modena, 27/05/2015*) indicano una migliore correlazione tra esposizione e danno se si utilizzano VDV o A_v al posto di $A_{w,max}$; pertanto si consiglia di affiancare sempre alla valutazione del rischio effettuata con il parametro "di

d-A2018

legge” $A_{w,max}$ anche un’analisi fatta utilizzando il vettore dell’accelerazione A_v o, se lo strumento di misura è in grado di calcolarla, la dose VDV.

Tipologia	$A_{w,max}$	A_v	$A_v / A_{w,max}$ (%)
Autoarticolato	0,4	0,58	45
Autoarticolato	0,36	0,53	47
Autoarticolato	0,51	0,74	45
Autoarticolato	0,63	0,89	41
Autocarro con scarrabile	0,5	0,72	44
Autocarro con scarrabile	0,41	0,58	41
Autocarro con scarrabile	0,53	0,83	57
Autocarro con scarrabile	0,57	0,86	51
Autoarticolato	0,65	0,81	25
Autoarticolato	0,75	0,91	21
Pullman di linea	0,3	0,4	33
Pullman di linea	0,45	0,54	20
Pullman di linea	0,39	0,49	26
Autoarticolato	0,32	0,45	41
Autoarticolato	0,4	0,68	70
Furgone	0,54	0,69	28
Furgone	0,5	0,66	32

ADEGUATEZZA DEI VALORI LIMITE E D’AZIONE

Viste le considerazioni precedenti, alla luce del numero di denunce di malattia professionale presentate da autisti sia per trasporto merci che di persone, si ritiene che i valori di $A_{(8)}$ previsti dal D. Lgs. 81/2008 come soglia di azione ($0,5 \text{ m/s}^2$) e valore limite (1 m/s^2) siano poco adeguati per valutare il rischio, in quanto dalle misure effettuate sul campo tutti gli autisti risulterebbero sicuramente sotto il valore limite e la stragrande maggioranza addirittura sotto il valore d’azione.

Anche utilizzando A_v al posto di $A_{w,max}$ per alcuni di essi il valore di $A_{(8)}$ potrebbe superare $0,5 \text{ m/s}^2$, ma rimarrebbero tutti comunque sotto 1 m/s^2 .

CONCLUSIONI

Per quanto riguarda gli autisti per trasporto merci e persone su gomma, l’esposizione a vibrazioni non sembra essere il principale fattore di rischio per la genesi di patologie muscolo scheletriche del rachide.

Altri fattori di rischio quali movimentazione manuale dei carichi e posture prolungate sembrano essere i maggiori indiziati; purtroppo non esiste al



d-A2018

momento la possibilità di quantificare l'effetto sinergico tra le vibrazioni e gli altri fattori di rischio.

Affidare la valutazione del rischio al solo esame del valore di $A_{(8)}$, confrontato con i valori di riferimento indicati dal D. Lgs. 81/2008 che in questo caso appaiono alti, porterebbe sempre e comunque a ritenere insussistente il rischio.

La valutazione del rischio per gli autisti, sia in fase assicurativa che in quella prevenzionale, dovrebbe tener conto anche della MMC e delle posture prolungate; per quanto riguarda la diminuzione di quest'ultimo fattore di rischio, sarebbe opportuno un intervento legislativo che aumenti la frequenza delle pause obbligatorie per i trasporti a lungo raggio, attualmente 45 minuti ogni 4,5 ore di guida.

RINGRAZIAMENTI

L'autore desidera ringraziare tutti i partecipanti al Gruppo di Lavoro per la redazione delle Linee d'indirizzo, ed in particolare Maurizio Muratore, Giuseppe Rosci e Rocco Nitti che hanno collaborato alla stesura dei casi studio per il trasporto merci su gomma ed il trasporto passeggeri sia urbano che extraurbano.



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

LA CONOSCENZA DEI CICLI LAVORATIVI IN AGRICOLTURA PER LA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE A RISCHIO VIBRAZIONI E SOVRACCARICO BIOMECCANICO

Massimo Cervellati (1), Nunzio Papapietro (1)

(1) ConTARP – INAIL Direzione Regionale Puglia

Riassunto

Il presente lavoro illustra la metodologia adottata per la valutazione del rischio nel caso di malattie lumbosacrali in agricoltori, cercando di fornire al settore Sanitario dell'INAIL più informazioni possibili per poter orientare la valutazione medico legale.

Premessa

Le Normative ed i limiti attualmente esistenti mal si adattano alle attività svolte nel settore primario (sebbene restano le Norme di riferimento dalla quali partire per una VR – Valutazione del Rischio) soprattutto quelle relative alla valutazione dei rischi da MMC – (Movimentazione Manuale dei Carichi) e sovraccarico biomeccanico nate, perlopiù, per rispondere alle esigenze del settore industriale.

Le stesse Norme ISO, infatti, tornano applicabili su superfici orizzontali livellate (vedi norma ISO 11228-1 par. 1 – Scopo e campo di applicazione).

A rendere ancora più difficoltosa la valutazione del rischio vi è la considerazione che, soprattutto in settori quale quello primario non esiste una vera e propria standardizzazione della tipologia di lavoro in quanto condizionata dalla estrema variabilità legata a cicli colturali diversi e superfici coltivate caratterizzate da condizioni geografiche e geomorfologiche diverse.

Quanto sopra condiziona anche il rischio a cui questi lavoratori risultano essere esposti molto spesso a più di uno contemporaneamente. Nel caso di studio, ad esempio, sulle patologie del rachide lombare, convergono contemporaneamente il rischio da vibrazione e quelli legati alla movimentazione manuale dei carichi o all'assunzione di posture incongrue e di movimenti ripetuti che, se trattati separatamente, potrebbero, ognuno per la propria parte, non configurare una situazione di rischio mantenendosi i valori rilevati al di sotto del limite che le norme individuano. Quello che manca, in questi casi, è l'effetto combinato dei più fattori di rischio.

Ne è nata, quindi, la necessità di indicare una metodica da utilizzarsi per l'individuazione e la quantificazione dei rischi lavorativi in agricoltura. Nella VR, infatti, gli aspetti legati al SBM ed alle vibrazioni sono spesso trattate separatamente mentre nelle realtà lavorativa i due rischi sono strettamente legati tra loro ed è compito del tecnico quello di evidenziare le loro sinergie al fine di:

- Fornire ai Medici dell'Istituto un quadro il più possibile attendibile sulla attività lavorativa svolta dai tecnopatici
- Che consenta di andare oltre le normative e i limiti attualmente presenti.

Elemento fondamentale per articolare la presente proposta è di quantificare entità e durata della esposizione a rischio la cui conoscenza, si ricorda, rappresenta il punto focale di qualsiasi valutazione. Il rischio, infatti, è influenzato oltre che dai livelli fisici di esposizione, anche dalla durata delle operazioni colturali che, a loro volta, sono fortemente influenzate dalle tipologie colturali, dalla localizzazione geografica dei terreni, dalle attrezzature adoperate, dalle consuetudini locali.

Con il presente lavoro, quindi, si presenta quello che è stato un caso concreto sottoposto al settore Sanitario e per il quale si è fatto uso di misure strumentali acquisite direttamente in sede di sopralluogo nonché di immagini e/o filmati acquisiti parallelamente e che sono stati successivamente elaborati per poter evidenziare al meglio le situazioni di rischio presenti e fornire una panoramica più completa delle operazioni colturali a rischio. Più in dettaglio, la metodologia seguita ha previsto l'individuazione delle tipologie di mezzi impiegati, l'acquisizione di dati tramite interviste al lavoratore, le elaborazioni di immagini e dati raccolti direttamente, elaborazioni indirette della durata delle operazioni colturali attraverso il consumo di carburante stimato e le quantità attribuite dalla Regione, il ricorso a dati di letteratura e a professionisti del settore con successivo incrocio di tutti i dati così raccolti.

Strumentazione utilizzata per la misura

Per la misurazione delle vibrazioni è stato utilizzato una strumentazione conforme alla direttiva ISO 8041 costituita da un misuratore Soundbook e

d-A2018

analizzatore a 4 canali per rumore e vibrazioni con modulo HVMA dotato di filtri di ponderazione in frequenza Wd, Wk, Wh.

Per l'acquisizione del segnale è stato utilizzato un trasduttore di segnale triassiale per corpo intero per misura della esposizione di persone sedute o in piedi del tipo: "PCB mod. 356B40 con sensibilità di 98.6 mV/g".

Descrizione della prova

Per l'esecuzione della prova è stato utilizzato un trattore Landini REX 80 GE a doppia trazione condotto direttamente dall'interessato del peso di ca 100 kg ed altezza di 170 cm; non è stata agganciata nessuna attrezzatura in quanto queste, essendo esclusivamente trainate e non disponendo di azionamenti propri, se non quelli indotti dalla pdp (presa di potenza), non vanno ad alterare significativamente il livello di accelerazioni trasmesso al corpo intero.

Sono state eseguite diverse prove consistenti nel fare traslare il trattore, sulla superficie coltivata a seminativi, in diverse condizioni di avanzamento che vengono di seguito riportate:

- Sedile smorzante tarato al peso del conducente e trattore con velocità di avanzamento individuata come seconda normale corrispondente, secondo la tabella allegata a 6,50 km/h.
- Sedile smorzante tarato al peso del conducente e trattore con velocità di avanzamento individuata come terza normale corrispondente, secondo la tabella allegata a 8,21 km/h.
- Sedile smorzante tarato al peso del conducente e trattore con velocità di avanzamento individuata come quarta normale corrispondente, secondo la tabella allegata a 12,10 km/h.
- Sedile smorzante starato e trattore con velocità di avanzamento individuata come seconda normale corrispondente, secondo la tabella allegata a 6,50 km/h.
- Sedile smorzante starato e trattore con velocità di avanzamento individuata come quarta normale corrispondente, secondo la tabella allegata a 12,10 km/h.

Per ogni situazione di prova il veicolo è stato fatto traslare per circa 3 minuti per consentire la stabilizzazione delle misure.

Durata delle operazioni colturali

La durata delle operazioni colturali è stata ricavata attraverso intervista al diretto interessato; le informazioni ottenute sono state elaborate al fine di ottenere indicazioni circa la durata ore di lavoro su ettaro coltivato. L'estensione delle superfici coltivate è riportata nel dettaglio del piano colturale riassunto nella seguente tabella:



Coltivazione	Superficie (ettari)
Carciofi	7
Grano	8

Tabella 1: ripartizione superfici coltivate

La durata delle operazioni agricole condotte sui trattori è stata stimata unicamente in base alle informazioni rese del presunto tecnopatico; non sono stati inseriti i contributi aggiuntivi legati allo spostamento del mezzo in quanto i terreni sono prossimi al luogo di ricovero dei mezzi.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle informazioni raccolte per le vie brevi sulla durata delle varie operazioni colturali:

carciofi							
<i>mese</i>	<i>operazione</i>	<i>durata</i>	<i>unità misura</i>	<i>ripetizioni</i>	<i>tot. parziali per ettaro</i>	<i>superficie (ha)</i>	<i>durata (ore)</i>
ottobre	raccolta	3 ore/ha		1	3	15	45
novembre	raccolta	3 ore/ha		1	3	15	45
dicembre	raccolta	3 ore/ha		1	3	15	45
gennaio	raccolta	3 ore/ha		1	3	15	45
febbraio	raccolta	3 ore/ha		1	3	15	45
marzo	aratura	4 ore/ha		1	4	15	60
	ripasso	1,5 ore/ha		1	1,5	15	22,5
	(**) piantumazione				0	15	0
aprile	ripasso	1,5 ore/ha		10	15	15	225
maggio	trattamenti (*)	1 ore/ha		4	4	15	60
giugno	trattamenti (*)	1 ore/ha		4	4	15	60
luglio	trattamenti (*)	1 ore/ha		4	4	15	60
agosto	trattamenti (*)	1 ore/ha		4	4	15	60
settembre	trattamenti (*)	1 ore/ha		4	4	15	60
	ripasso	1,5 ore/ha		12	18	15	270
Totale durata lavorazione espressa in ore							1102,5

Tabella 2: durata operazioni colturali carciofi

<i>grano</i>								
<i>mese</i>	<i>operazione</i>	<i>durata</i>	<i>unità di misura</i>	<i>ripetizioni</i>	<i>tot. parziali per ettaro</i>	<i>superficie (ha)</i>	<i>durata (ore)</i>	
agosto	aratura profonda (*)	0		0		8	0	
settembre	ripasso	1,5	ore/ha	1	1,5	8	12	
ottobre	ripasso	1,5	ore/ha	1	1,5	8	12	
novembre	ripasso	1,5	ore/ha	1	1,5	8	12	
	semina	1	ore/ha	1	1	8	8	
dicembre	nessuna operazione			1	0	8	0	
gennaio	nessuna operazione			1	0	8	0	
febbraio	nessuna operazione			1	0	8	0	
marzo	concimazione	1	ore/ha	1	1	8	8	
	diserbo	1	ore/ha	1	1	8	8	
aprile	nessuna operazione	0	ore/ha	1	0	8	0	
maggio	nessuna operazione	0	ore/ha	1	0	8	0	
giugno	mietitura (*)			1	0	8	0	
	aratura affidata a terzi	0	ore/ha	1	0	8	0	
luglio	sentieri spartifiamma	2	ore	1	2		2	
Totale durata lavorazione espressa in ore								62

Tabella 3: durata operazioni colturali grano

Tempificazione delle operazioni

Le operazioni di piantumazione avvengono tra marzo e giugno e vengono effettuate manualmente; di tale operazione vengono riportati alcuni fotogrammi rappresentativi della operazione.



Figura 12- Piantumazione



Figura 13 - zappatura

Nel mese di ottobre la raccolta richiede circa 3 ore/ha; quando i carciofi sono molti l'operazione di raccolta viene effettuata con l'ausilio di un operaio mentre il tecnopatico rimane alla guida del trattore. Diversamente, quando i carciofi sono pochi, il tecnopatico guida il trattore dal quale scende per andare ad effettuare il taglio della pianta. La posizione assunta è china ad un'altezza maggiore di quella assunta durante la piantumazione.

Sui carciofi vengono eseguite altre operazioni manuali di seguito esplicitate:

- Diradatura – si effettua quando si vogliono eliminare le piante in eccesso per far crescere meglio le altre. Viene effettuata ad agosto ed ha una

durata quantificata in 5-6 ore per ogni ettaro e non riguarda tutta la coltivazione ma soltanto i carciofi piantati in primavera. L'operazione viene eseguita con l'ausilio di una zappa del peso di circa 1,5 kg.

- Zappatura – si elimina l'erba sfuggita all'erpatura con il trattore, viene effettuata manualmente utilizzando una zappa del peso di circa 2-3 kg. La sua durata temporale è quantificabile in 2-3 giorni alla settimana per ettaro.
- Carico cassette - del peso di circa 4-5 kg. Nel periodo tipico vengono caricate anche 1000 cassette in 2 giorni/settimana. In questo caso l'attività svolta dal tecnopatico è quella di passare le cassette *al* camionista che si trova sul pianale del mezzo che dovrà trasportare il prodotto raccolto. Le cassette vengono sollevate da terra sino ad un'altezza di circa 1,20 m – 1,40 m per essere passate al conducente del mezzo che le sistema sul pianale.

5 Livelli di accelerazioni rilevati nel corso dell'indagine

I risultati rilevati nel corso delle misurazioni sono stati i seguenti:

Assi	Misura	Ponderazione	Misura ponderata
X	0,43	1,4	0,60
Y	0,48	1,4	0,67
Z	1,46	1	1,46
accelerazione risultante a_w (m/s ²)=			1,72

Tabella 4: Rilevazione complessiva

Assi	Misura	Ponderazione	Misura ponderata
X	0,43	1,4	0,60
Y	0,44	1,4	0,62
Z	1,27	1	1,27
accelerazione risultante a_w (m/s ²)=			1,53

Tabella 5: Sedile smorzante tarato al peso del conducente e trattore con velocità di avanzamento individuata come seconda normale corrispondente, secondo la tabella allegata a 6,50 km/h;

Assi	Misura	Ponderazione	Misura ponderata
X	0,47	1,4	0,66
Y	0,52	1,4	0,73
Z	1,61	1	1,61
accelerazione risultante a_w (m/s ²)=			1,89

Tabella 6: Sedile smorzante tarato al peso del conducente e trattore con velocità di avanzamento individuata come terza normale corrispondente, secondo la tabella allegata a 8,21 km/h;



Assi	Misura	Ponderazione	Misura ponderata
X	0,47	1,4	0,66
Y	0,52	1,4	0,73
Z	2	1	2,00
accelerazione risultante a_w (m/s ²)=			2,23

Tabella 7: Sedile smorzante tarato al peso del conducente e trattore con velocità di avanzamento individuata come quarta normale corrispondente, secondo la tabella allegata a 12,10 km/h;

Assi	Misura	Ponderazione	Misura ponderata
X	0,4	1,4	0,56
Y	0,45	1,4	0,63
Z	1,31	1	1,31
accelerazione risultante a_w (m/s ²)=			1,56

Tabella 8: Sedile smorzante starato e trattore con velocità di avanzamento individuata come seconda normale corrispondente, secondo la tabella allegata a 6,50 km/h;

Assi	Misura	Ponderazione	Misura ponderata
X	0,46	1,4	0,64
Y	0,57	1,4	0,80
Z	1,63	1	1,63
accelerazione risultante a_w (m/s ²)=			1,93

Tabella 9: Sedile smorzante starato e trattore con velocità di avanzamento individuata come seconda normale corrispondente, secondo la tabella allegata a 12,10 km/h;

Considerazioni sulla esecuzione della prova e sui risultati ottenuti

La sensazione del conducente del mezzo è quella di ritenere che il sedile smorzante nelle condizioni di funzionamento svolte durante la prova sia correttamente tarato in funzione del suo peso e della tipologia di superficie sulla quale il mezzo deve traslare.

Gli è stato chiesto starare il sedile e di renderlo più elastico. Durante le condizioni di prova, con il sedile starato, si sono avuti risultati, come capacità di smorzamento, migliori di quelli ottenuti nelle condizioni di funzionamento del sedile “tarato”. I risultati ottenuti ingenerano alcune perplessità: se, infatti, a velocità più basse l’effetto smorzante del sedile “tarato” è paragonabile a quello del corrispondente sedile starato, lo stesso non si può dire per velocità più elevate dove i risultati misurati con sedile tarato risultano addirittura più elevati di quelli ottenuti con sedile starato. Questi risultati sono tuttavia frutto di una sola indagine e per tale ragione non possono essere considerati definitivi in quanto statisticamente poco rilevanti. Essi rappresentano comunque un dato sul quale occorre riflettere

Conclusioni

Da quanto esposto emerge a parere degli scriventi, soprattutto in funzione della valutazione delle patologie legate al tratto dorso lombare, la necessità di:

- ✓ Trattare congiuntamente le patologie aventi come organo bersaglio il rachide lombare soprattutto in considerazione del fatto che una trattazione separata dei singoli rischi potrebbe ingenerare false conclusioni sull'esistenza del rischio generale stesso
- ✓ Conoscere i tempi di lavorazione per i vari cicli colturali comprensivi dei tempi di utilizzo dei mezzi agricoli nonché la conoscenza delle singole operazioni che possono essere effettuate manualmente sia in termini di MMC sia in termini di movimenti ripetuti o ancora di posture incongrue
- ✓ Acquisire i dati direttamente in loco al fine di conoscere quelle fasi lavorative che consentano di dettagliare meglio il ciclo di lavorazione e quindi il rischio concreto. Naturalmente questi dati andranno successivamente incrociati con quanto contenuto nei manuali di estimo agrario, con le quantità di carburante riportate nel fascicolo AGEA.

Ringraziamenti

Si ringrazia il collega Maurizio Muratore della ConTARP Friuli Venezia Giulia per la lettura critica e per avere contribuito alla discussione dello stesso lavoro.

**RADIAZIONI OTTICHE NATURALI NEI LAVORI OUTDOOR:
VALUTAZIONE, PERCEZIONE E PREVENZIONE DEL RISCHIO
CANCEROGENO.**

L. Miligi (1), I. Pinto (2), A. Bogi (2), S. Piro (1)

(1) SS di Epidemiologia dell'ambiente e del lavoro, ISPRO- Istituto per lo Studio, la Prevenzione e la Rete Oncologica, Firenze

(2) Laboratorio di Sanità pubblica AUSL Toscana Sud Est, Siena

Introduzione

Studi epidemiologici e di laboratorio hanno evidenziato che la radiazione solare ultravioletta è causa di danni alla pelle, danni acuti e cronici, reversibili e non reversibili. Tra i danni principali si devono considerare il foto-invecchiamento e la comparsa di precancerosi e tumori cutanei. Inoltre anche gli occhi possono essere danneggiati in maniera acuta o cronica [1].

La radiazione ultravioletta (RUV) solare è stata classificata dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro di Lione (IARC) come cancerogeno certo per l'uomo già del 1992, valutazione confermata nella monografia 100 D del 2012 [2]. La valutazione conclusiva della IARC è che c'è sufficiente evidenza di cancerogenicità nell'uomo della radiazione solare in quanto causa il melanoma maligno (MM) ed tumori della pelle non melanocitici (NMSC): il carcinoma squamocellulare (SCC) e il carcinoma basocellulare (BCC) . La IARC inoltre osserva che esiste una positiva associazione, anche se con evidenza limitata, per il tumore del labbro, per il carcinoma a cellule squamose congiuntivale e per il melanoma oculare. C'è inoltre sufficiente evidenza negli esperimenti animali della cancerogenicità della radiazione solare nell'ampio spettro UVR: Radiazione UVA, Radiazione UVB, Radiazione UVC. Nella monografia 100 D viene inoltre valutata la cancerogenicità delle apparecchiature per l'abbronzatura artificiale, il cui uso

è stato valutato come cancerogeno certo per l'uomo per lo sviluppo di melanomi e di tumori dell'occhio.

Negli ultimi cinquanta anni si è osservato un aumento dell'incidenza del MM e dei NMSC soprattutto nelle popolazioni di pelle chiara, nel mondo i tassi di incidenza più elevati sono stati osservati in Australia e Nuova Zelanda dove una popolazione con pelle molto chiara è esposta a UVR elevata [3, 4]. Dai dati del GLOBOCAN, nel 2012 erano attese circa 230.000 nuove diagnosi nel mondo (tasso incidenza 3.0/100.000) di MM e circa 100.000 in Europa (tasso incidenza 8.6/100.000), in Europa, i tassi di incidenza sono particolarmente elevati nei paesi nordici, in Svizzera, Olanda, Repubblica Ceca e Slovenia, tassi più bassi sono invece stati osservati nella area mediterranea. Nonostante tutto, i tassi di incidenza continuano a salire in molte delle popolazioni europee e le stime suggeriscono una continuazione del trend in ascesa [3].

Incidenza e trend per i NMSC sono più difficili da stimare, i NMSC sono comunque tra i tumori che vengono diagnosticati più frequentemente. Date le loro peculiarità biologiche e cliniche, l'elevato numero e la buona prognosi - che porta spesso a considerarli un gruppo a sé solitamente non incluso nel computo del totale dei tumori maligni- alcuni Registri Tumori non li raccolgono o si limitano alla raccolta delle sole forme squamocellulari. Si stima che ogni anno in Italia ne siano diagnosticati circa 32.000 tra gli uomini e 26.000 tra le donne [5]. Le forme di gran lunga più frequenti sono quelle dei BCC che hanno una prognosi buona, mentre quelle degli SCC, con maggior aggressività almeno locale, rappresentano circa il 20%. Sono tumori che compaiono prevalentemente nell'età adulta, in entrambi i sessi, ma con una maggiore frequenza tra gli uomini. In base a tali stime 1 uomo ogni 9 e una donna ogni 35 avrà una diagnosi di un tumore epiteliale della cute nel corso della vita (dalla nascita agli 85 anni) [5]. A fronte dell'alta incidenza il rischio di morire per questi tumori è estremamente basso. Data l'elevata frequenza di queste lesioni ed il loro trattamento, solitamente chirurgico e locale, esse rappresentano comunque un carico rilevante per il sistema sanitario [6,7].

La quarta edizione del Codice Europeo Contro il Cancro si è occupata specificatamente di Radiazioni UV solari ricordando proprio come i tumori della pelle siano in aumento nel mondo e come l'esposizione a RUV, sia da sorgenti naturali che artificiali (apparecchiature abbronzanti), debba essere in primo luogo oggetto di prevenzione primaria evitando di prendere troppo sole specie nell'infanzia, di usare protezioni e di evitare l'uso di apparecchi per l'abbronzatura artificiale [8].

I tumori della pelle e i lavoratori outdoor

Soprattutto i NMSC sono i tumori della pelle che sono stati associati al lavoro all'aperto (o outdoor) per esposizione a RUV solare, studi

epidemiologici e meta-analisi sul rischio di NMSC e lavoro all' aperto hanno mostrato eccessi di rischio per questi lavoratori; due meta-analisi del 2011 mostrano un OR complessivo di 1.77 , statisticamente significativo , per gli SCC (Intervallo di confidenza al 95% 1.40-2.22) e un OR complessivo, statisticamente significativo, di 1.43 per i BCC (Intervallo di confidenza al 95% 1.23-1.66) [9,10]. I lavoratori all'aperto sono particolarmente a rischio essendo esposti a RUV solare durante il loro lavoro soprattutto quando lavorano senza protezione adeguata o adottando comportamenti, quale quello di consumare il pranzo all'aperto, che aumentano il loro rischio [11].

Se i NMSC sono i tumori maggiormente associati al lavoro all'aperto, in alcuni studi epidemiologici sono stati osservati anche aumenti di MM, tra questi menzioniamo un ampio e recente studio caso controllo multicentrico europeo del 2016 il cui obiettivo principale è stato quello di comparare il rischio per BCC, SCC, MM ed anche cheratosi attinica dei lavoratori all' aperto rispetto a chi lavora al chiuso valutando anche quali erano i settori lavorativi più a rischio. Lo studio ha messo in luce aumenti di rischio soprattutto per i lavoratori dell'agricoltura e dell'edilizia in particolare per i BCC e SCC, anche per il MM sono stati osservati rischi più elevati per maggiore durata di lavoro all' aperto [12].

Il Piano Mirato della regione Toscana sul Rischio da Radiazione solare ultravioletta nei lavoratori outdoor

Il sistema informativo internazionale sulle esposizioni professionali a cancerogeni certi o sospetti, CAREX, fa rilevare come la radiazione solare sia la più comune esposizione lavorativa nei paesi della Comunità Europea, stimando che riguardi circa 9 milioni di lavoratori per almeno il 75% del loro tempo lavoro. Stime, per quanto riguarda l'Italia, riportano che circa 700.000 lavoratori possono essere esposti a questo cancerogeno [13].

Su questo rischio lavorativo la Regione Toscana, negli anni tra il 2008 e il 2010, ha messo in atto un "Piano Mirato Regionale sul Rischio da Radiazione UV Solare nei Lavoratori Outdoor" [14] i cui obiettivi sono stati:

1. Studiare i comportamenti dei lavoratori outdoor rispetto al rischio da radiazione UV solare nei comparti dell'edilizia, agricoltura, pesca ed estrazione del marmo.
2. Misurare l'esposizione nei comparti in studio.
3. Descrivere nei lavoratori outdoor che sono stati sottoposti a visita dermatologica la frequenza di foto-invecchiamento precoce, precancerosi e tumori cutanei.
4. Raccogliere i casi di tumori NMSC e ricostruire la loro esposizione a radiazione solare con particolare riguardo all'attività lavorativa.

Le misure effettuate nell'ambito del piano mirato hanno dimostrato che gli ambienti di lavoro all'aperto nei comparti misurati sono caratterizzati da valori alti o molto alti di dose personali di radiazione solare UV

biologicamente efficace, anche in situazioni molto poco studiate (l'albedo della superficie delle cave di marmo e di calcestruzzo).

Dai dati raccolti con il piano mirato emerge che una parte dei soggetti ha comportamenti non corretti durante il lavoro all'aperto sia svolgendo attività lavorativa in orari a rischio sia usando abbigliamento non adeguato (lavorare a dorso nudo o con canottiera, non indossare il cappello a falde larghe e gli occhiali), non proteggendosi adeguatamente dalla radiazione UV solare che, in determinate situazioni e in alcuni periodi dell'anno, raggiunge elevati livelli di pericolosità.

È stato osservato in alcuni studi che l'adozione di comportamenti corretti - es. uso del cappello o consumare il pranzo non all'aperto - riduce l'esposizione [15,16].

Tra i lavoratori che sono stati sottoposti a visita dermatologica (637) inoltre, sono stati osservati sia foto-invecchiamento precoce, che NMSC, che cheratosi attiniche. Esaminando inoltre i casi di NMSC raccolti dal Registro Tumori Toscana ed intervistati è emerso che il 27% di questi soggetti ha svolto attività lavorativa all'aperto [14].

Studiare l'esposizione a RUV solare ed il rischio ad essa connesso è complicato, perché a maggior rischio sono le persone che hanno delle caratteristiche somatiche particolari, essendo a maggior rischio i soggetti biondi /rossi, e la pelle chiara e difficoltà ad abbronzarsi (fototipi bassi ¹) e quindi nella valutazione dell'esposizione a radiazione UV solare in un contesto lavorativo si deve tenere conto anche di fattori individuali. L'attuazione delle misure di tutela, conseguenti alla valutazione dell'esposizione, deve quindi essere individualizzata in relazione anche alle caratteristiche personali (fototipo, uso di farmaci fotosensibilizzanti). Devono inoltre essere adottate misure tecniche e organizzative di prevenzione, quali quelle di fotoprotezione ambientale (schermature con teli

1

Il fototipo si ricava da caratteristiche somatiche come il colore degli occhi, dei capelli e della pelle e dalla capacità o meno di abbronzarsi o di scottarsi dopo l'esposizione ai raggi solari. Vengono identificati classicamente nella popolazione 6 fototipi: **Fototipo 1**: capelli biondi o rossi, occhi chiari, carnagione molto chiara con efelidi, estremamente sensibile al sole, si scotta sempre e non si abbronza, **Fototipo 2**: capelli biondi o castano chiaro, occhi chiari, carnagione chiara, spesso con efelidi, sensibile al sole, si scotta con facilità e si abbronza con difficoltà, **Fototipo 3**: capelli castani, occhi chiari o marroni, carnagione bruno-chiara, può scottarsi ma si abbronza, **Fototipo 4**: capelli castano scuro o neri, occhi scuri, carnagione olivastro o scura, si scotta di rado e si abbronza con facilità, **Fototipo 5**: capelli neri, occhi scuri, carnagione bruno olivastro, si abbronza intensamente, **Fototipo 6**: capelli neri, occhi neri, carnagione nera, non si scotta mai, tipo di razza nera
<http://www.salute.gov.it/portale/lamiapelle/pageInternaPelle.jsp?id=2>

o coperture) e di organizzazione del lavoro, in maniera che durante le ore della giornata con UV più intensi (11.00- 15.00 ora solare) si privilegino, per esempio, lavori che si svolgono all'interno e che la pausa pranzo avvenga al chiuso o in luoghi ombreggiati.

Linee d'intervento in merito alle esposizioni a radiazioni ultraviolette: La valutazione del rischio.

Su questo argomento è stato scritto un capitolo all'interno delle "Linee guida di prevenzione oncologica- Cancerogeni occupazionali: prevenzione ed emersione dei tumori professionali della Regione Toscana" [17] che qui brevemente riportiamo.

La radiazione solare ultravioletta è un cancerogeno certo per l'uomo [2], in Toscana, il Piano regionale specifico mirato sul rischio da RUV solare, ha definito un percorso di prevenzione per le attività lavorative outdoor maggiormente diffuse sul territorio regionale, che include sia la valutazione del rischio di esposizione a radiazione solare ultravioletta sia l'individuazione delle principali soluzioni applicabili a ciascuna attività per ridurre il rischio. Il Piano mirato ha evidenziato che i lavoratori all'aperto dei comparti oggetto d'indagine (agricoltura, edilizia, pesca, estrazione del marmo) svolgono attività in orari a rischio e ricevono dosi elevate di radiazione solare ultravioletta senza che siano in genere messe in atto adeguate misure di tutela; infatti sono state riscontrate patologie tumorali cutanee [14].

La normativa per la tutela dei lavoratori esposti a radiazione UV solare

Il capo V del titolo VIII non include le radiazioni ottiche naturali nel campo di applicazione del titolo VIII, lasciando un vuoto nell'impianto normativo, soprattutto considerando che la radiazione solare, come in precedenza detto, è nel gruppo dei cancerogeni certi per l'uomo indicati dalla IARC. Le linee guida del Coordinamento tecnico delle regioni sugli agenti fisici, ribadiscono in proposito al punto 5.01, che l'art.28 impone la valutazione di "...tutti i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori...". In considerazione del fatto che gli effetti del rischio sono ormai scientificamente noti da tempo, in tutti i casi in cui il processo lavorativo o la mansione comportino una significativa esposizione del lavoratore alla radiazione solare, si dovrà effettuare una valutazione dei rischi specifica (da intendersi come processo finalizzato a individuare le adeguate misure di prevenzione e a garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di salute e sicurezza).

Il Testo unico prevede, tra le misure generali di tutela "l'eliminazione dei rischi in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico e, ove ciò non è possibile, la loro riduzione al minimo". Il Testo unico sancisce l'obbligo per il datore di lavoro di fornire ai lavoratori "i necessari e idonei mezzi di protezione" e l'obbligo per i lavoratori di osservare "le disposizioni

e le istruzioni impartite dal datore di lavoro, dai dirigenti e dai preposti, ai fini della protezione collettiva e individuale. La lettera “c” dello stesso comma sancisce che i lavoratori debbano utilizzare “in modo appropriato i dispositivi di protezione collettivi e individuali messi a loro disposizione”.

Ai fini della valutazione e della prevenzione del rischio lavorativo dovuto all’esposizione a radiazione solare nelle lavorazioni all’aperto, è possibile fare riferimento al documento ICNIRP 14/2007 “Protecting workers from ultraviolet radiation”; sulla base di tale documento è possibile effettuare valutazioni quantitative di rischio per esposizione cutanea e oculare per i lavoratori e adottare le appropriate misure di tutela, in relazione alle modalità espositive e alle condizioni ambientali di esposizione. E’ disponibile on line sul Portale agenti fisici di Regione Toscana – INAIL, alla sessione Radiazioni ottiche naturali, una procedura guidata che consente di applicare i criteri valutativi ICNIRP 14/2007 per la prevenzione del rischio da esposizione a radiazione UV solare per occhi e cute al link: http://portaleagentifisici.it/fo_ro_naturali_calcolo_esposizione.php?lg=IT.

Questa valutazione si è basata anche sui risultati del piano mirato sul rischio da radiazione solare ultravioletta della regione Toscana.

Va infine ricordato il documento pubblicato dal Coordinamento Tecnico delle Regioni in collaborazione con INAIL ed ISS “Indicazioni operative sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti agli Agenti Fisici nei luoghi di lavoro” (documento del 2009 rivisto nel 2014) che raccoglie e raccorda un numero molto elevato di testi normativi con la finalità di fornire una serie di indicazioni operative in grado di orientare gli attori aziendali della sicurezza ad una risposta corretta al provvedimento legislativo in materia di Agenti Fisici. Il capitolo 5 tratta in particolare delle Radiazioni Ottiche. Il documento è periodicamente aggiornato a cura del Coordinamento alla luce degli sviluppi della normativa nazionale ed internazionale sui singoli fattori di rischio fisico. Il testo aggiornato è disponibile on-line sul sito del Portale Agenti Fisici www.portaleagentifisici.it.

I valori limite di esposizione nel caso delle esposizioni alla radiazione ultravioletta, ed il loro rispetto previene l’insorgenza di effetti acuti non cancerogeni (eritema, fotocheratite, fotocongintivite, cataratta) ma non previene totalmente il rischio di effetti a lungo termine indotti dall’esposizione cronica, fra i quali la fotocancerogenesi cutanea, per i quali non sono state determinate soglie di induzione. Tali effetti possono quindi, in linea di principio, verificarsi anche se sono rispettati gli attuali limiti di esposizione, ricordando tuttavia che la limitazione delle esposizioni al di sotto delle soglie di induzione degli effetti acuti contribuisce a diminuire la dose che il lavoratore esposto accumula durante la sua vita lavorativa, e riduce la probabilità dell’insorgenza degli effetti stocastici quale la fotocancerogenesi cutanea o la gravità di effetti deterministici di lungo termine, quale il fotoinvecchiamento cutaneo. Tali aspetti sono

particolarmente rilevanti soprattutto per soggetti particolarmente sensibili al rischio.

Per quanto riguarda la sorveglianza sanitaria le Linee Guida Coordinamento tecnico Regioni – Inail ISS sottolineano che, sebbene la normativa non preveda un obbligo (tranne il già citato caso ex art.41, comma 1, lettera b), quando i lavoratori sono già sottoposti a tale sorveglianza per altri rischi è opportuno che il Medico competente tenga in considerazione anche quello da radiazione solare. In particolare si segnala la necessità di valutare con particolare attenzione le eventuali condizioni di maggiore suscettibilità individuale, quali l'albinismo e i fototipi bassi.

Si segnala infine l'utilità del coinvolgimento del medico competente nella definizione di eventuali misure di prevenzione e protezione, in particolare per fornire indicazioni sui corretti comportamenti ed abitudini.

Come ridurre ed eliminare il rischio da Radiazione solare ultravioletta?

L'adozione di misure organizzative e procedurali ed una appropriata formazione, anche in considerazione dei fattori individuali di rischio, sono i due aspetti fondamentali per la riduzione ed eliminazione dei rischi.

Tra le misure ricordiamo sicuramente quella di

- Indossare indumenti protettivi anti UV, le regole generali suggeriscono:

tessuti a trama “fitta” densi e spessi, se è possibile osservare delle immagini attraverso il tessuto tenuto davanti ad una lampada, il potere di protezione è molto basso; se filtra attraverso il tessuto solo la luce, il potere di protezione è modesto; se la luce non filtra il potere di protezione è ottimo.

Le caratteristiche che influenzano la capacità protettiva dei tessuti infatti riguardano: la porosità del tessuto (cover factor) indicando la dimensione media degli spazi vuoti tra le fibre dove può passare la RUV solare, la natura della fibra (es. tessuti sintetici - poco confortevoli per lo scambio di calore e umidità e quindi per il comfort- danno maggiore protezione rispetto a lino e cotone), il trattamento della fibra ed anche il colore (colori scuri proteggono maggiormente a patto che ci sia un alto cover factor). Test su alcuni **tessuti di cotone e lino tinteggiati con coloranti di origine naturale** (e quindi anche a basso grado di allergenicità) hanno dato risultati “incoraggianti” [18]. Anche la presenza di additivi (es. ossido di titanio) può influenzare il grado di protezione di un indumento.

Esistono poi indumenti con UPF (UV Protection Factor) certificato che, come per le creme protettive, è un indicatore del grado di protezione dal rischio RUV solare. Molto importante è proteggersi il capo con idonei copricapo come cappello a tesa larga e circolare (di almeno 8 cm) in modo tale che si abbia la protezione anche delle orecchie, del naso e del collo.

I cappelli "da legionario" sono ottimali mentre bisognerebbe ricordare che i berretti da baseball con visiera non forniscono una adeguata protezione per

le orecchie e per il collo che essendo aree particolarmente fotoesposte devono comunque essere protette dalla radiazione UV.

- DPI oculari per radiazioni ottiche, tutti i dispositivi di protezione degli occhi e del viso da radiazioni ottiche appartengono almeno alla II categoria del DLgs.475/92 e pertanto comportano l'obbligo di una formazione specifica all'uso Marcatura CE in accordo a specifica norma UNI EN 1836:2008. Occhiali da sole e filtri per la protezione contro le radiazioni solari per uso generale e filtri per l'osservazione diretta del sole.

- Limitare l'esposizione tra le 11 e le 15 quando l'UV index ² è più elevato attraverso l'organizzazione del lavoro e/o creando zone d'ombra ove queste non ci siano.

- Uso di creme solari in ambiente di lavorativo. Le creme solari hanno dimostrato la loro validità nel ridurre l'incidenza sia di alterazioni neoplastiche epiteliali della cute che foto invecchiamento, ma data la possibilità di effetti fotoallergici e fototossici associati alla esposizione simultanea a sostanze chimiche (es. antiparassitari) o vegetali (es. bergamotto, ombrellifere etc.) è necessario che il loro utilizzo sia effettuato con il coinvolgimento del Medico Competente.

Il Piano Regionale di Prevenzione e i rischi da Radiazione ultravioletta solare nei lavoratori outdoor

La valutazione dei rischi e la prevenzione dei danni causati da esposizione a UVR solare è uno dei macro obiettivi indicati nel Piano Nazionale della Prevenzione 2014-2018, argomento ripreso anche nel Piano Regionale della prevenzione della Regione Toscana (Piano Regionale della Prevenzione 2014-2018 allegato A alla delibera RT n.1314/2015) con riferimento al rischio dei lavoratori all'aperto ed alla necessità dell'adozione delle linee di indirizzo relative alle misure di prevenzione da adottare in considerazione dei risultati del piano mirato che avevano sottolineato come questo rischio sia sottostimato dai lavoratori e dai loro datori di lavoro. È quindi fondamentale che sia attuata una formazione specifica dei Medici di medicina generale ed in particolare dei medici competenti a cui è affidato il compito di indirizzare i soggetti a rischio nei luoghi di lavoro ed anche per identificare precocemente le lesioni importanti. Al tempo stesso è necessaria un'adeguata formazione dei rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza sulle misure da adottare per la tutela dei lavoratori outdoor. In Regione Toscana nell'ambito del PRP sono stati fatti corsi rivolti a tutte queste figure fondamentali per la prevenzione dei rischi derivanti da questa esposizione. In

² L'indice UV (sviluppato nell'ambito di una collaborazione internazionale tra WHO, WMO, UNEP e ICNIRPN) è un'unità di misura della radiazione UV efficace nel produrre effetti sulla pelle umana. Viene calcolato pesando spettralmente la radiazione UV per lo spettro d'azione dell'eritema, come definito dal CIE (1987), e moltiplicando l'irradianza efficace, espressa in Wm⁻², per 40.

questo ambito inoltre si sta studiando la possibilità di adottare nuovi approcci per la diffusione della prevenzione da questo rischio come l'uso di applicazioni telefoniche che a partire dalla geolocalizzazione dell'apparecchio e dai dati ufficiali di UV index solare utilizzino degli algoritmi simili a quelli contenuti nel documento ICNIRP 14/2007 per valutare l'esposizione e quindi orientare di conseguenza l'organizzazione lavorativa ed i comportamenti individuali nel proteggersi o meno dal sole. In Toscana inoltre si sta intervenendo in comparti lavorativi ad oggi non sufficientemente studiati come quello balneare, comparto caratterizzato da una forte presenza di lavoratori sia in Toscana che sul territorio nazionale. L'intervento su questo comparto ha già visto il coinvolgimento delle associazioni datoriali e dei lavoratori ed attuato interventi per l'adozione di indumenti protettivi idonei (maglietta e cappello con falda), costruzione di zone d'ombra come gazebo e tettoie. Sono in corso misurazioni sia sugli indumenti per valutarne il grado di protezione da essi costituiti che sulle zone d'ombra costruite [19]. A questo proposito risultati preliminari sugli indumenti suggeriscono, in accordo con quanto indicato nel documento ICNIRP 14/2007 che le comuni maglie in cotone tipicamente utilizzate dagli operatori balneari, ad esclusione delle canottiere, presentano in genere un grado di attenuazione adeguato ai fini della protezione del lavoratore dall'esposizione alla radiazione UV [20].

Le neoplasie professionali da esposizione a RUV solare

Un articolo del 2016 fa notare come i NMSC sono tumori molto frequenti nell'uomo e la cui incidenza è in aumento e che c'è la necessità di riconoscere questi tumori (includendo inoltre la cheratosi attinica) come tumori professionali [21]. In Italia con la nuova Tabella delle Malattie Professionali, emanata con DM 9/4/2008 sono state inserite fra le malattie "tabellate" per l'Industria alla VOCE 84 le "Malattie causate da radiazioni UV comprese le radiazioni solari, e nelle sotto-voci A e B, rispettivamente, sono state individuate quali tabellate: le Cheratosi attiniche e gli Epateliomi cutanei delle sedi foto esposte". Sono state individuate fra le lavorazioni "tabellate" quelle che espongono a radiazioni UV solari artificiali nell'industria in particolari mansioni (lavori in stabilimenti balneari, a bordo di navi, in cantieri di edilizia stradale, in cave e miniere a cielo aperto) e nell'agricoltura in lavorazione svolte prevalentemente all'aperto.

Come osservato da Calabretta ed Acciai in un articolo del 2012 [22] sulle neoplasie da RUV solare, l'inserimento in tabelle di queste patologie tumorali può facilitare il loro riconoscimento, ma non basta da solo se non è accompagnata da una ricerca attiva con il coinvolgimento in primo luogo dei medici dermatologi data la possibile sotto-notifica di questi tumori della pelle.

Considerazioni Conclusive

In conclusione, l'esposizione a radiazione solare ultravioletta costituisce un rischio per i lavoratori outdoor in quanto causa di tumori della pelle in particolare i NMSC che sono tumori molto frequenti nell' uomo.

I NMSC e le cheratosi attiniche sono malattie professionali riconosciute da INAIL, è importante che vengano denunciate e che venga messo in atto una ricerca attiva data la possibile sotto-notifica di questi tumori. Molti sono i comparti che possono essere coinvolti e non solo quelli tradizionali (agricoltura, edilizia, pesca estrazione del marmo) come ha mostrato il piano mirato della Regione Toscana ed è importante porre l'attenzione su nuovi comparti poco conosciuti su cui adottare le misure di prevenzione come il comparto balneare.

Le azioni da intraprendere sono in primo luogo di prevenzione primaria con il coinvolgimento dei medici competenti e dei medici di medicina generale, i datori di lavoro ed i lavoratori ed i loro rappresentanti per la sicurezza. L'informazione e la formazione nonché la sensibilizzazione riguardo a questo rischio devono essere messe in atto, anche utilizzando nuovi strumenti (es. app telefoniche) per far sì che questo rischio sia maggiormente conosciuto. Anche azioni di prevenzione secondaria devono essere messe in atto come la sorveglianza della patologia, la creazione di percorsi diagnostici terapeutici per i lavoratori affetti da queste patologie, l'incremento del riconoscimento come malattia professionale.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Lucas RM, McMichael AJ, Armstrong BK, Smith WT. Estimating the global disease burden due to ultraviolet radiation exposure. *Int J Epidemiol.* 2008 Jun; 37(3):654-67.
- [2]. International Agency for research on cancer WHO. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, Volume 100 D: Radiation ([http:// http://monographs.iarc.fr/](http://monographs.iarc.fr/) last access data 3 Ottobre 2012)
- [3]. Erdmann [F](#), [Lortet-Tieulent J](#), [Schüz J](#), [Zeeb H](#), [Greinert R](#), [Breitbart EW](#), [Bray F](#). International trends in the incidence of malignant melanoma 1953-2008--are recent generations at higher or lower risk? . *Int J Cancer.* 2013 Jan 15; 132(2):385-400.
- [4]. Lomas [A](#), [Leonardi-Bee J](#), [Bath-Hextall F](#). A systematic review of worldwide incidence of nonmelanoma skin cancer. *Br J Dermatol.* 2012 May; 166(5):1069-80.
- [5]. AIOM, Airtum. I numeri del cancro in Italia 2011. Intermedia editore, 2011.
- [6]. Housman [TS](#), [Williford PM](#), [Feldman SR](#), [Teuschler HV](#), [Fleischer AB Jr](#), [Goldman ND](#) et al. Non melanoma skin cancer: an episode of care management approach. *Dermatol Surg.* 2003; Jul; 29(7):700-11.
- [7]. [Gordon LG](#), [Rowell D](#). Health system costs of skin cancer and cost-effectiveness of skin cancer prevention and screening: a systematic review. *Eur J Cancer Prev.* 2015 Mar; 24(2):141-9.
- [8]. Greinert R, de Vries E, Erdmann F, Espina C, Auvinen A, Kesminiene A, Schüz J. [European Code against Cancer 4th Edition: Ultraviolet radiation and cancer.](#) *Cancer Epidemiol.* 2015 Dec; 39 Suppl 1:S75-83.
- [9]. [Schmitt J](#), [Seidler A](#), [Diepgen TL](#), [Bauer A](#). Occupational ultraviolet light exposure increases the risk for the development of cutaneous squamous cell carcinoma: a systematic review and meta-analysis. *Br J Dermatol* 2011; Feb; 164(2):291-307.
- [10]. Bauer A, Diepgen TL, Schmitt J. [Is occupational solar ultraviolet irradiation a relevant risk factor for basal cell carcinoma? A systematic review and meta-analysis of the epidemiological literature.](#) *Br J Dermatol.* 2011; Sep; 165(3):612-25.
- [11]. Milon A, Bulliard JL, Vuilleumier L, Danuser B, Vernez D. [Estimating the contribution of occupational solar ultraviolet exposure to skin cancer.](#) *Br J Dermatol.* 2014 Jan; 170(1):157-64.
- [12]. Trakatelli [M](#), [Barkitzi K](#), [Apap C](#), [Majewski S](#), [De Vries E](#) [EPIDERM group](#). Skin cancer risk in outdoor workers: a European multicenter case-control study. *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 2016 Apr; 30 Suppl 3:5-11.

- [13]. [Mirabelli D](#), [Kauppinen T](#). Occupational exposures to carcinogens in Italy: an update of CAREX database. [Int J Occup Environ Health](#). 2005; Jan-Mar;11(1):53-63.
- [14]. [Miligi L](#), [Benvenuti A](#), [Legittimo P](#), [Badiali AM](#), [Cacciarini V](#), [Chiarugi A](#), [Crocetti E](#), [Alberghini Maltoni S](#), [Pinto I](#), [Zipoli G](#), [Grifoni D](#), [Carnevale F](#), [Pimpinelli N](#), [Cherubini Di Simplicio F](#), [Poggiali S](#), [Sartorelli P](#), [Sirna R](#), [Amati R](#), [Centi L](#), [Festa G](#), [Fiumalbi C](#), [Fedi A](#), [Giglioli S](#), [Mancini R](#), [Panzone T](#), [Petrioli G](#), [Trombetti A](#), [Volpi D](#). Solar ultraviolet radiation risk in outdoor workers: a specific project of Tuscany Region (Italy)]. [Epidemiol Prev](#). 2013 Jan-Feb;37(1):51-9.
- [15]. Wong, C.F, Airey, D.K, Fleming RA. Annual reduction of solar UV exposure to the facial area of outdoor workers in Southeast Queensland by wearing a hat. [Photodermatol. Photoimmunol. Photomed](#). 1996; Jun;12(3): 131-135.
- [16]. [Thieden E](#), [Collins SM](#), [Philipsen PA](#), [Murphy GM](#), [Wulf HC](#). Ultraviolet exposure patterns of Irish and Danish gardeners during work and leisure. [Br J Dermatol](#). 2005; Oct;153(4):795-801.
- [17]. Linee guida di prevenzione oncologica Cancerogeni occupazionali: prevenzione ed emersione dei tumori professionali: linea guida / Consiglio sanitario regionale; Regione Toscana, Direzione diritti di cittadinanza e coesione sociale; coordinatrice Lucia Miligi; Dusca Bartoli ... [et al.]. - Firenze: Regione Toscana, 2016
- [18]. [Grifoni D](#), [Bacci L](#), [Zipoli G](#), [Carreras G](#), [Baronti S](#), [Sabatini F](#). Laboratory and outdoor assessment of UV protection offered by flax and hemp fabrics dyed with natural dyes. [Photochem Photobiol](#). 2009 Jan-Feb;85(1):313-20
- [19]. Bramanti L.: Il sole ti fa bella? il caso dei lavoratori balneari corso di formazione relazione al corso regionale in "Rischio da radiazione solare ultravioletta nei lavoratori outdoor. linee di indirizzo sulle misure di prevenzione e valutazione di fattibilità di nuovi approcci per la diffusione" Empoli, 28 novembre 2016 all'indirizzo: http://sintef.usl11.toscana.it/portale_empoli_new/attachments/article/235/Bramanti.pdf comunicazione personale
- [20]. Pinto I, Bogi A, Picciolo F, Stacchini N., Valutazione preliminare della protezione dalla radiazione Ultravioletta offerta dagli indumenti di lavoro utilizzati dai bagnini c/o gli stabilimenti balneari della Versilia. Comunicazione personale
- [21]. John SM, Trakatelli M, Gehring R, Finlay K, Fionda C, Wittlich M, Augustin M, Hilpert G, Barroso Dias JM, Ulrich C, Pellacani G. [CONSENSUS REPORT: Recognizing non-melanomaskin cancer, including actinic keratosis, as an occupational disease - A Call to Action](#). [J Eur Acad Dermatol Venereol](#). 2016 Apr;30 Suppl 3:38-45.

**d-A2018**

- [22]. Calabretta VM &MC Acciai, Le neoplasie professionali da esposizione a radiazione solare UV:denunce e riconoscimenti, Riv infortuni e malattie professionali -fascicolo .1/2012, 241-251



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO MICROCLIMA DALLA A ALLA Z

Michele del Gaudio(1), Daniele Leone(2), Adele Pomponio(2), Angela Nicotera(2), Daniela Freda, Raffaele Sabatino(3), Pietro Nataletti(4), Paolo Lenzuni(5).

- 1) INAIL, Unità Operativa Territoriale di Avellino
- 2) INAIL, Direzione Regionale Campania
- 3) INAIL, Dipartimento di Innovazioni Tecnologiche, Roma
- 4) INAIL, Dipartimento di Medicina, Epidemiologia e Igiene del Lavoro, Roma
- 5) INAIL, Unità Operativa Territoriale di Firenze

Premessa

Il documento che con maggior autorevolezza ha dettato le linee per la valutazione del microclima in Italia negli ultimi anni è il testo redatto a cura del Coordinamento Inter-regionale del 2006 [1]. Tuttavia tale documento ha via via mostrato crescenti segni di obsolescenza per almeno due motivi:

- a) numerosi standard internazionali sono intervenuti a modificare, negli ultimi dodici anni, il panorama normativo relativo a tutte le tipologie di impatto del microclima sui soggetti esposti (comfort, stress da caldo, stress da freddo);
- b) il quadro complessivo che si determina a partire dai diversi standard, europei ed internazionali, contiene sia alcuni conflitti sia diverse lacune. Entrambi questi aspetti sono stati affrontati con studi specifici e sono attualmente disponibili ipotesi di soluzioni che contribuiscono significativamente a migliorare la qualità e l'eshaustività della valutazione del microclima in un luogo di lavoro. La Direzione Regionale Inail Campania ha

realizzato un opuscolo dal titolo “La valutazione del microclima” per fornire agli esperti del settore i riferimenti più aggiornati.

Il nuovo opuscolo

La struttura del documento comprende una sezione iniziale che affronta la scelta del percorso valutativo da seguire, seguita da tre sezioni che affrontano in sequenza gli aspetti legati rispettivamente al comfort, allo stress da caldo e allo stress da freddo. L’enfasi principale è stata posta sui principi dei metodi, sulla misura e/o sulla stima delle diverse quantità

LA VALUTAZIONE DEL MICROCLIMA



necessarie per la valutazione e sulle procedure di calcolo degli indici di comfort/stress, con brevi accenni alle misure utili al controllo del microclima nei diversi ambienti. Nei limiti del possibile si è cercato di mantenere un buon parallelismo formale fra le tre sezioni, che di conseguenza risultano strutturalmente identiche.

I principali elementi di novità del documento sono:

- a) il riferimento alle versioni più recenti degli standard internazionali in tema di comfort termico (EN 15251, ISO 7730) [2], di stress termico da caldo (ISO 7933) [3] e di stress termico da freddo (ISO 11079) [4];

punti 1.9.2 “*Temperatura dei locali*” e 1.9.3 “*Umidità*” del citato allegato IV.

Convenzionalmente, gli standard tecnici distinguono due tipologie di ambienti termici, gli ambienti “moderati” e gli ambienti “severi”, secondo il seguente criterio:

- 1) gli ambienti “moderati” sono ambienti nei quali gli scambi termici fra soggetto e ambiente consentono il raggiungimento di condizioni prossime all’equilibrio termico, ovvero di comfort;
- 2) gli ambienti “severi” sono, al contrario, quelli in cui le condizioni ambientali sono tali da determinare nel soggetto esposto uno squilibrio termico tale da poter rappresentare un fattore di rischio per la sua salute.

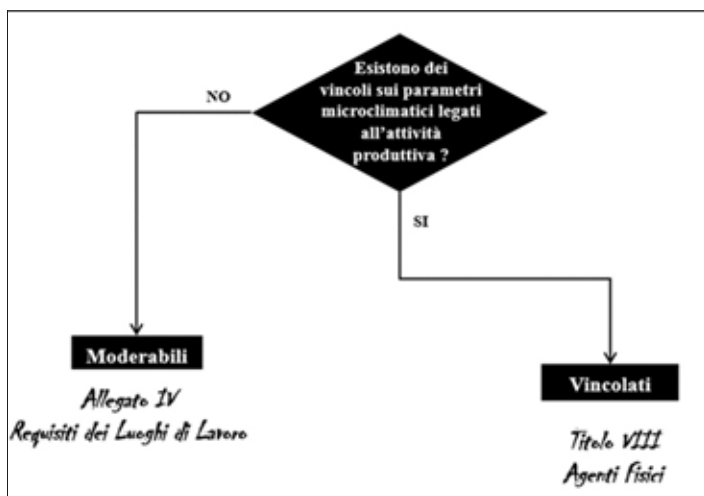


Figura 2 – Flow chart per la discriminazione dei percorsi di valutazione

Valutare un ambiente “moderato” secondo quanto previsto dall’allegato IV e un ambiente severo secondo quanto previsto dal Titolo VII è un errore. Tale procedura infatti si basa sulla situazione termica esistente, ma non tiene conto dell’elemento fondamentale rappresentato dalla presenza/assenza di vincoli che impediscano la realizzazione in un ambiente condizioni di comfort. Si rischia pertanto di utilizzare percorsi di valutazione impropri e talvolta potenzialmente rischiosi.

Si configura pertanto la necessità di operare una discriminazione, come schematizzato nella Figura 2 fra due tipologie di ambienti termici, diversa da quella operata dalla normativa tecnica:

- ambienti termicamente moderabili: ambienti nei quali non esistono vincoli in grado di pregiudicare il raggiungimento di condizioni di

d-A2018

comfort; a questi si applicano le disposizioni contenute nell'allegato IV;

- ambienti termicamente vincolati: ambienti nei quali esistono vincoli, in primo luogo sulla temperatura e sulle altre quantità ambientali, ma anche sull'attività metabolica e sul vestiario, in grado di pregiudicare il raggiungimento di condizioni di comfort; a questi si applicano le disposizioni contenute nel titolo VIII.

Ambienti ad obiettivo comfort.

Legge e normativa tecnica

Il testo dell'allegato IV del d.lgs. 81/2008 contiene importanti riferimenti ad una serie di quantità fisiche (temperatura, umidità, irraggiamento solare, movimento dell'aria) di cui tener conto nella valutazione di un eventuale discomfort in relazione ai metodi di lavoro applicati e degli sforzi fisici imposti ai lavoratori. Va evidenziato tuttavia che esso non contiene alcuna indicazione né riguardo agli indici sintetici da utilizzare né riguardo ad eventuali valori limite di accettabilità. Le uniche indicazioni a riguardo sono limitate a raccomandazioni generiche. Di conseguenza per tutti gli aspetti quantitativi esso rimanda alle opportune norme di buona tecnica.

La norma tecnica UNI EN ISO 7730 è, ad oggi, il documento cardine per la valutazione del comfort termo-igrometrico. Essa fornisce un criterio di quantificazione del discomfort globale (ovvero dell'individuo nel proprio complesso) basato su un indice detto PMV, acronimo di Predicted Mean Vote (voto medio previsto) che rappresenta di fatto la declinazione pratica e tecnicamente rigorosa dei principi espressi dall'allegato IV del d.lgs. 81/2008. Il PMV non distingue fra quantità fisiche oggettive (temperatura, umidità, irraggiamento solare, movimento dell'aria) ed indicatori soggettivi relativi all'abbigliamento e al dispendio metabolico del soggetto ed incorpora tutti questi elementi in un indice che di fatto descrive l'accettabilità dell'interazione uomo-ambiente. Il vantaggio del PMV è che esso, basandosi su considerazioni strettamente fisiologiche ed essendo stato validato su un campione significativo di soggetti, ripropone su basi oggettive una sensazione di soddisfazione che per sua stessa natura è intrinsecamente soggettiva.

Classificazione termica

La norma UNI EN ISO 7730 subordina l'accettabilità di un ambiente termico dal punto di vista del comfort al rispetto di alcune condizioni relative sia all'indice di comfort globale PMV sia ad una serie di indici di discomfort locali (Tabella 1). In particolare un ambiente viene considerato confortevole quando:

- a) PMV risulta all'interno dell'opportuno intervallo di accettabilità;

- b) ciascuno degli indici di discomfort locale risulta inferiore al proprio limite di accettabilità.

Category	Thermal state of the body as a whole		Local discomfort			
	PPD %	PMV	DR %	PD %		
				vertical air temperature difference	warm or cool floor	radiant asymmetry
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$	< 30	< 10	< 15	< 10

Tabella 1 – Limiti di accettabilità per il comfort termico-igrometrico (UNI EN ISO 7730, Tabella A.1)

Si nota immediatamente come nella Tabella 1 i valori limite siano assegnati separatamente per tre diverse categorie (A; B; C). Tuttavia né la norma UNI EN ISO 7730 né alcun altro standard tecnico contengono criteri utili per l'assegnazione di un ambiente e/o di una data condizione lavorativa all'una o all'altra delle tre categorie. Una proposta di metodo di classificazione presentata da del Gaudio, Freda e Lenzuni [6] permette di individuare la categoria di comfort da considerare.

Il metodo sviluppato per la classificazione termica degli ambienti è di fatto un tentativo per rendere quantitativi, e quindi oggettivi, i criteri enunciati nella UNI EN 15251 [7] (Tabella 2) che in quanto qualitativi si prestano ad inevitabili interpretazioni e quindi ad un'ampia variabilità fra i diversi soggetti che si trovano ad applicarla in diversi contesti.

Categoria	Livello di aspettativa	Definizione
I	Alto	Livello che dovrebbe essere adottato in presenza di individui con necessità particolari (bambini, anziani, handicappati)
II	Medio	Livello normalmente usato per il progetto e l'utilizzo
III	Moderato	Livello che consente di mantenere l'ambiente accettabile. Introduce qualche rischio di perdita di performance
IV	Basso	Livello che dovrebbe essere adottato soltanto per una parte limitata dell'anno, o in spazi con permanenza limitata

Tabella 2 – Categorie di qualità (UNI EN 15251, Tabella 1)

Nella Tabella 2 risultano di particolare importanza:

- 1) l'associazione delle prime tre categorie con altrettanti livelli di "aspettativa" termica;
- 2) l'associazione esplicita della categoria I con individui con requisiti termici speciali (disabili, malati, bambini, anziani);
- 3) l'indicazione che la categoria IV risulta accettabile soltanto "per una parte limitata dell'anno".

d-A2018

Va sottolineato il fatto che la UNI EN 15251 articola gli ambienti su quattro categorie e non su tre come fa la UNI EN ISO 7730. I limiti di accettabilità delle categorie che la UNI EN 15251 indica con I II e III coincidono con i limiti che la UNI EN ISO 7730 propone per le categorie A B e C, stabilendo in tal modo una precisa corrispondenza biunivoca. Di conseguenza la categoria IV della UNI EN 15251 si configura come una categoria aggiuntiva, che è possibile assegnare ad un ambiente soltanto per una parte limitata (tentativamente identificata come il 10%) dell'anno.

Il metodo sviluppato per la classificazione termica degli ambienti si basa su tre elementi indipendenti ai quali risultano assegnati altrettanti fattori:

- la sensibilità termica del soggetto (F_S),
- l'accuratezza del compito svolto (F_A),
- la praticabilità delle soluzioni tecniche (F_T),

la cui combinazione determina un punteggio finale F_C attribuito all'ambiente in esame. Seppure privo di valenza normativa, il criterio basato sul punteggio F_C consente di assegnare a qualsiasi situazione microclimatica una categoria (A B o C) e di conseguenza stabilire quali siano i corretti limiti di accettabilità (Tabella 1). Negli ambienti in cui coesistono individui con sensibilità diverse e/o che eseguono compiti che richiedono una diversa accuratezza, esistono due possibilità:

- 1) se fattibile, si realizzano condizioni termo-igrometriche diverse in zone diverse, ovvero ad eseguire una partizione dello spazio che assicuri ai diversi individui le specifiche condizioni di comfort;
- 2) altrimenti, per il principio di maggior cautela, si suggerisce di utilizzare per tutti i soggetti presenti la classe di comfort più elevata.

In ultimo va sottolineato come, in una procedura rigorosa che tenesse conto delle incertezze sia sui parametri soggettivi che su quelli ambientali, l'assegnazione alla classe A di un ambiente risulterebbe assai difficoltosa per non dire impossibile [8]. Tuttavia, alla luce dell'assenza nel testo di legge, di qualsiasi riferimento all'incertezza nella valutazione del comfort (come pure del rischio) termico, è per il momento possibile ignorare questo problema.

Misure

Tanto i principi fisici di funzionamento quanto le specifiche tecniche degli strumenti adeguati ad una corretta misura dei parametri microclimatici, sono discussi estensivamente nella norma tecnica UNI EN ISO 7726:2002 [9]. La norma UNI EN ISO 7726 fornisce tanto le principali indicazioni per la misura dei parametri microclimatici quanto le caratteristiche della strumentazione da utilizzare.

Manca però ad oggi un documento con riconosciuta autorità internazionale relativo alla collocazione temporale e spaziale delle misure da eseguire, e al numero di misure da realizzare per una corretta valutazione del comfort. Le

indicazioni fornite nell'opuscolo sono pertanto solo in parte contenute all'interno della normativa tecnica. In altre parti esse risultano invece originali o sviluppano concetti già apparsi in alcuni convegni di settore [10].

In particolare vengono affrontati in modo inedito due temi:

- a) l'individuazione del momento ottimale per la misura
- b) l'individuazione del numero di postazioni di lavoro nelle quali eseguire una misura in ambienti di grandi dimensioni.

Riguardo al punto b), l'ottimizzazione del numero e del posizionamento dei punti di misura si ha individuando la configurazione con il minimo numero di punti fra quelle che comunque mantengono la capacità di descrivere con sufficiente precisione le condizioni termiche di tutte le postazioni occupate nella abituale attività lavorativa dei soggetti. Il numero minimo di punti di misura cresce con l'aumentare della dimensione dell'ambiente perpendicolarmente alla finestra più significativa e all'orientamento di tale finestra allontanandosi dalla direzione di massimo impatto solare (sud-ovest). Il numero diminuisce all'aumentare dei lati che contengono superfici vetrate significative [11]. Tipicamente si riesce a garantire una buona accuratezza nella determinazione dell'indice PMV in tutto l'ambiente per $N = 2 - 4$ misure.

Nel caso di edifici nei quali le stesse condizioni di esposizione alla radiazione solare si ripetono identiche su più piani ($N_{\text{Piani-totale}}$), la misura deve essere eseguita almeno su

$$N_{\text{Piani-min}} = \text{int} \left[\frac{N_{\text{Piani-totale}}}{2} \right] \quad (1)$$

mantenendo la massima distanza possibile fra i piani nei quali si esegue la misura.

Le misure dovranno inoltre tener conto della variabilità stagionale preferendo le ore in cui si raggiungono le condizioni a maggior discomfort ed in corrispondenza delle temperature medie stagionali tipiche di quella regione geografica. La durata delle misure dovrà tener conto dei tempi di risposta indicate dal fabbricante per le sonde utilizzate. Le misure possono essere particolarmente lunghe quando non è possibile stabilire con certezza il momento di massimo discomfort.

Ambienti vincolati caldi

Sulla base della definizione data precedentemente, negli ambienti vincolati caldi esistono vincoli ineludibili che forzano una situazione di squilibrio termico nella quale i guadagni energetici superano le perdite, e di conseguenza impediscono il raggiungimento di condizioni di comfort. La

valutazione da eseguire deve pertanto mirare a verificare innanzitutto l'esistenza e successivamente l'entità di un eventuale stress termico.

Il riferimento legislativo fondamentale per la valutazione degli ambienti termici vincolati (tanto caldi quanto freddi) è il capo I del Titolo VIII del d.lgs. 81/2008. In particolare negli articoli 180 – 185 viene chiarito che il microclima è a tutti gli effetti un agente di rischio fisico e che di conseguenza va eseguita una valutazione del rischio secondo quanto specificato nello stesso decreto all'art. 28. Tuttavia, al contrario di quanto avviene per il rischio rumore e altri rischi fisici, la legge non contiene alcuna indicazione relativa ai metodi mediante i quali verificare la presenza e valutare uno stress termico. In assenza di disposizioni di legge, la materia è di conseguenza interamente delegata alle *norme tecniche*.

Nel quaderno si è scelto di non considerare l'uso, pur diffuso nella pratica, dell'indice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), oggetto della norma tecnica UNI EN ISO 7243:2017 [12]. Pur trattandosi di un metodo indubbiamente semplice e con alle spalle molti decenni di applicazione [13], esso risulta infatti largamente inferiore nelle sue capacità descrittive e predittive rispetto al metodo PHS (Predicted Heat Strain), oggetto della norma tecnica UNI EN ISO 7933. Quest'ultimo infatti:

a) richiede la misura delle stesse quantità già richieste per l'applicazione del metodo PMV per la quantificazione del comfort termico e quindi non impone strumentazione aggiuntiva; il metodo WBGT richiede al contrario l'uso aggiuntivo del termometro a bulbo bagnato a ventilazione naturale.

b) può essere applicato ad una ampia casistica di situazioni sperimentali, sia in termini di vestiario indossato, dimostrandosi assai più flessibile del metodo WBGT.

c) segue l'evoluzione nel tempo delle quantità di interesse fisiologico ai fini della identificazione dello stress termico.

d) può essere applicato a situazioni ambientali variabili nel tempo, sempre che esse non siano caratterizzate da transienti troppo rapidi.

e) produce una quantificazione del rischio termico molto più accurata, che si basa su di un'analisi precisa dell'equilibrio energetico dell'organismo del soggetto esposto e della risposta di questo a situazioni di stress termico. Al contrario il metodo WBGT può unicamente identificare, nel caso di non superamento del limite, situazioni che sicuramente non implicano stress termico. Se l'opportuno limite di accettabilità viene superato, il metodo WBGT richiede che venga eseguita un'analisi più accurata mediante un diverso metodo (ovvero il PHS). Non si vede per quale motivo non si possa utilizzare il metodo PHS fin dall'inizio del processo di valutazione.

Come il metodo PMV per il comfort termico, anche il metodo PHS si basa sulle equazioni del bilancio termico dell'organismo umano. Al contrario di ciò che avviene nel metodo PMV tuttavia, in ambienti caldi non è possibile assumere la stazionarietà della temperatura interna dell'individuo esposto. Il



metodo PHS si basa infatti su un codice iterativo che analizzando istante per istante tutti gli scambi di energia fra soggetto ed ambiente, fornisce ad ogni passo l'incremento di energia dovuto allo squilibrio termico dell'organismo e da questo deduce conseguente aumento di temperatura delle core. La struttura del codice, con una dipendenza esplicita dal tempo, fa sì che il metodo PHS calcoli l'andamento nel tempo di tutte le quantità descrittive del soggetto e dello scambio termico di quest'ultimo con l'ambiente che lo circonda.

I limiti massimi di accettabilità dei due descrittori di strain termico sono i seguenti:

- temperatura rettale t_{re-max} : 38°C;
- quantità di liquido perduto nel corso dell'esposizione D_{max} : 5% della massa del soggetto.

Ai fini pratici della programmazione della giornata lavorativa, il criterio base è quello di disegnare una sequenza di esposizioni e pause (qui indicata anche come "esposizione multifase") che risulti compatibile con il mantenimento di condizioni organiche accettabili, e comunque con il vincolo che nessuno dei due indici di strain (t_{re} , D) superi mai il rispettivo valore massimo ammissibile ($t_{re,max}$, D_{max}).

Il metodo PHS risulta applicabile, per sua stessa ammissione (UNI EN ISO 7933, punto 6.2 ultimo capoverso), a qualsiasi sequenza ovvero a qualsiasi esposizione multifase nella quale non si determinino condizioni esterne agli intervalli di applicabilità del metodo. L'andamento nel tempo degli indici di strain (t_{re} , D) che consente di verificare il rispetto del vincolo, può pertanto essere calcolato con il metodo PHS. Tuttavia il codice fornito nell'appendice E della norma UNI EN ISO 7933 si applica solo ad esposizioni monofase in condizioni ambientali costanti. Il codice è stato pertanto adattato per poter trattare esposizioni multifase. La valutazione di esposizioni multifase può essere eseguita mediante il file **PHS-Multifase** allegato alla versione online del quaderno, sul sito www.inail.it. Il calcolo richiede che in input vengano inserite, indipendentemente per ogni fase sia di esposizione che di pausa, l'attività metabolica, la resistenza termica del vestiario e i quattro parametri ambientali.

Si riporta di seguito un esempio di calcolo in cui sono stati inseriti i dati riportati in Tabella 3.

Quantità	Ambiente		
	A	B	Pausa
temperatura dell'aria (°C)	35	35	25
temperatura media radiante (°C)	35	58,4	26,4
umidità relativa (%)	71,2	35	45
velocità relativa dell'aria (m/s)	0,30	0,30	0,3
attività metabolica (met)	2,58	3,44	0,9
isolamento termico del vestiario (clo)	0,5	1	0,5
Sequenza Temporale: A (60 minuti); Pausa (25 minuti); B (60 minuti); Pausa (25 minuti); A (30 minuti)			

Tabella 3 – Dati relativi ad una esposizione multifase in ambiente severo caldo.

Utilizzando l'applicativo **PHS-Multifase** sono stati calcolati i due indici di strain. In Figura 2 sono riportati i valori di T_{re} (temperatura rettale ed in Figura 3 sono riportati i valori di SW tot (sudorazione totale).

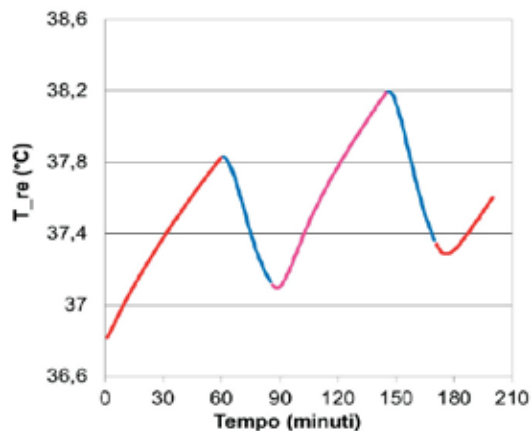


Figura 2 – Calcolo dell'indice T_{re} nel caso esaminato.

Dall'analisi dei dati emerge che nell'esposizione all'ambiente B il soggetto raggiunge il limite massimo di accettabilità della temperatura rettale ed è quindi necessario intervenire per modificare l'esposizione. Riguardo alla perdita di liquidi il limite massimo accettabile, che per un soggetto di 70 kg corrisponde a circa 3500 g, non viene raggiunto dopo l'intera esposizione.

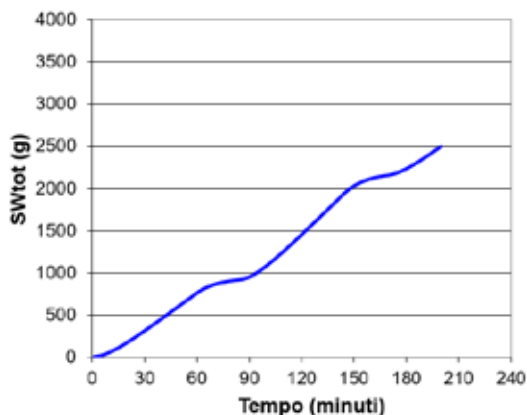


Figura 3 – Calcolo dell'indice SW_{tot} nel caso esaminato.

È importante segnalare che, in contrasto con la versione attualmente in vigore, la bozza della nuova versione ISO/DIS 7933 rilasciata ad aprile 2018 prevede che la procedura PHS sia applicabile solo in condizioni stazionarie ("Only constant working conditions"). Nel caso in cui questo vincolo permanesse anche nella nuova versione ufficiale dello standard ISO 7933 prevista per metà 2019, il codice PHS non potrebbe più essere utilizzato per la valutazione di esposizioni intermittenti.

In ambienti outdoor le condizioni espositive variano sostanzialmente nel corso della giornata. L'identificazione degli intervalli temporali nei quali eseguire una misura che sia realmente utilizzabile per verificare l'esistenza di un rischio termico assume un'importanza determinante. Il requisito indicato in precedenza relativamente alla situazione di massimo rischio ricorrente viene ritenuto soddisfatto quando la temperatura massima della giornata nella quale si esegue la misura è non inferiore alla media della temperatura massima del mese più caldo. Le medie mensili delle temperature massime sono reperibili su Ispra 2014 [14].

In ambienti indoor, le condizioni microclimatiche mostrano generalmente una debole dipendenza dalla stagionalità e dall'orario. Se tuttavia, tale dipendenza dovesse emergere [15], la scelta del momento di misura diventa importante, dato che tra la stagione estiva ed invernale possono verificarsi variazioni significative, ed anche all'interno della stessa giornata possono determinarsi notevoli differenze dovute al variare della esposizione alla radiazione solare. Si applica di conseguenza lo stesso criterio già utilizzato per il comfort termico, considerando rappresentativa del "massimo rischio ricorrente" una misura eseguita in un momento in cui la temperatura dell'aria esterna è non inferiore alla media della temperatura massima del mese più caldo.

Ambienti vincolati freddi

Come gli ambienti vincolati caldi, anche gli ambienti vincolati freddi sono quelli in cui esistono vincoli ineludibili in grado di pregiudicare il raggiungimento di condizioni di comfort. La valutazione da eseguire deve pertanto mirare a verificare innanzitutto l'esistenza e successivamente l'entità di un eventuale stress termico.

Come negli ambienti vincolati caldi, anche negli ambienti vincolati freddi il riferimento legislativo fondamentale per la valutazione degli ambienti termici vincolati è il capo I del Titolo VIII del d.lgs. 81/2008. In assenza di disposizioni di legge relative ai metodi mediante i quali verificare la presenza e valutare uno stress termico la materia è interamente delegata alle *norme tecniche*.

In ambienti freddi esiste un consolidato riferimento al metodo IREQ (Insulation REQuired ovvero isolamento richiesto), discusso nella norma UNI EN ISO 11079:2008. Non sono emerse negli ultimi anni particolari elementi di novità. Anche il metodo IREQ, in analogia con il metodo PMV utilizzato in ambienti termici moderati e il metodo PHS utilizzato in ambienti caldi, si fonda sulla nozione che le condizioni ideali coincidono con la condizione di neutralità termica, mentre lo stress termico è sempre più intenso quanto più lo squilibrio energetico (in questo caso negativo, ovvero contraddistinto da una perdita netta di energia) è grande.

Il metodo IREQ si basa su un codice che analizzando tutti gli scambi di energia fra soggetto ed ambiente, fornisce l'isolamento termico del vestiario IREQ, richiesto allo scopo di mantenere condizioni organiche accettabili durante l'esposizione. Al contrario del codice PHS, il codice IREQ non mostra una dipendenza esplicita dal tempo. La scelta di risolvere l'equazione assumendo come incognita il vestiario richiesto riflette l'importanza centrale di questo parametro, in assenza di efficienti meccanismi fisiologici di minimizzazione della dissipazione del calore.

Meno consolidata della parte metrologica appare la parte di gestione degli ambienti a rischio ipotermia. Da un punto di vista progettuale l'unico suggerimento con una certa generalità di applicazione riguarda la velocità dell'aria, che è una significativa concausa di problemi di ipotermia, e che pertanto va sempre mantenuta ai livelli più bassi possibili. Il principale metodo di controllo gestionale del microclima in ambienti severi freddi è invece l'abbigliamento, che tuttavia non risulta una variabile indipendente in quanto deve comunque mantenere piena capacità operativa e quindi non ostacolare/intralcire i movimenti degli altri anche in relazione alla capacità di maneggiare piccoli oggetti. L'altro strumento di contenimento del rischio, comune agli ambienti caldi, è la definizione di un adeguato schema di lavoro. In particolare, una opportuna scelta delle quantità DLE e RT, ovvero il tempo massimo di permanenza continuativa nell'ambiente e la durata



minima della pausa (UNI EN ISO 11079) consente di abbassare notevolmente il rischio di ipotermia. La definizione di queste quantità è naturalmente condizionata alla conoscenza delle condizioni ambientali e delle caratteristiche dell'abbigliamento disponibile. In particolare è difficile reperire informazioni per i capi d'abbigliamento da utilizzare in ambienti "freschi" mentre è più facile reperire tali informazioni per i capi destinati a proteggere i lavoratori in ambienti estremamente freddi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Coordinamento tecnico per la prevenzione nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome, Microclima, Aerazione e Illuminazione nei luoghi di lavoro, Requisiti e standard - Indicazioni operative e progettuali (2006).
- [2] UNI EN ISO 7730:2006, Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale, UNI Milano 2006.
- [3] UNI EN ISO 7933:2005, Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile, UNI Milano 2005.
- [4] UNI EN ISO 11079:2008, Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione e interpretazione dello stress termico da freddo con l'utilizzo dell'isolamento termico dell'abbigliamento richiesto (IREQ) e degli effetti del raffreddamento locale, UNI Milano 2008.
- [5] 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.
- [6] Del Gaudio M., Freda D., Lenzuni P., Proposta di classificazione degli ambienti termici moderati, Atti del convegno dBA 2010, Modena, 6 - 7 ottobre 2010.
- [7] UNI EN 15251:2008, Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica, UNI Milano 2008
- [8] D'Ambrosio Alfano F.R., Palella B. I., Riccio G., The role of measurement accuracy on the thermal environment assessment by means of PMV index. *Building and Environment*, 46, 1361-1369 (2011).
- [9] UNI EN ISO 7726:2002, Ergonomia degli ambienti termici - Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche, UNI Milano 2002.
- [10] Tura P., Fontana M., Microclima in ambiente moderato, 2003-2015: il punto di 12 anni di attività ispettiva. Strumenti, metodologie e criticità legate alla caratterizzazione e valutazione dell'esposizione lavorativa, Atti del convegno dBA 2015, Modena, 27 maggio 2015.

The logo for dBA2018 features a stylized 'd' with three curved lines above it, followed by 'BA2018' in a bold, sans-serif font.

- [11] P. Tura, P. Lenzuni, P.F. Cervino Identificazione del numero minimo di misure necessarie alla valutazione del comfort termico in ambienti di grandi dimensioni. Atti del 35° Congresso AIDII, Torino 13-15 giugno 2018.
- [12] UNI EN ISO 7243:2017, Ergonomia dell'ambiente termico – valutazione delle stress termico da caldo mediante l'indice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), UNI Milano 2017.
- [13] D'Ambrosio Alfano F.R., Malchaire J., Palella B. I., Riccio G. (2014), WBGT Index Revisited After 60 Years of Use, Annals of Occupational Hygiene, 58, 955-970.
- [14] X° rapporto ISPRA 'Gli indicatori del clima in Italia nel 2014'.ISPRA 2014.
- [15] Diano M., Valentini M., Samele P., di Gesù I., Lo stress termico dei lavoratori impegnati nelle lavorazioni in serra: studio delle variabilità del rischio in funzione delle condizioni di lavoro, Atti del convegno dBA 2015, Modena, 27 maggio 2015.



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

VALUTAZIONE DELLO STRESS TERMICO PER LAVORATORI SOTTOPOSTI AD ALTI CARICHI, IN REGIME DI NON APPLICABILITÀ DELLE METODICHE WBGT E PHS

Alessandro Merlino, Gianluca Gambino, Daniele Meda, Gabriele Quadrio

CeSNIR, Villasanta (MB)

1 – INTRODUZIONE

Il presente lavoro affronta la valutazione dello stress termico di quei lavoratori che indossano abbigliamento protettivo ad alto isolamento rispetto all'ambiente esterno (ad esempio per protezione da agenti batteriologici, chimici, calore, polveri, ...) e per i quali non sono applicabili gli standard internazionali a disposizione dell'igienista (WBGT e PHS).

Il Regno Unito ha cercato di porre rimedio a questa lacuna con l'emanazione di uno standard nazionale, il BS 7963:2000 che non ha corrispettivi né ISO, né CEN. Lo standard si intitola "Guide to the assessment of heat strain in workers wearing personal protective equipment".

A livello internazionale e nazionale rimane tuttavia a disposizione la norma UNI EN ISO 9886:2004, dal titolo "Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche". Questa propone diversi metodi per l'accertamento, ma solo quello che si basa sulla valutazione della frequenza cardiaca è attuabile senza ricorrere a tecniche invasive per l'addetto.

Infine è disponibile dalla letteratura autorevole, diffusa dalle forze armate statunitensi, emessa a fronte di un'interessante e dettagliata ricerca indirizzata a valutare la temperatura interna del nucleo corporeo a partire dalla lettura continua delle pulsazioni cardiache, con un metodo alternativo e più pratico, rispetto a quello proposto dalla ISO 9886.

In questo lavoro gli scriventi propongono una disamina di tutti questi metodi.

2 – INQUADRAMENTO DEL FENOMENO

Le persone esposte al caldo subiscono uno stress termico che può incidere sulla loro salute, comfort e sulle loro prestazioni. Lo stress termico può inoltre condurre alla morte. Quando il tempo meteorologico diventa molto caldo, specialmente se inusitatamente caldo, il numero di decessi può crescere in modo considerevole, soprattutto tra i soggetti più vulnerabili. Si può dire che nel contesto occupazionale l'esposizione al calore sia molto meglio governata che in quello del pubblico generico. A titolo di esempio, si consideri che nell'estate 2003 l'Europa fu colpita da una massiccia ondata di caldo, fenomeno che fu eccezionale sia per la durata che per l'intensità e nella sola città di Parigi morirono 14000 persone a causa di questo (in Italia i morti arrivarono complessivamente a circa 18000).

Un altro contesto dove si sono registrate numerose morti tra la popolazione generica è quello delle maratone (se ne corrono circa 500 ogni anno, in tutto il mondo), dove temperature dell'aria di 20 °C possono essere già critiche e 30 °C si devono considerare proibitivi¹.

Nel contesto occupazionale è condivisa l'opinione che ci siano 2 lavoratori su 1000 a rischio a causa di questo agente. Un fattore discriminante è l'abitudine al calore; è infatti stato spesso riscontrato come i maggiori problemi interessino coloro che non sono abituati né fisicamente, né psicologicamente ad affrontare il caldo. Un altro elemento chiave è la sottovalutazione del rischio, spesso percepito minore di quello reale, talvolta aggravato da un'eccessiva responsabilizzazione al dovere e/o motivazione allo svolgimento del proprio compito. Si pensi a coloro che fanno parte di gruppi di pronto intervento e che spesso indossano abbigliamento protettivo di tipo CBRNE (Chemical Biological Radiological Nuclear and Explosive) come sanitari, vigili del fuoco, militari.

Si consideri che, come riportato in letteratura, nonostante i numerosi pericoli sul piano antincendio, la principale causa di decessi sul campo, tra i vigili del fuoco negli Stati Uniti è la morte per arresto cardiaco (50% dei decessi totali).

Condizioni di alto rischio possono verificarsi anche nell'industria siderurgica, in quella della panificazione, in quella automobilistica, dell'estrazione del petrolio, a bordo di imbarcazioni e navi.

¹ Per un atleta che indossa un normale kit da corridore un indice di WBGT pari a 28 °C rappresenta un rischio molto alto, compreso tra 23 °C e 28 °C un rischio alto, compreso tra 18 °C e 23 °C moderato e inferiore a 18 °C basso.

3 – FISILOGIA DELLA RISPOSTA AL CALORE

Nelle condizioni di stress da calore, la temperatura del corpo può crescere. Questo controllo è affidato all'ipotalamo che, attraverso i recettori sensibili ai cambiamenti di temperatura presenti nella cute, nei muscoli, nello stomaco e in altre aree del sistema nervoso centrale, riceve informazioni sui cambiamenti di temperatura nei diversi distretti corporei. Contestualmente è anche monitorato il rapporto tra gli ioni di sodio e di calcio. Quando l'ipotalamo rileva che alcune di queste temperature si trovano sopra i livelli desiderati, determina un aumento del flusso sanguigno nei distretti interessati, attraverso il sistema nervoso simpatico che provvede a dilatare il letto vascolare cutaneo e a incrementare il flusso di sangue alla pelle; se questa prima azione non è sufficiente a contrastare l'innalzamento della temperatura, è attivato anche il meccanismo della sudorazione. Il flusso sanguigno derivato dall'attività cardiaca, viene modulato dal sistema nervoso ed endocrino ai diversi organi, in funzione della loro necessità energetiche.

Durante l'attività fisica avviene un'iniziale vasocostrizione simpatica finalizzata ad inviare il sangue ai muscoli che sono stati attivati; tuttavia, al fine di disperdere calore, il volume di sangue disponibile per le funzioni organiche diminuisce a causa della vasodilatazione cutanea; la gittata sistolica diminuisce e la frequenza cardiaca, di conseguenza, deve aumentare per mantenere costante la gittata.

In questa situazione il sangue non provvede quindi solo all'apporto di ossigeno ai muscoli, ma agisce anche come fluido di raffreddamento. In condizioni di stress termico la frequenza cardiaca aumenta per mantenere la stessa portata cardiaca e i meccanismi di termoregolazione possono prevalere su quelli di ossigenazione dei muscoli (in questo caso si parla di deriva termica del battito cardiaco).

Anche il volume circolatorio efficace diminuisce, man mano che l'acqua viene persa attraverso la sudorazione.

Le ghiandole sudoripare sono stimolate dai nervi simpatici colinergici e secernono il sudore sulla superficie della pelle. Tassi di sudore dell'ordine di 1 litro/ora sono comuni e sono dissipati 675 W di calore per ogni litro evaporato.

Durante la sudorazione sono anche persi circa 4 g/litro di sale (1 g/litro per i soggetti acclimatati). Difficilmente sono però necessarie integrazioni saline, considerato che una normale dieta fornisce 8-14 g di sale al giorno. Con la sudorazione viene perso anche il potassio che sarà anch'esso ripristinato con la normale alimentazione (meglio se arricchita di cibi di origine vegetale).

La risposta fisiologica complessiva per il continuo accumulo di calore è quindi quella di attivare la vasodilatazione per aumentare la temperatura cutanea e la sudorazione per disperdere calore attraverso l'evaporazione dello stesso sudore in aria (l'eventuale gocciolamento di un po' di sudore è invece inefficace a questo scopo e per di più rappresenta un'importante perdita d'acqua).

Quando l'organismo è esposto al calore elevato in ambiente umido, la temperatura corporea continua ad aumentare nonostante l'abbondante sudorazione e in tali condizioni si può verificare una riduzione della sudorazione per blocco delle ghiandole sudoripare (hidromeyios). La diminuzione della sudorazione procura un ulteriore e rapido aumento della temperatura del nucleo. All'aumentare del surriscaldamento corporeo si possono avere i seguenti effetti sanitari: alterazioni cutanee, edema da calore, collasso cardiocircolatorio (per temperature rettali superiori a 39 °C), colpo di calore (temperature rettali dell'ordine dei 41 °C), alterazioni cerebrali, morte.

In sede NIOSH si ritiene che la temperatura del nucleo corporeo (core temperature), possa arrivare anche sino a 39°C in condizioni controllate. Non è infatti scontato che un lavoratore subisca effetti avversi sulla propria salute al raggiungimento di 38°C o anche 39°C di temperatura interna. Tuttavia, tenuto conto dei possibili errori di rilevazione nella valutazione di stress termico, è necessario che il limite adottato comprenda un opportuno margine di sicurezza ed è per questo motivo che viene universalmente assunto pari a 38°C.

Bisogna infine considerare che vi sono importanti fattori individuali, nella vulnerabilità al calore, tra cui: età, genere, grasso corporeo, droghe (alcol incluso).

Di fatto c'è una grande variabilità individuale nei meccanismi di risposta al calore e questi non sono ancora stati pienamente compresi.

4 – GLI EFFETTI DELL'ABBIGLIAMENTO PROTETTIVO (DPI) SULLO STRES TERMICO

Anche se i DPI dovrebbero essere considerati l'ultima risorsa nell'attuazione delle misure di riduzione dei rischi, sono spesso utilizzati come prima in quanto risultano più economici rispetto all'introduzione di misure tecniche da attuarsi sulla sorgente e/o sull'ambiente di lavoro. Ciò è dovuto anche al fatto che si tende a considerare che le prestazioni dei lavoratori siano poco influenzate da un ambiente di lavoro sfavorevole.

Tuttavia l'abbigliamento protettivo ha evidentemente un impatto diretto sulla capacità del corpo di disperdere calore.

Innanzitutto inibisce l'evaporazione dalla pelle, a causa di un microclima umido che si crea tra pelle ed abbigliamento, diminuendo così l'effetto di raffreddamento di questo meccanismo.

Inoltre incide sulla capacità del sistema di termoregolazione di trasferire calore dal nucleo corporeo alla cute; questo trasferimento, attuato dalla circolazione sanguigna, è infatti influenzato dalla differenza di temperatura esistente tra cute e nucleo e se le due convergono, come può avvenire se il lavoratore indossa un abbigliamento protettivo, la quantità di calore trasferibile alla pelle diminuisce. Questo comporta un isolamento termico del

soggetto, con conseguente aumento della temperatura del nucleo (affinché il sangue possa cedere calore alla cute, questa dev'essere mantenuta almeno 1 °C più in basso della temperatura del nucleo). Si ha inoltre la conseguenza che al cuore è imposta una più alta frequenza cardiaca, nel tentativo di mantenere inalterata la gittata, mentre il volume di sangue pompato diminuisce ad ogni battito. Al raggiungimento della medesima temperatura da parte di nucleo e pelle, diventa molto probabile il collasso cardiaco e questo si può quindi verificare anche per temperature non altissime (inferiori a 39°C ad esempio). Di qui l'importanza di considerare correttamente gli effetti dell'abbigliamento protettivo nelle valutazioni di stress termico.

L'abbigliamento protettivo, così come eventuali altri DPI (respiratori ad esempio), incide anche sul tasso metabolico, innalzandolo con conseguente aumento del calore interno correlato al metabolismo.

Un elenco degli effetti dei DPI, indossati a protezione dagli agenti fisici, chimici, biologici e termici, sul bilancio termico umano è il seguente:

- il tasso metabolico può subire un aumento a causa del peso dei DPI o a causa delle limitazioni al movimento imposte al lavoratore da questi stessi dispositivi;
- gli scambi termici che avvengono con la respirazione per convezione ed evaporazione possono essere influenzati da dispositivi a protezione della respirazione come maschere filtranti o apparati di respirazione;
- gli scambi termici che avvengono per convezione attraverso la cute sono influenzati dalla porzione di corpo coperta e dal grado di isolamento termico fornito dall'abbigliamento;
- gli scambi termici che avvengono sempre dalla cute, ma per evaporazione, sono influenzati dai medesimi fattori di cui al punto sopra ed anche dalla permeabilità al vapore degli indumenti. A proposito di questo punto si tenga conto che l'evaporazione del sudore dalla cute è generalmente il più efficace metodo di raffreddamento del corpo.
- Infine i DPI possono incidere sulle quantità di calore scambiate attraverso la cute per conduzione e irraggiamento.

Tra questi effetti, quelli che maggiormente incidono sullo stress termico sono quello dell'aumento del tasso metabolico e quello della diminuzione del tasso di evaporazione del sudore. Gli altri si possono considerare secondari rispetto a questi due.

Rimaniamo intorno agli effetti dell'abbigliamento sugli scambi di calore tra soggetto e ambiente. Si consideri che queste sono riconducibili a due meccanismi, l'isolamento termico e la resistenza all'evaporazione.

L'isolamento termico dell'abbigliamento, individuato dal parametro I_{cl} , misurato in clo, influenza gli scambi termici che avvengono attraverso la pelle, di tipo non evaporativo, ovvero quelli convettivi, radiativi e conduttivi. Com'è noto, l'isolamento termico complessivo dei capi di abbigliamento indossati dal lavoratore, si può determinare a mezzo dei dati e delle

procedure reperibili nella norma tecnica UNI EN ISO 9920:2009 “Ergonomia dell’ambiente termico - Valutazione dell’isolamento termico e della resistenza evaporativa dell’abbigliamento”.

Tuttavia l’abbigliamento incide sugli scambi termici anche attraverso la propria resistenza all’evaporazione. Quando questa è elevata (come nel caso di indumenti impermeabili) accade che l’evaporazione del sudore può avvenire solo nell’aria compresa tra la superficie della pelle e la superficie interna dello strato dell’abbigliamento a più alta resistenza all’evaporazione. Quando il soggetto inizia a sudare, quest’aria si satura di vapore acqueo e l’unico modo di disperdere calore rimane quello per convezione e irraggiamento dalla superficie esterna dell’abbigliamento; la quota di calore così dispersa, è tuttavia di molto inferiore a quella che sarebbe stata ceduta attraverso l’evaporazione del sudore all’esterno.

Un altro fattore che incide in modo importante sugli scambi termici, è il grado di aderenza dell’abbigliamento stesso al corpo. Quando gli indumenti non sono fascianti, l’aria può transitare dall’esterno al loro interno e viceversa, pompata dentro e fuori dagli stessi movimenti del soggetto (si parla di “pumping effect”). La capacità di raffreddamento riconducibile a questo meccanismo varia notevolmente e dipende dalla quantità di aria scambiata e dalle temperature del microclima interno all’abbigliamento e del microclima esterno. Tranne che nel caso dei metabolismi più leggeri (inferiori a 100 Wm^{-2}) il “pumping effect” può incidere sull’isolamento termico dell’abbigliamento riducendolo di circa il 20% rispetto al suo valore statico (nominale). Di questo è pertanto necessario tenere conto nei casi in cui l’addetto indossi un abbigliamento avvolgente, se non incapsulante o anche solo quando indossi dei DPI che lo comprimono (imbracature, ginocchiere, ...).

5 – VALUTAZIONE DELLO STRESS DA CALDO A PARTIRE DALL’AMBIENTE TERMICO

Sono due i metodi definiti a livello internazionale e recepiti anche in Italia per l’accertamento dei rischi connessi con lo stress termico da caldo a partire dalla caratterizzazione dell’ambiente termico.

Ricordiamo che l’ambiente termico è completamente descritto quando sono note le quattro variabili ambientali t_a , v_a , UR e t_g e le due variabili riferite al soggetto I_{cl} ed M^2 .

I due metodi di valutazione sono i seguenti:

- il metodo basato sull’indice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) e illustrato nella norma tecnica UNI EN ISO 7243:2017;

² t_a : temperatura dell’aria (°C); v_a : velocità dell’aria (m/s); UR: umidità dell’aria (%); t_g : temperatura di globotermometro (°C); I_{cl} : isolamento termico dell’abbigliamento (clo); M: metabolismo (met)

- il metodo denominato PHS (Predicted Heat Strain), basato sui descrittori t_{re} (temperatura rettale) e D (quantità di liquidi persi durante l'esposizione) e illustrato nella norma tecnica UNI EN ISO 7933:2005

In termini gerarchici, il metodo WBGT dev'essere considerato di screening ed alla portata anche di valutatori non esperti; se i livelli di riferimento del metodo WBGT sono superati, dovrebbe essere adottato il metodo PHS con un accertamento condotto da parte di persona esperta.

5.1 – WBGT

WBGT è un indice elaborato su base empirica durante gli anni '50 dall'esercito americano come parte di un programma applicato per ridurre le vittime dello stress da calore nella Marina degli Stati Uniti. Il metodo è stato elaborato con l'intento che potesse essere facilmente utilizzato in un ambiente industriale, consentendo una diagnosi rapida.

Una conseguenza di questo compromesso tra facilità d'uso e accuratezza, è che il metodo risulta applicabile alla valutazione dell'effetto medio del calore durante il periodo di attività del lavoratore, ma non consente di valutare lo stress derivante da esposizioni al caldo per brevi periodi. Inoltre, nella sua versione originale (rimasta in vigore sino al novembre 2017), non consentiva di stimare l'effetto dell'abbigliamento protettivo o altri DPI.

Pertanto, l'indice WBGT dovrebbe essere utilizzato per valutare se esista o meno il problema, accertando se i valori di riferimento vengono superati. In tal caso, è bene ricorrere a standard più avanzati per fornire una stima più accurata del grado di stress.

Il metodo prevede la misurazione delle seguenti grandezze termoigrometriche:

- temperatura dell'aria a bulbo umido a ventilazione naturale (t_{nw});
- temperatura di globotermometro (t_g);
- temperatura dell'aria (a bulbo secco) solo in caso di irraggiamento solare (t_a).

Il risultato è espresso mediante un indicatore che combina le due grandezze di cui sopra (tre in caso di irraggiamento) tramite la seguente somma pesata:

$$\text{WBGT} = 0.7 t_{nw} + 0.3 t_g \text{ (in assenza di irraggiamento solare)}$$

$$\text{WBGT} = 0.7 t_{nw} + 0.2 t_g + 0.1 t_a \text{ (in presenza di irraggiamento solare)}$$

Come si nota, la maggior importanza è data alla temperatura di bulbo umido e la sua miglior risposta è restituita quando si prendono in considerazione soggetti poco coperti e con indumenti ad alta permeabilità al vapore.

Il principio del metodo si basa sull'assunzione che gli scambi di calore tra questo tipo di strumento e l'ambiente, replicano quelli dell'essere umano e che pertanto l'impatto dello stress termico sulla persona sia direttamente correlabile con le letture della strumentazione. Questo naturalmente è vero

solo in parte e dipende dallo specifico contesto (grado di umidità, ventilazione dell'aria, vestizione della persona, permeabilità al vapore dell'abbigliamento, ...).

5.2 – PHS

Un approccio alternativo per evitare le limitazioni di cui sopra è quello di calcolare effettivamente lo scambio di calore tra una persona e l'ambiente, utilizzando i sei parametri di base che definiscono le condizioni climatiche e personali: temperatura dell'aria ambiente, temperatura radiante, umidità e velocità dell'aria, abbigliamento e tasso metabolico del soggetto.

Un considerevole vantaggio di questo secondo metodo è quello che consente di ottenere una previsione dello stato di sollecitazione del lavoratore in ogni momento della sua esposizione, consentendo in questo modo all'igienista industriale di valutare la durata dell'esposizione sicura e quella dei periodi di recupero. Per questi scopi è importante che il valore dell'indice in un dato istante tenga conto delle esposizioni passate e dei tempi di risposta delle variabili fisiologiche considerate.

Questo metodo, diventato uno standard in Italia nel 2005 con l'emissione della norma UNI EN ISO 7933:2005 *Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile*, perfezionava e arricchiva un metodo esistente in Italia dal 1999 basato sul calcolo della sudorazione richiesta per mantenere l'equilibrio termico³, migliorandone la procedura di calcolo ed aggiungendo in output la previsione della massima temperatura raggiunta dal nucleo corporeo.

Rispetto al primo modello, lo standard 2005 risulta anche molto più adatto a valutare le esposizioni di breve periodo grazie all'introduzione del calcolo esponenziale per i valori medi della temperatura della cute e del tasso di sudorazione, definite le loro costanti di tempo. Questo consente di tenere conto dell'inerzia che questi parametri fisiologici oppongono alle variazioni repentine. Nella versione precedente, ogni nuovo stato fisiologico era invece raggiunto istantaneamente, cosa di poco conto per esposizioni di lungo periodo, ma che risulta invece inadeguata per valutare esposizioni intermittenti e cicli lavoro-riposo.

Prove comparative tra il metodo PHS e il metodo WBGT confermano il secondo quale metodo esclusivamente di screening, da utilizzare pertanto non più che per stabilire se via sia un problema di stress termico o meno. Il metodo PHS si può considerare invece un metodo di analisi a mezzo del quale l'entità del rischio può essere ben correlata con un indice numerico,

³ UNI EN 12515:1999 "Ambienti caldi - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico mediante calcolo della sudorazione richiesta"

sufficientemente affidabile per studiare una riorganizzazione del lavoro che consenta di riportare l'esposizione entro livelli di sicurezza. Questo, naturalmente, se si agisce entro gli intervalli di applicabilità del metodo, che sono riportati in tabella 1.

Grandezza	Simbolo	Intervallo di validità
temperatura dell'aria, °C	t_a	+ 15 ÷ +50
differenza tra t_a e t_r , °C	$t_r - t_a$	0 ÷ +60
pressione parziale del vapore acqueo, kPa	p_a	0 ÷ 4,5
velocità dell'aria, m/s	v_a	0 ÷ 3
attività metabolica, W	M	100 ÷ 450
isolamento termico del vestiario, clo	I_{cl}	0,1 ÷ 1

Tabella 1: Intervalli di validità del metodo PHS (UNI EN ISO 7933:2005)

5.3 – BS 7963:2000

I due metodi illustrati sopra, WBGT e PHS, sono gli unici elaborati a livello internazionale per una valutazione oggettiva dello stress termico da caldo riferita a gruppi di lavoratori. In entrambi i casi si assume che l'abbigliamento sia tale da garantire l'efficacia di tutti i meccanismi di scambio termico tra uomo e ambiente presi in considerazione nel metodo. Si ricorda inoltre che il primo metodo (WBGT) ha valore di screening e non può essere utilizzato nei casi ad alto livello di rischio, mentre il secondo ha valore di approfondimento ma l'intervallo di applicabilità ne limita l'impiego ai casi in cui l'isolamento termico dell'abbigliamento non supera 1 clo (cfr. tabella 1). Entrambi sono infatti studiati per quei lavoratori che svolgono compiti al caldo, ma che non devono utilizzare abbigliamento protettivo.

L'unico standard che affronta il caso di lavoratori esposti ad alti carichi termici e che devono indossare abbigliamento speciali a protezione di altri tipi di rischio (ad esempio polveri, agenti chimici, agenti microbiologici, taglio e lo stesso irraggiamento di calore) è quello emesso nello Regno Unito, denominato BS 7963:2000 dal titolo "Guide to the assessment of heat strain in workers wearing personal protective equipment".

Questo standard non definisce un nuovo indice di esposizione, ma propone dei metodi per correggere le procedure definite dai metodi esistenti⁴ (WBGT

⁴ Per la precisione i metodi esistenti cui si fa riferimento sono:

- EN 12515:1997, recepita in Italia con la UNI EN 12515:1999 "Ambienti caldi - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico mediante calcolo

e PHS) per ottenere una possibile valutazione degli effetti dello stress termico da caldo anche per i lavoratori che devono indossare abbigliamento protettivo o altri DPI che possono incidere sull'ambiente termico personale.

Come anticipato più sopra, uno degli effetti dei DPI (incluso l'abbigliamento protettivo) sul bilancio termico del soggetto, è quello di aumentare il tasso metabolico che, secondo la BS 7963, dev'essere quindi riconsiderato quando il lavoratore indossa un abbigliamento diverso da quello *standard*⁵, correggendolo con i valori forniti alla tabella 3.2 della norma stessa (cfr. Tabella 2 in questo documento).

Lo standard britannico propone quindi una metodologia di lavoro per poter utilizzare i due metodi esistenti, WBGT e PHS, anche ai casi di lavoratori che indossano abbigliamento protettivo e per i quali le due metodiche normate a livello internazionale risultano inapplicabili. Illustriamo questa metodologia di seguito, per entrambi i casi (WBGT e PHS) per quanto sia parere degli scriventi che un indice di screening come il WBGT non dovrebbe nemmeno essere preso in considerazione per esaminare casi ad alta criticità.

-
- della sudorazione richiesta”, sostituita nel 2005 dalla UNI EN ISO 7933:2005 “Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile
- EN 27243:1993, recepita in Italia con la UNI EN 27243:1996 “Ambienti caldi. Valutazione dello stress termico per l'uomo negli ambienti di lavoro, basata sull'indice WBGT (temperatura a bulbo umido e del globotermometro)”, sostituita nel 1997 dalla UNI EN ISO 7243:2017 “Ergonomia degli ambienti termici – Valutazione dello stress da calore utilizzando l'indice WBGT (temperatura globo del bulbo bagnato)”

Ad ogni modo le correzioni proposte dalla BS 7963 si applicano quasi identicamente anche alle più recenti revisioni delle norme citate nello standard UK e nel seguito di questo lavoro è illustrato come fare.

⁵ Con abbigliamento da lavoro standard si intende un insieme di capi leggeri, in termini di isolamento termico, e permeabili all'aria e al vapore: indice di isolamento termico (I_{cl}) pari a 0.6 e indice di permeabilità (i_m) pari a 0.38 (cfr UNI EN ISO 7243:2017).

PPE item	Increase in metabolic rate due to wearing PPE (W·m ⁻²)				
	Resting	Low metabolic rate	Moderate metabolic rate	High metabolic rate	Very high metabolic rate
Safety shoes/shorts boots	0	5	10	15	20
Safety boots (long)	0	10	20	30	40
Respirator (low/moderate performance, e.g. P1, P2, see note 2)	5	10	20	30	40
Respirator (high performance, e.g. P3, see note 2)	5	20	40	60	80
Self-contained breathing apparatus	10	30	60	95	125
Light, water vapour permeable chemical coverall (e.g. disposable)	5	10	20	30	40
Chemical protective water vapour impermeable ensemble [e.g. polyvinyl chloride (PVC)] with hood, gloves and boots	10	25	40	80	100
Highly insulating, water vapour semi-permeable ensemble (e.g. firefighters' gear consisting of helmet, tunic, over trousers, gloves and boots)	15	35	60	115	155
NOTE 1 Values have been rounded to the nearest 5 Wm ²					
NOTE 2 Respirator classifications P1, P2 and P3 are defined in BS EN 1423:1991.					
NOTE 3 Very high metabolic rates probably cannot be maintained when wearing some forms of PPE.					
NOTE 4 It is not appropriate to add the increase in metabolic rate due to wearing footwear when tasks are stationary or sedentary.					
NOTE 5 The values in this table have been extrapolated from experimental data. The values are approximate and more accurate measurements might be obtained in practice using the method given in BS EN 28996. This more accurate method of measuring metabolic rate requires no correction for the PPE worn.					
NOTE 6 See also notes 1 and 2 to Table 1.					

Tabella 2: Estimated increases in metabolic rate due to wearing PPE

5.3.1 – Revisione della procedura WBGT secondo BS 7963

Per quel che concerne la metodica WBGT, lo standard britannico indica innanzitutto di determinare il tasso metabolico tenendo in considerazione le correzioni dovute ai DPI e all'abbigliamento protettivo. A questo scopo si deve ricorrere alla tabella 3.2 dello standard e che noi abbiamo riportato come tabella 2 in questo lavoro.

Infine indica di modificare il valore ottenuto dell'indice WBGT, sommandovi dei fattori correttivi che consentono di tenere conto degli effetti dell'abbigliamento protettivo rispetto a quello standard previsto dalla norma. Tali fattori sono proposti nella tabella A.1, riproposizione di un'indicazione di ACGIH del 1990. A questo proposito si deve tenere conto che la revisione 2017 della metodica WBGT ha fatto propria l'idea di correggere l'indice nei casi in cui l'abbigliamento indossato dal lavoratore risulta differente dall'“ordinario abbigliamento da lavoro”, soprattutto per quel che concerne la permeabilità al vapore. I termini correttivi sono detti CAV (clothing adjustment value). L'indice che se ne ricava è indicato come $WBGT_{eff}$.

$$WBGT_{eff} = WBGT + CAV$$

I possibili valori di CAV sono forniti all'appendice F e li riportiamo anche in questo lavoro alla tabella 3.

Ensemble	Comment	CAV [°C- WBGT]
Work clothes	Work clothes made from a woven fabric is the reference ensemble.	0
Cloth coveralls	Woven fabric that includes treated cotton.	0
Non-woven SMS coveralls as a single layer	A non—proprietary process to make non-woven fabrics from polypropylene.	0
Non-woven polyolefin Coveralls as single layer	A proprietary fabric made from polyethylene.	2
Vapour-barrier apron with long sleeves and long length over cloth coveralls	The wrap-around apron configuration was designed to protect the front and sides of the body against spills from chemical agents.	4
Double layer of woven clothing	Generally taken to be coveralls over work clothes.	3
Vapour-barrier coveralls as a single layer, without hood	The real effect depends on the level of humidity and in many cases the effect is less.	10
Vapour-barrier coveralls with hood as a single layer	The real effect depends on the level of humidity and in many cases the effect is less.	11
Vapour-barrier over cloth coveralls, without hood	--	12
Hood ^a	Wearing a hood of any fabric with any Clothing ensemble.	+1
<p>The CAVs are added to the measured WBGT to obtain $WBGT_{eff}$ NOTE For high vapour resistance clothing there is a dependence on relative humidity. The CAVs represent the likely high value. ^a This value is added to the CAV of the ensemble without hood or respirator.</p>		

Tabella 3: WBGT CAVs for different clothing ensembles, in °C-WBGT (UNI EN ISO 7243:2017, table F.1)

5.3.2 – Revisione della procedura PHS secondo BS 7963

Considerato il maggior dettaglio del metodo PHS rispetto al metodo WBGT, anche gli aggiustamenti apportabili per ottenere risultati più affidabili nel caso di operatori che indossano abbigliamento protettivo, sono più articolati.

- a) Innanzitutto occorre determinare l'impatto dei DPI, abbigliamento incluso, sul tasso metabolico. A questo scopo si deve ricorrere nuovamente alla tabella 3.2 della BS 7963 (tabella che noi abbiamo riportato come tabella 2 in questo lavoro).
- b) Quindi sarà necessario valutare se l'isolamento termico dell'abbigliamento sia effettivamente da correggere per tenere conto degli effetti dinamici. La procedura PHS prevede di applicare questa correzione comunque, calcolando il parametro $I_{cl\ dyn}$, individuato dalla variabile $I_{cl\ dyn}$ nel codice Basic del programma di cui all'appendice E della UNI EN ISO 7933:2005. Se l'abbigliamento indossato è attillato o addirittura completamente incapsulante, andrebbe impedita questa correzione imponendo che il parametro $I_{cl\ dyn}$ assuma lo stesso valore del parametro I_{cl} , ammesso che sia fattibile con i tool software che si hanno a disposizione.

Nel caso si utilizzi un tool commerciale sarà difficilmente attuabile una correzione del genere. Uno stratagemma molto approssimato potrebbe essere quello di inserire come isolamento termico di base (quindi statico) il valore reale aumentato del 20-30%.

- c) Sempre con riferimento all'abbigliamento, nel caso in cui questo abbia un'alta resistenza all'evaporazione o, al limite, sia impermeabile, andrà tenuto conto che sarà da eliminare o comunque ridurre la quota di calore ceduta dal corpo all'ambiente per evaporazione del sudore. La BS 7963, riferendosi alla UNI EN 12515:1999 che non considerava la permeabilità al vapore degli indumenti, propone di imporre che la temperatura di bulbo umido sia pari alla temperatura di bulbo secco (occorrenza che si avrebbe se l'umidità relativa dell'aria fosse pari al 100% e pertanto nessuna evaporazione fosse possibile). Lo standard PHS include invece in input l'indice di permeabilità al vapore dell'abbigliamento (pari a 0.38 per il così detto "abbigliamento standard"). Questo non può essere posto pari a 0 (caso di abbigliamento impermeabile e completamente incapsulante), dal momento che nei calcoli diventa un divisore, tuttavia si può porre pari a un valore basso o molto basso (0.01 per esempio). Si tenga però conto che la modificazione dell'indice di permeabilità dell'abbigliamento non è un grado di libertà previsto dalla norma perché questa non è applicabile per abbigliamento speciali e infatti suggerisce di porre quest'indice sempre pari a 0.38. Pertanto, se il tool impiegato non consente di variarlo, si può pensare di agire sulla pressione parziale del vapor d'acqua p_a , dato senz'altro presente tra quelli richiesti in input. Per

annullare gli effetti della cessione di calore per evaporazione del sudore, basta porre p_a pari al valore della pressione di vapor saturo (al quale corrisponde ovviamente un'umidità relativa pari al 100%), calcolabile, per via approssimata, a partire dalla temperatura dell'aria a bulbo secco t_a^6 .

- d) Sempre per rendere conto della limitata capacità del corpo di disperdere calore per evaporazione, la norma suggerisce di imporre una velocità dell'aria non superiore a 0.1 ms^{-1} . In questo modo si riduce anche la quota di calore che sarà ceduta per convezione, considerato che questa quota è anch'essa inferiore a quella che si sarebbe avuta se l'abbigliamento fosse stato permeabile al vapore.

Si deve far osservare che gli esiti ottenuti apportando gli aggiustamenti sopra, non possono che risultare peggiori di quelli che si ottengono con l'applicazione della metodica PHS "pura". Tale sforzo è quindi inutile se una valutazione PHS ha restituito già esiti negativi, tali da indirizzare verso una valutazione compiuta mediante la misurazione dei parametri fisiologici (per esempio se si ottengono tempi limite dell'ordine dei 30 minuti o inferiori). È invece utile condurre una rivalutazione apportando gli aggiustamenti proposti dalla BS 7963 se l'esame compiuto con il metodo PHS restituisce esiti accettabili ma non di totale sicurezza (per esempio tempi limite dell'ordine dell'ora e/o inferiori alla durata del compito). In questi casi, fermarsi ad una valutazione tramite la procedura standard, può comportare pesanti sottostime se gli operatori indossano un abbigliamento con isolamento termico e resistenza all'evaporazione molto diversi da quello standard (che, ricordiamo, ha indice di isolamento termico pari a 0.6 clo e indice di permeabilità al vapore pari a 0.38).

Si illustrano di seguito due esempi di situazioni espositive analizzate secondo procedura PHS e indicazioni della norma BS 7963, al fine di verificare come le correzioni metodologiche proposte da quest'ultima possono influenzare l'esito del test.

I calcoli degli indici di stress sono stati elaborati utilizzando il tool software PHS_Modified_v2.xlsm⁷.

Si precisa che per i due casi seguenti si fa riferimento, in termini di indici di stress, unicamente a T_{re} (temperatura rettale).

Caso 1

⁶ Si veda in proposito UNI EN ISO 7726:1998, appendice D. P_{as} , pressione di vapor saturo, è calcolabile per via approssimata come $0.611 \cdot \exp(17.27 \cdot t_a / (t_a + 237.3))$

⁷ Tool liberamente scaricabile dalla pagina Internet di uno degli autori, Thomas E. Bernard, University of South Florida, College of Public Health, Tampa FL.
URL: <http://health.usf.edu/publichealth/eoh/tbernard/thermal>

Il primo caso è uno degli esempi pubblicati dalla stessa BS 7963 (appendice B, punto B.3). Si analizza l'esposizione di un addetto durante l'attività di pulizia di una nave nell'ambito dell'industria chimica.

Il lavoratore indossa specifico abbigliamento protettivo da agenti chimici (I_{cl} pari a 2.00 clo, come indicato nella tabella C.2 dello standard BS 7963) e autorespiratore. L'attività di pulizia ha una durata di 40 minuti e, sotto il profilo del metabolismo, è quantificabile in 165 W/m^2 (tasso metabolico moderato).

I parametri ambientali dell'ambiente indagato sono i seguenti:

- T_{db} pari a $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (temperatura dell'aria di bulbo secco)
- T_{pwb} pari a $13 \text{ }^\circ\text{C}$ (temperatura dell'aria di bulbo umido dello psicrometro)
- T_g pari a $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (temperatura di globotermometro), non essendoci carico radiante
- V_{air} pari a 0.1 m/s (velocità dell'aria)

A seguito dell'attività di pulizia, si ipotizza che l'addetto si tolga i capi protettivi (I_{cl} impostato pari a 0.80 clo) e compia attività più leggera (115 W/m^2) in un altro ambiente, caratterizzato da temperatura dell'aria di $20 \text{ }^\circ\text{C}$, umidità relativa pari al 50% e velocità dell'aria di 0.10 m/s .

Con tali dati, la procedura PHS restituisce i risultati riportati nella tabella 4.

Si precisa che nell'ipotesi di valutazione secondo norma 7933 (PHS) il valore dell'indice di permeabilità statica al vapore i_{mst} viene assunto pari a 0.38, come da indicazione della norma stessa (p.to D4 appendice D). Il soggetto non è acclimatato al calore.

Nelle tabelle 5 e 6 si restituiscono i risultati ottenuti avendo introdotto le correzioni proposte dallo standard BS 7963. In particolare, la differenza tra le due rielaborazioni riguarda la gestione della resistenza al vapore dei capi di abbigliamento, considerata l'impermeabilità degli indumenti indossati: in un caso si è agito sui parametri ambientali impostando il valore di umidità relativa al 100%, nell'altro invece si è adottato un livello molto basso dell'indice di permeabilità statica al vapore i_{mst} .

Si sono inoltre considerati l'impatto dei DPI sul metabolismo ($+110 \text{ W/m}^2$ sommati al metabolismo corrispondente all'attività fisica) e l'assenza degli effetti dinamici da apportare all'isolamento termico dell'abbigliamento, tenuto conto che è attillato.

In entrambi i ricalcoli le modifiche apportate alla procedura PHS conducono ad un esito diametralmente opposto rispetto a quanto emerso dall'elaborazione senza le indicazioni della norma BS 7963, facendo quindi emergere una situazione di potenziale criticità, da approfondire eventualmente con un monitoraggio dei parametri fisiologici dell'addetto.

PHS senza correzioni BS 7963	
Risultati	
$T_{re, \text{picco}}$	37.5 °C
$T_{re, \text{finale}}$	37.1 °C
$t \text{ limite}$	--

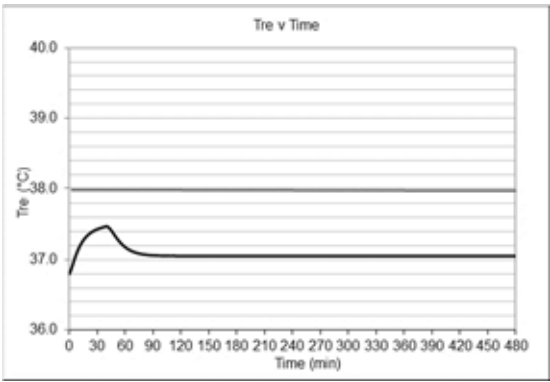


Tabella 4: Risultati della valutazione del caso 1, secondo metodologia PHS

PHS con correzioni BS 7963	
Parametri modificati secondo BS 7963	
$I_{cl} + 20\% = 2.4 \text{ clo}$ Met = 275 W/m ² (165 W/m ² + 110 W/m ²) RH = 100%	
Risultati	
$T_{re, \text{picco}}$	38.8 °C
$T_{re, \text{finale}}$	37.4 °C
$t \text{ limite}$	25 min

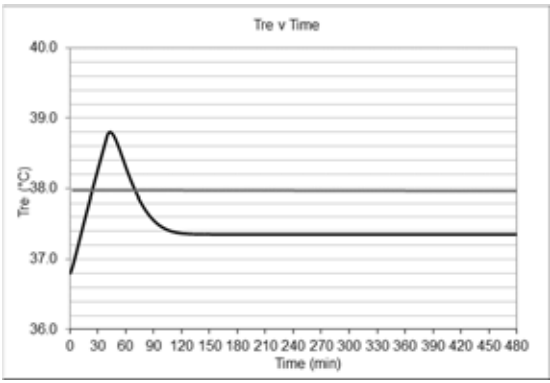


Tabella 5: Prima rivisitazione della valutazione del caso 1, secondo BS 7963

PHS con correzioni BS 7963	
Parametri modificati secondo BS 7963	
$I_{cl} + 20\% = 2.4 \text{ clo}$ $Met = 275 \text{ W/m}^2$ $(165 \text{ W/m}^2 + 110 \text{ W/m}^2)$ $i_{mst} = 0.001$	
Risultati	
$T_{re, \text{picco}}$	39.9 °C
$T_{re, \text{finale}}$	37.4 °C
t limite	18 min

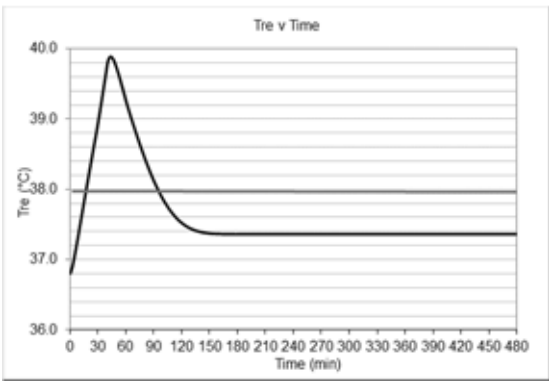


Tabella 6: Seconda rivisitazione della valutazione del caso 1, secondo BS 7963

Caso 2:

Il caso 2 fa riferimento a delle misurazioni eseguite all'interno di un'acciaieria, in cui l'addetto alterna attività nei pressi della siviera (20 min di durata) ad altre più leggere in un ambiente meno caldo (100 min).

Il valore dell'isolamento termico dell'abbigliamento del lavoratore risulta pari a 1.82 clo, desunto dalla tabella A.6 della norma UNI 9920, a cui è stato aggiunto il contributo della maschera di protezione secondo le modalità specificate nella medesima norma (il valore I_{cl} di tale DPI non viene analizzato nelle norme ed è stato stimato in 0.10 clo). Si precisa che tale insieme di capi di abbigliamento comprende anche un cappotto alluminizzato lungo sino al polpaccio.

L'attività lavorativa nei pressi della siviera viene assunta pari a 155 W/m^2 , mentre quella più leggera nell'altro ambiente pari a 115 W/m^2 .

I parametri ambientali rilevati nella postazione di lavoro nei pressi della siviera sono i seguenti:

- T_{db} pari a 49 °C (temperatura dell'aria di bulbo secco)
- T_g pari a 58 °C (temperatura di globotermometro)
- RH pari al 15% (umidità relativa dell'aria)
- V_{air} pari a 0.1 m/s (velocità dell'aria)

Completata l'attività alla siviera, l'addetto si sveste del cappotto di alluminio e della maschera (I_{cl} impostato pari a 0.75 clo) e prosegue con attività più leggera (115 W/m^2) in un ambiente con temperatura dell'aria di 27 °C, temperatura di globotermometro di 27.5 °C, umidità relativa pari al 40% e velocità dell'aria di 0.20 m/s.

Con tali dati, la procedura PHS restituisce i risultati riportati nella tabella sottostante. Si precisa che, anche in questo caso, nell'ipotesi di valutazione secondo norma 7933 (PHS) il valore dell'indice di permeabilità statica al vapore i_{mst} viene assunto pari a 0.38, come da indicazione della norma stessa (p.to D4 appendice D). Il soggetto è acclimatato al calore.

PHS senza correzioni BS 7963	
Risultati	
$T_{re, \text{picco}}$	38.3 °C
$T_{re, \text{finale}}$	37.7 °C
t limite	258 min

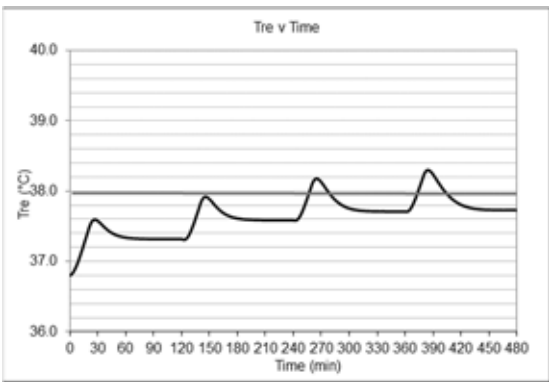


Tabella 7: Risultati della valutazione del caso 2, secondo metodologia PHS

Introducendo le correzioni dello standard BS 7963 si perviene al risultato di cui alla tabella 8.

PHS con correzioni BS 7963	
Parametri modificati secondo BS 7963	
$I_{cl} + 20\% = 2.18$ clo $Met = 195 \text{ W/m}^2$ $(155 \text{ W/m}^2 + 40 \text{ W/m}^2)$ $i_{mst} = 0.19$	
Risultati	
$T_{re, \text{picco}}$	38.9 °C
$T_{re, \text{finale}}$	37.8 °C
t limite	21 min

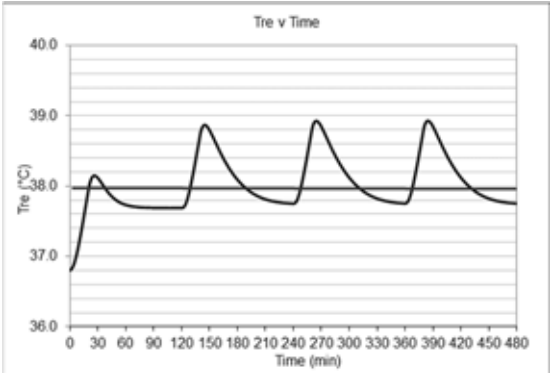


Tabella 8: Rivisitazione del caso 2, secondo metodologia BS 7963

6 – VALUTAZIONE DELLO STRESS DA CALDO MEDIANTE MISURAZIONI FISIOLGICHE

La normazione tecnica emessa a livello internazionale fornisce anche un metodo di valutazione dello stress termico a partire dalla determinazione di alcuni parametri fisiologici dell'addetto.

In questo caso si giunge ad una valutazione riferibile solo allo specifico addetto, con l'implicazione che ne va eseguita una per ognuno dei soggetti esposti, ma con il vantaggio di ottenere un esito che tiene conto delle specificità dell'addetto stesso (stazza, età, resistenza alla fatica, ...).

La norma tecnica di riferimento, in questo caso, è la UNI EN ISO 9886:2004 "Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche".



Figura 1. Esempi di compiti lavorativi ed abbigliamento protettivi di addetti nel settore siderurgico

La norma illustra i metodi per la misurazione e l'interpretazione dei seguenti parametri fisiologici:

1. temperatura del nucleo corporeo (body core temperature);
2. temperature della cute;
3. frequenza cardiaca;
4. perdita di massa corporea.

Il metodo n. 1 richiede di acquisire la temperatura in distretti interni del corpo umano, ovvero: esofago, retto, addome interno (pillola radio da ingerire), bocca, timpano, condotto uditivo esterno, urine (nel mentre della minzione).

Il metodo n. 2 prevede la misura della temperatura della cute in parti differenti del corpo e con pesi diversi. Sono proposti tre diversi schemi rispettivamente con 4, 8 e 14 diversi punti di misura (vedi tabella B.1 della norma).

Il metodo n. 3 richiede la misurazione della frequenza cardiaca; per evitare gli errori più grossolani, è raccomandato di leggere le pulsazioni dal grafico di un elettrocardiogramma.

Il metodo n. 4 prevede di valutare la perdita di massa corporea dovuta alla sudorazione.

Tenuto conto del grado di invasività e delle difficoltà metrologiche di alcune di queste pratiche, si devono considerare utilizzabili solamente in un contesto di ricerca tranne quella della misurazione della frequenza cardiaca, sfruttabile anche sul campo. Questa è pertanto l'unica ad essere illustrata nel seguito.

La frequenza cardiaca HR, espressa solitamente in battiti/minuto, può essere considerata somma di diversi contributi:

$$HR = HR_0 + \Delta HR_M + \Delta HR_S + \Delta HR_T + \Delta HR_N + \Delta HR_e$$

dove

HR₀: frequenza cardiaca media del soggetto a riposo, seduto, in condizioni di neutralità termica

ΔHR_M: incremento connesso con il lavoro muscolare dinamico

ΔHR_S: incremento connesso con il lavoro muscolare statico

ΔHR_T: incremento dovuto allo stress termico cui è sottoposto il soggetto

ΔHR_N: incremento correlato con fattori psicologici

ΔHR_e: incremento residuo correlato al ritmo della respirazione, ritmo circadiano, ...

Nel contesto lavorativo la componente termica ΔHR_T può essere determinata solo se è stata misurata precedentemente la frequenza cardiaca a riposo HR_0 e se la prima può essere isolata dalle componenti correlate con gli sforzi muscolari statici e dinamici. Quest'ultima operazione è possibile grazie al fatto che le componenti ΔHR dovute agli sforzi muscolari si azzerano piuttosto rapidamente una volta che lo sforzo è concluso, mentre la componente dovuta all'innalzamento della temperatura del nucleo decresce molto più lentamente. Per la determinazione di ΔHR_T l'attività fisica del lavoratore deve essere fermata nel momento in cui è ragionevole attendersi che sia massima la temperatura interna, per poi procedere con una lettura in continuo della frequenza cardiaca, in una condizione di riposo e termicamente non sollecitante per il lavoratore stesso. L'andamento della frequenza cardiaca HR risulterà decrescente, mostrando un cambio di pendenza dopo un determinato tempo di recupero, entro il quale si annullano i termini ΔHR_M e ΔHR_S . Trascurando i termini ΔHR_N e ΔHR_e , il termine ΔHR_T connesso all'innalzamento termico del nucleo corporeo sarà quindi dato dalla:

$$\Delta HR_T = HR(t_{\text{recupero}}) - HR_0$$

Il tempo di recupero di HR rispetto alle componenti connesse con gli sforzi muscolari è di circa 3-4 minuti. È possibile tuttavia individuare il momento in cui si annullano le componenti ΔHR dovute agli sforzi muscolari, mediante uno studio grafico di HR in funzione del tempo, a patto di essere in grado di acquisire il valore della frequenza cardiaca HR istante per istante, con continuità, durante la fase di recupero.

6.1 – LIMITI

La norma 9886, all'appendice C, illustra i limiti applicabili per ognuno dei metodi illustrati. Viene premesso che si tratta di limiti stabiliti prendendo in considerazione i rischi per la salute a cui può andare incontro un soggetto adulto, fisicamente in forma e in buono stato di salute. Viene inoltre specificato che si tratta di limiti che sono consistenti con quelli adottati dalla norma ISO 7933 (PHS) nella quale, per la temperatura del nucleo è assunto il limite di 38 °C e per la perdita di liquidi il 5% della massa corporea (3% in caso di mancato accesso a fonti di idratazione per il lavoratore).

6.1.1 – LIMITE SULLA TEMPERATURA DEL NUCLEO t_{cr}

Considerato che questo lavoro si appoggia anche a delle valutazioni della temperatura del nucleo (come illustrato più avanti), presentiamo anche i limiti che la norma 9886 pone per la temperatura del nucleo corporeo, t_{cr} . Questi sono organizzati su tre livelli differenti.

- 1) Il valore raggiunto per primo tra l'incremento 1 °C della temperatura interna e il valore assoluto di 38 °C, nei seguenti casi
 - a. se t_{cr} è misurata in modo intermittente, indipendentemente dalla tecnica utilizzata;
 - b. se si è utilizzata la temperatura del condotto uditivo esterno o quella del timpano, a causa del fatto che non può avere garanzia del costante posizionamento corretto del trasduttore;
 - c. in assenza del personale medico;
 - d. quando non sono misurati altri parametri fisiologici.
 Se l'accumulo di calore avviene rapidamente, in ragione di un incremento di circa 1 °C in meno di 1 ora), si applicano i medesimi limiti anche quando la temperatura del nucleo è dedotta da quella rettale o intraddominale.
- 2) In altre condizioni e in particolare quando la temperatura esofagea e la frequenza cardiaca vengono monitorate continuamente, possono essere tollerati limiti più elevati, ovvero quello raggiunto prima tra l'incremento di 1.4 °C nella temperatura del nucleo e il valore assoluto di 38.5 °C
- 3) Infine possono essere tollerate temperature ancora più elevate, ma non superiori a 39 °C, in queste condizioni:
 - a. i soggetti sono stati sottoposti a screening medico;
 - b. si tratta di soggetti acclimatati al caldo a fronte di successive esposizioni in quell'ambiente e in particolare a quel compito lavorativo;
 - c. è garantita una sorveglianza medica continua ed eventuali ausili di emergenza;
 - d. la temperatura esofagea è monitorata continuamente;
 - e. sono monitorati simultaneamente altri parametri fisiologici e, in particolare, la frequenza cardiaca;
 - f. l'esposizione può essere interrotta nel momento in cui dovessero insorgere sintomi di intolleranza, come sensazioni di esaurimento, vertigini o nausea;
 - g. il lavoratore è autorizzato a lasciare la situazione lavorativa a sua discrezione.

6.1.2 – LIMITE SULLA COMPONENTE TERMICA DEL BATTITO CARDIACO ΔHR_T

L'incremento della frequenza cardiaca, dovuta alla sollecitazione termica dell'organismo e individuata dal termine ΔHR_T , è mediamente pari a 33 battiti/min per ogni grado centigrado in più della temperatura del nucleo corporeo. Bisogna tuttavia tener conto che la reattività cardiaca agli effetti termici varia notevolmente da soggetto a soggetto e pertanto, nel caso in cui la frequenza cardiaca sia l'unico parametro monitorato, è in prima istanza

ragionevole porre come valore limite per la componente ΔHR_T , proprio quello di 33 battiti/min. Nei casi in cui lo stress termico sembra molto alto è tuttavia importante avere anche una stima della stessa temperatura del nucleo, t_{cr} , e il sistema utilizzato dovrebbe consentire un monitoraggio in tempo reale della frequenza cardiaca HR nel corso dell'esposizione. Quest'ultima, sul posto di lavoro, non dovrebbe superare il limite HR_L , determinato come il massimo valore riferito al singolo soggetto, ridotto di circa 20 battiti/min. Questo può essere determinato con un test individuale, oppure sulla base della seguente formula:

$$HR_L = 185 - 0.65 \times \text{età}$$

Si deve però tenere conto il valore individuale della massima frequenza cardiaca può variare per più di 20 battiti/min da individuo a individuo ed è pertanto consigliabile assumere quale limite per la frequenza cardiaca il valore di "sustained heart rate":

$$HR_{L,sustained} = 180 - \text{età}$$

Infine, in accordo con il limite massimo di 39 °C previsto per la temperatura del nucleo corporeo, il limite massimo per l'incremento della frequenza cardiaca HR da parte della componente di origine termica, può essere fissato pari a 60 battiti/min. Questo nelle medesime circostanze per le quali può essere tollerata una temperatura del nucleo superiore a 38.5 °C e in particolare se sono garantite la sorveglianza sanitaria e il monitoraggio continuo. In conclusione per la componente termica si possono individuare le due seguenti soglie o limiti:

$$\begin{aligned} \Delta HR_{T,max} &= 33 \text{ battiti/min} && \text{in qualunque circostanza} \\ \Delta HR_{T,max} &= 60 \text{ battiti/min} && \text{se sono garantite le medesima condizioni} \\ &&& \text{previste per i casi in cui è ammesso il limite di 39 °C} \\ &&& \text{per } t_{cr}. \end{aligned}$$

7 – DETERMINAZIONE DELLE TEMPERATURA DEL NUCLEO A PARTIRE DALLA FREQUENZA CARDIACA

Negli ultimi anni sono state numerose le ricerche di un metodo per la determinazione della temperatura del nucleo corporeo mediante pratiche non invasive. Tra queste segnaliamo il metodo elaborato da Mark J. Buller e colleghi nel 2013, i quali hanno dimostrato che la frequenza cardiaca HR può essere letta come una funzione della temperatura del nucleo t_{cr} , distorta da rumore e filtrata con un filtro Kalman. Lo studio del 2013 è stato

convalidato utilizzando i dati di dieci studi indipendenti condotti in laboratorio e in campo, nei quali sono stati presi in considerazione diverse combinazioni di carico di lavoro, condizioni ambientali, idratazione dei soggetti, acclimatazione al calore e capi di abbigliamento. In totale sono stati impiegati 100 volontari, di cui 17 per lo sviluppo del modello e 83 per la sua validazione. Il sistema restituisce risultati paragonabili a quelli della misura della temperatura esofagea e, pur non potendolo ritenere sostitutivo della misura diretta della t_{cr} , risulta sufficientemente accurato per fornire un'indicazione operativa della sollecitazione termica del personale nei luoghi di lavoro. Lo studio aveva tuttavia evidenziato che in alcune particolari condizioni, ovvero alto carico di lavoro (> 680 W) e temperature relativamente basse (18 °C), in caso di personale dotato di abbigliamento protettivo di tipo "incapsulante" l'algoritmo pareva inadeguato per descrivere l'aumento della t_{cr} . Con un successivo studio del 2015 è stata esaminata la performance dell'algoritmo nella stima della T_{cr} nel caso di personale di primo intervento, vestito con abbigliamento protettivo completamente incapsulante. L'esito è stato molto buono. Di questo secondo studio si riporta una sintesi nel seguito.

La ricerca si è articolata su tre differenti compiti lavorativi, eseguiti sul campo, in diverse condizioni ambientali e scenari di lavoro.



Figura 2. Abbigliamento protettivo indossato dai volontari durante i tre differenti test.

Durante i test condotti da Buller è stata misurata la frequenza cardiaca HR mediante un sistema di monitoraggio a fascia toracica e la temperatura t_{cr} mediante termometri a pillola ingeribili, acquisendo un campione ogni 15 s. Il modello si basa sulla considerazione che la frequenza cardiaca HR contiene informazioni sia sul tasso metabolico che sul flusso sanguigno inviato alla cute e pertanto HR riflette sia la produzione di calore che il trasferimento di questo verso l'ambiente. L'algoritmo si basa così

sull'assunzione che il bilanciamento di questi due processi, riscontrabile in HR, dia conto dell'accumulo di calore nel corpo. Nel lavoro del 2015 gli autori forniscono anche un indirizzo Internet da utilizzare per richiedere il codice, ma è probabile che non sia più attivo. Segnaliamo però il seguente indirizzo Internet dove si trova un calcolatore online dal quale ricavare la stima temperatura del nucleo corporeo, a mezzo dell'algoritmo di Buller, fornendo i dati sulla frequenza cardiaca:

http://www.usariem.army.mil/index.cfm/modeling/cbt_algorithm#estimate.

Per valutare la performance dell'algoritmo gli autori hanno esaminato le differenze tra le t_{cr} misurate direttamente, mediante termometri in forma di pillola ingeribile e quelle stimate dall'algoritmo che elabora i dati di HR (t_{cr-est}). Per il confronto hanno utilizzato un metodo statistico proposto da Bland e Altman nel 1983. Si tratta di un metodo studiato per valutare la corrispondenza tra i risultati ottenuti da due differenti procedure di misura di una stessa quantità, pensato per sostituire il test di correlazione, non perfettamente adeguato a questi scopi, anche se spesso proposto con questa finalità. Il metodo fornisce una misura utile per confrontare le probabili differenze tra i risultati ottenuti con due modelli di valutazione differenti. Si basa sull'analisi delle differenze medie tra i singoli valori determinati con i due metodi quantitativi presi in esame e restituisce quelli che vengono chiamati *limits of agreement* (LoA). I LoA individuano l'intervallo all'interno del quale rientrano il 95% delle differenze. Quando uno dei due è un metodo di riferimento, questo sistema può essere utilizzato come misura dell'errore totale di una procedura di misurazione. I LoA sono definiti come [media delle differenze] \pm 1.96 [dev std delle differenze].

Il LoA complessivo di tutto l'esperimento è stato pari a ± 0.48 °C.

Lo stesso metodo propone di calcolare la distorsione dello stimatore (bias) come la media delle differenze riscontrate tra t_{cr} e t_{cr-est} .

Il bias complessivo è risultato pari a 0.02 ± 0.25 °C.

Infine gli autori hanno anche calcolato la media quadratica delle differenze (root mean square error, RMSE) e quella complessiva è risultata pari a 0.21 ± 0.11 °C. (Si consideri che bias a RMSE sono medie pesate sul numero di partecipati ad ogni esercizio e sulla durata degli esercizi).

Si riporta in figura 3 la tabella con il riepilogo di questi risultati dei tre test e gli esiti complessivi. Alla figura 4 sono riportati invece i grafici pubblicati dagli autori con i valori di t_c (linee continue) e t_{cr-est} (linee tratteggiate), suddivisi per sessioni calde (hot), moderate e fresche (cool) per ognuno dei tre esercizi condotti.

Gli autori giudicano consistenti i risultati ottenuti nei diversi scenari e buona la rispondenza tra i valori misurati e stimati della t_{cr} in tutto il range esaminato (36 – 39.5 °C).

Table 2. Mean root mean square error (RMSE), bias and LoA for each of the three training events and overall.

Event #	No. of min.	n	RMSE (°C)	Bias (°C)	LoA (°C)
1	~95 each	12	0.20 ± 0.11	0.01 ± 0.26	± 0.50
2	~45 each	8	0.24 ± 0.11	0.04 ± 0.26	± 0.51
3	~45 each	7	0.17 ± 0.09	0.03 ± 0.19	± 0.37
Overall	*	*	0.21 ± 0.11	0.02 ± 0.25	± 0.48

*Overall RMSE, bias and LoA weighted by participant and exercise duration.

Figura 3. Tabella con i valori degli indicatori utilizzati da Buller e colleghi per determinare la rispondenza tra valori di t_{cr} stimati con il proprio metodo e i valori di riferimento (determinati con i termometri in forma di pillole ingeribili).

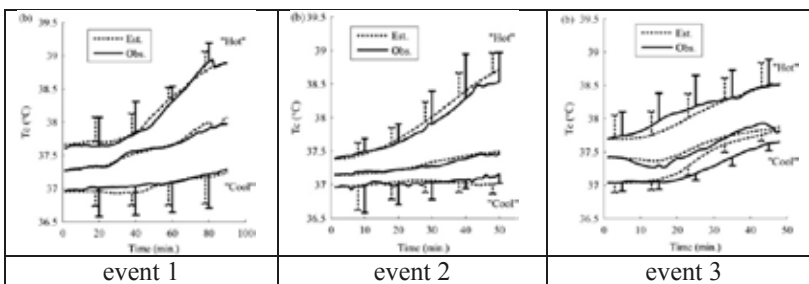


Figura 4. Confronto grafico tra le temperature del nucleo misurate direttamente (linee continue) e quelle stimare in base alla frequenza cardiaca (linee tratteggiate).

Confrontando i loro risultati con la letteratura esistente Buller e colleghi fanno le seguenti considerazioni.

L'algoritmo è confermato come affidabile anche nei casi in cui gli addetti indossano abbigliamento protettivo di tipo CBRNE (Chemical Biological Radiological Nuclear and Explosive Equipment), annullando quindi i dubbi intorno all'affidabilità dello stesso, emersi con il precedente studio del 2013.

Il bias riscontrato, pari a 0.02 °C è ben compreso entro l'intervallo di ± 0.25 °C attribuito alle variazioni biologiche individuali e inferiore alla più conservativa soglia di ± 0.1 °C suggerita in altro precedente studio.

La media quadratica delle differenze (RMSE), pari a 0.21 ± 0.11 °C è inferiore a quella trovata in altri studi di comparazione tra diversi metodi di determinazione della temperatura del nucleo (rettale contro esofagea, rettale contro intraddominale, esofagea contro intraddominale) sia nel caso di scenari caldi che freddi.

Il valore di LoA complessivo, pari a ± 0.48 °C, è invece più ampio del valore di ± 0.4 °C suggerito quale soglia accettabile in letteratura, ma più stretto della media pesata di cinque altri studi, pari a ± 0.58 °C e con i quali venivano confrontati il metodo esofageo e rettale per la misura di t_{cr} .

Le medie quadratiche delle differenze (RMSE), nel caso di questo esperimento dove gli addetti indossano abbigliamento protettivo, mostra performance dell'algoritmo simili tra loro, al variare delle condizioni ambientali o del carico di lavoro. Inoltre i valori di RMSE e LoA riferiti a

questi esperimenti, risultano più contenuti di quelli riferiti ai test in cui gli addetti non indossano abbigliamento protettivo.

È inoltre evidenziato che l'algoritmo si è comportato in modo simile sia nel caso dei partecipanti che hanno raggiunto le più alte temperature corporee (39 °C), sia nel caso di quelli che non si sono riscaldati durante le attività.

Nel lavoro del 2015 gli autori conducono anche una disamina dei limiti del metodo ed evidenziano che il modello necessita di essere testato su una popolazione più ampia e più eterogenea; l'attuale è infatti stato verificato su un gruppo piuttosto omogeneo di soggetti, soprattutto in termini di età e forma fisica (si trattava di militari dell'esercito americano sottoposti ad annuali test sulla forma fisica).

Si fa notare inoltre che il modello lavora al meglio se è nota la t_{cr} iniziale. Tuttavia potrebbero essere numerose le circostanze in cui questo dato è ignoto, ma in questi casi si può fornire al modello un'ipotesi di t_{cr} iniziale, per esempio 37.1 °C, tenendo conto che l'incertezza sul risultato aumenta. Prove fatte in questo senso hanno restituito valori ancora accettabili dei parametri utilizzati per validare il buon comportamento del modello (RMSE pari a 0.29 ± 0.14 , bias pari a -0.002 ± 0.32 e LoA pari a 0.63).

Il lavoro si conclude ribadendo che il monitoraggio individuale dello stress termico è molto importante poiché le risposte alle sollecitazioni termiche degli individui possono essere diverse, anche a parità di compito lavorativo. L'algoritmo di calcolo della temperatura interna del corpo, elaborato dagli autori, è in grado di fornire stime ragionevolmente valide della temperatura interna in diversi contesti. Inoltre l'algoritmo, se utilizzato congiuntamente a un sistema di monitoraggio della frequenza cardiaca indossato dal lavoratore, consentirebbe di rilevare lo stress termico dell'individuo in tempo reale e prevenire così eventuali malattie o incidenti dovuti all'eccesso di calore oltre a gestire al meglio i programmi di lavoro.

8 – I NOSTRI TEST

A conclusione di questo lavoro proponiamo l'esito di tre test, tra quelli da noi condotti per sperimentare l'uso delle metodiche illustrate ai titoli 6 e 7, ovvero quella della stima del fattore ΔHR_T (come da UNI EN ISO 9886:2004) e quella della determinazione in tempo reale della t_{cr} mediante sistema di monitoraggio di alcuni parametri fisiologici secondo il metodo di Buller.

Come indicato da Buller nella pubblicazione del 2015, esistono differenti tipi di sistemi per il monitoraggio e l'autore ne segnala alcuni tra cui i prodotti della BioHarness, Zephyr Annapolis, MD, Equivital EQ-02, Hidalgo Cambridge UK.

Per tutti i nostri test è stato utilizzato un sistema di monitoraggio a fascia toracica della Zephyr, con restituzione in continuo del battito cardiaco (25

registrazioni/secondo) e stima della temperatura interna del core in tempo reale; questa, come garantito dal produttore è calcolata con l'algoritmo elaborato da Buller⁸.

Queste prime prove sono state effettuate in ambito non lavorativo, senza pretesa di validazione dei metodi sopra esposti, con lo scopo di verificare con dati reali la congruenza tra i due differenti metodi e la praticabilità di entrambi nel contesto della valutazione del rischio occupazionale da stress termico.

Per i test uno degli autori di questo lavoro si è prestato a compiere attività fisica con diversi gradi di sforzo, all'aperto, durante la stagione estiva, nelle condizioni sotto illustrate, indossando il dispositivo di monitoraggio.

Test n. 1

Il primo test è stato effettuato per confrontare gli andamenti di HR e della t_{cr} su un soggetto sottoposto a differenti fasi di attività più o meno intensa con fasi di riposo, per oltre 5 ore di data-logging (escursione in montagna). In questo caso l'obiettivo era semplicemente di provare la strumentazione, elaborarne gli output e costruire i grafici delle grandezze rilevanti per i ns scopi (HR e t_{cr}).

Di seguito le fasi:

- fase 1:
 - o attività di media intensità del soggetto;
 - o t_{cr} iniziale: 37.1 °C (valore assunto come predefinito se non è noto con esattezza)
 - o durata di circa 100 minuti;
- fase 2:
 - o attività di forte intensità del soggetto;
 - o durata di circa 50 minuti;
- fase 3:
 - o soggetto a riposo;
 - o durata di circa 40 minuti;
- fase 4:
 - o attività di media intensità del soggetto;
 - o durata di circa 60 minuti;
- fase 5:
 - o attività di bassa intensità del soggetto;
 - o durata di circa 50 minuti;
- fase 6:

⁸ Dell'uso dell'algoritmo di Buller il produttore dà garanzia pur non dichiarandolo nei data-sheet. Gli scriventi lo hanno verificato a mezzo del calcolatore online (già segnalato):

http://www.usariem.army.mil/index.cfm/modeling/cbt_algorithm#estimate

- soggetto a riposo;
- durata di circa 20 minuti.

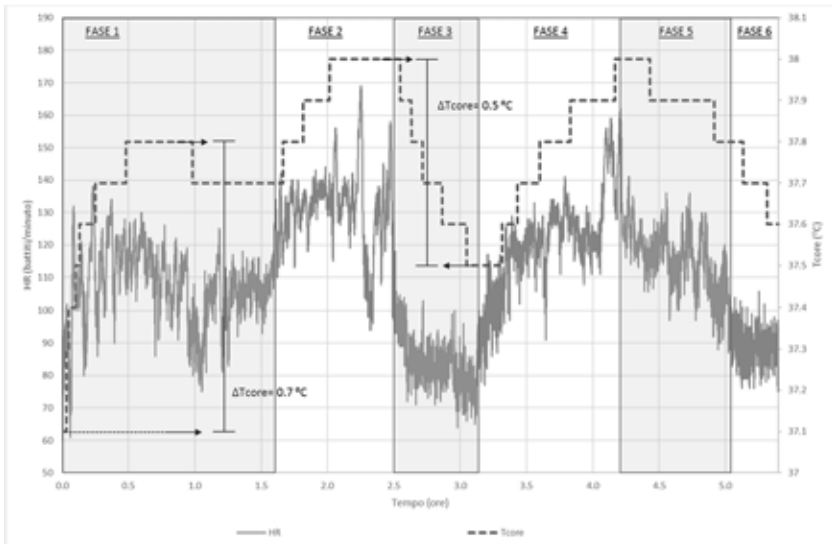


Figura 5. Andamento della frequenza cardiaca HR (battiti/min) e della temperatura del nucleo corporeo t_{core} ($^{\circ}\text{C}$) nel corso dell'intero monitoraggio (5.5 h circa)

Dal grafico pubblicato in figura 5 si riscontra l'andamento della temperatura interna calcolato dal software in tempo reale, a partire dai dati istantanei del battito cardiaco.

Test n. 2

Nel secondo test è stata simulata una condizione di lavoro con sforzi elevati in condizioni di alto carico termico ambientale (circa 30°C e in presenza di soleggiamento).

In questa occasione l'obiettivo era di determinare il valore di ΔHR_T utilizzando i dati della frequenza cardiaca misurati tramite lo strumento, e la metodologia illustrata dalla norma UNI EN ISO 9886:2004.

Di seguito le fasi:

- fase 1:

- soggetto a riposo, seduto, in condizioni di neutralità termica per poter determinare la HR_0 ;
- durata di circa 3 minuti;

- fase 2:

- soggetto in intensa attività fisica sulla cyclette con esposizione diretta al sole;
 - temperatura ambientale esterna: 29.5 °C (simulazione di condizioni lavorative in ambiente caldo);
 - vestiario soggetto: pantalone lungo e giacca protettiva coprente e non traspirante (simulazione abbigliamento protettivo incapsulante);
 - HR media durante attività fisica: 145 battiti/minuto;
 - durata di circa 24 minuti;
- fase 3:
- soggetto fermo, in condizioni di neutralità termica, per poter individuare le differenti componenti di incremento del battito cardiaco, rispetto alla frequenza a riposo.

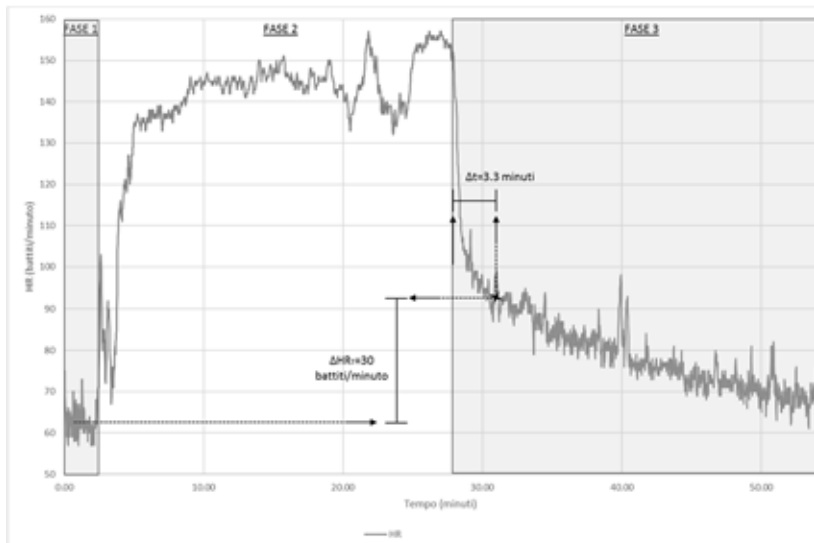


Figura 6. Andamento della sola frequenza cardiaca per tutta la durata del test (55 min.)

Il grafico in figura 6 mostra l'andamento della frequenza cardiaca istantanea calcolata durante le tre fasi del test.

Dalla fase 1 del test si è calcolata la HR_0 media, pari a 63 battiti/minuto.

Nel primo intervallo della fase 3 (fase di riposo), la tendenza dell'andamento di HR è fortemente decrescente poiché si tratta dei primi istanti dopo l'arresto dell'attività fisica.

Nel secondo intervallo della fase 3 l'andamento di HR risulta sempre decrescente ma con una pendenza inferiore.

Il punto di variazione della pendenza della curva HR, durante la fase 3, ci consente di determinare la separazione tra i due intervalli precedentemente illustrati determinando, non senza difficoltà, il momento in cui termina il contributo muscolare all'incremento della frequenza cardiaca ed è possibile isolare l'incremento dovuto allo stress termico cui è sottoposto il soggetto (ΔHR_T).

Come illustrato nel grafico, dopo circa 3.3 minuti dall'inizio della fase 3, si rileva un HR pari a 93 battiti/minuto. Questo valore di HR è determinato principalmente dal contributo cardiaco a riposo e dall'incremento dovuto allo stress termico:

$$\Delta HR_T = HR(t_{\text{recupero}}) - HR_0$$

Si determina in tal modo un valore di ΔHR_T pari a 30 battiti/minuto, di poco inferiore al limite applicabile in questa circostanza di 33 battiti/minuto (la soglia di 60 battiti/minuto è di fatto mai applicabile).

Come definito dalla stessa 9886, l'incremento della frequenza cardiaca dovuto allo stress termico è mediamente pari a 33 battiti/minuto per ogni grado centigrado in più della temperatura del nucleo corporeo e pertanto si può stimare che nel caso di questo test la temperatura del nucleo si sia alzata di 1 °C, o poco meno, rispetto al dato di partenza.

Test n. 3

Il terzo test è stato effettuato per confrontare il dato istantaneo di t_{cr} , misurato con la fascia toracica, elaborato a partire dalla frequenza cardiaca con l'algoritmo di Buller, con quello calcolato tramite il metodo n. 3 della norma UNI EN ISO 9886:2004.

Il test consiste in tre fasi distinte e consecutive:

- fase 1:

- soggetto a riposo, seduto, in condizioni di neutralità termica per poter determinare la HR_0 ;
- t_{cr} iniziale dello strumento: 37.1 °C (valore assunto come predefinito se non è noto con esattezza)
- durata di circa 8 minuti;

- fase 2:

- intensa attività fisica del soggetto sulla cyclette con esposizione diretta al sole;
- temperatura ambientale esterna: 28.0 °C (simulazione di condizioni lavorative in ambiente caldo);
- vestiario soggetto: pantalone lungo e giacca protettiva coprente e non traspirante (simulazione abbigliamento protettivo incapsulante);
- HR media durante attività fisica: 150 battiti/minuto;

- durata di circa 23 minuti;
- fase 3:
 - soggetto a riposo prolungato, in condizioni di neutralità termica, per poter individuare le differenti componenti di incremento del battito cardiaco.

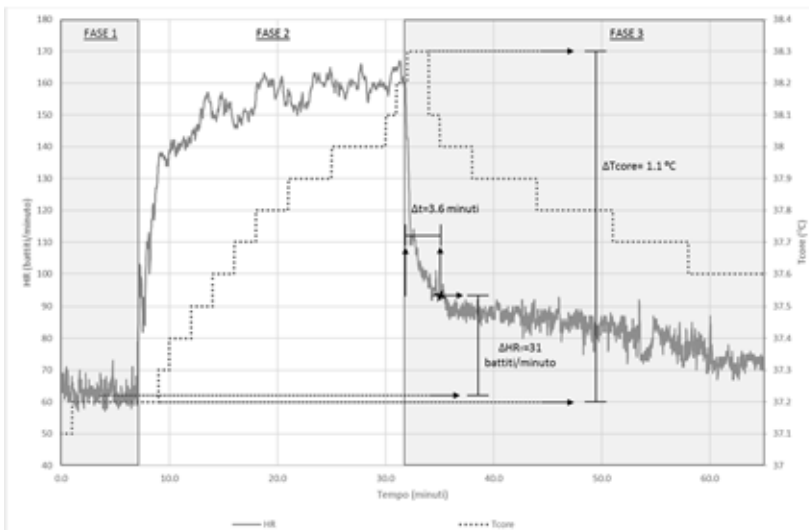


Figura 7. Andamento della frequenza cardiaca HR (battiti/min) e della temperatura del nucleo corporeo t_{cr} (°C) nel corso dell'intero monitoraggio (65 min circa)

Il grafico in figura 7 mostra l'andamento della frequenza cardiaca istantanea calcolata durante le tre fasi del test e la concomitante tendenza della temperatura di core, stimata dallo strumento.

Dalla fase 1 del test si calcola la HR_0 media, pari a 63 battiti/minuto.

Come illustrato per il test 2, si determina il punto in cui la curva HR varia di pendenza, corrispondente ad un valore di HR pari a 94 battiti/minuto, dopo circa 3.6 minuti dall'inizio della fase 3 (fase di riposo).

Il valore di ΔHR_T determinato secondo il metodo della norma UNI EN ISO 9886:2004, è pari quindi a 31 battiti/minuto a cui corrisponderebbe un potenziale innalzamento della temperatura interna del corpo di circa 1 °C, confrontabile con l'innalzamento stimato dallo strumento di 1.1 °C (da 37.2 °C durante la fase 1 a riposo a 38.3 °C all'inizio della fase 3).

I due valori di innalzamento termico, quello determinato secondo il metodo della norma UNI EN ISO 9886:2004 e quello stimato dallo strumento secondo l'algoritmo di Buller, sono in questo caso comparabili tra di loro.

Tale confronto non è sempre facilmente attuabile per il fatto che, in talune situazioni, risulta difficile individuare con precisione il cambio di pendenza sulla curva HR durante la fase finale di recupero.

9 – CONCLUSIONI

Con questo lavoro abbiamo voluto dedicare un approfondimento alle situazioni occupazionali di stress termico da caldo, in quei contesti in cui la protezione dei lavoratori da alcuni rischi, richiede di indossare un abbigliamento speciale. A questo scopo abbiamo esaminato quali criteri valutativi si possono adottare, considerato che è escluso di poter ricorrere alle due metodiche esistenti a livello internazionale e maggiormente condivise, ovvero quella basata sull'indice WBGT (normata dalla UNI EN ISO 7243:2017) e quella basata sulla sollecitazione termica prevedibile, metodo PHS (normata dalla UNI EN ISO 7933:2005). I criteri che è possibile adottare per questi casi risultano i seguenti tre:

- 1) valutare l'esposizione mediante i metodi WBGT o PHS, così come modificati dallo standard britannico BS 7963:2000;
- 2) esaminare l'esposizione mediante la misurazione di parametri fisiologici (di fatto la frequenza cardiaca) secondo la norma UNI EN ISO 9886:2004;
- 3) stimare la temperatura interna (t_{cr}) mediante un algoritmo proprietario, attualmente testato per gruppi speciali di lavoratori (militari) in condizioni di stress termico molto eterogenee e oggi disponibile in alcuni dispositivi commerciali per il monitoraggio dei parametri fisici e fisiologici personali.

Abbiamo innanzitutto illustrato quali sono le implicazioni di un abbigliamento protettivo sui meccanismi di termoregolazione, evidenziando che l'impatto di questo vestiario sull'accumulo di calore della persona, può essere di grande entità.

La disamina del metodo proposto dallo standard inglese, considerati anche gli esempi portati, conferma quale grave sottostima si può compiere nel trascurare il reale abbigliamento del lavoratore quando differisce da quello più leggero preso in considerazione dai due metodi consolidati (paradossalmente questa lacuna è più grande nel caso del PHS, metodo più sofisticato dei due). Abbiamo mostrato come una situazione valutata entro i gradi di libertà concessi dalla UNI EN ISO 7933 (PHS), rivalutata con i criteri della BS 7963, possa restituire esiti opposti, passando da un livello di rischio trascurabile ad uno elevato.

In merito ai due metodi basati sulla misurazione della frequenza cardiaca, ne è stata valutata la praticabilità. Il primo, basato sullo standard 9886, presenta due limiti: l'impossibilità di restituire i risultati in tempo reale e la difficoltà a intercettare il cambio pendenza nel trend di rilassamento di HR,



d-A2018

fondamentale per quantificare la grandezza di riferimento ΔHR_T . Quindi, oltre al fatto di essere affetto da una notevole incertezza, risulta poco pratico da utilizzare, considerato che per ogni esposizione al calore, temuta come pericolosa, si deve prevedere l'interruzione dal lavoro e una misurazione della frequenza cardiaca per diversi minuti (almeno 15) per studiarne l'andamento nel tempo.

L'alternativa ricavata dagli studi di Buller risulta senz'altro la più interessante: ha il grosso vantaggio di restituire il profilo stimato della temperatura del nucleo per tutta la durata dell'esposizione e, se il dispositivo adottato dispone di un collegamento radio con un ricevitore, consente di acquisirla e visualizzarla in tempo reale. Di questa metodologia si ricorda che è ai suoi albori e che gli stessi autori ne raccomandano una sperimentazione su una popolazione più eterogenea di quella presa in considerazione da loro. Tuttavia, in attesa che gli enti di ricerca compiano questi passi (se lo vorranno) e gli istituti di standardizzazione ne valutino magari anche l'inclusione in una norma tecnica, al giorno d'oggi si presenta già come preziosa per esaminare i casi maggiormente critici di esposizione allo stress termico da caldo. Tra questi, nel caso dei *first-responders* (addetti al pronto intervento), tra cui esercito, forze dell'ordine, vigili del fuoco e sanitari, se ne ritiene l'adozione fortemente raccomandabile per prevenire le più gravi patologie, se non il decesso per cause da stress termico.

10 – BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1]. M. J Buller *et al.* (2013) *Estimation of human core temperature from sequential heart rate observations*, *Physiological Measurement*, 34, 781-798
- [2]. M. J. Buller *et al.* (2015) *Real-time core body temperature estimation from heart rate for first responders wearing different levels of personal protective equipment*, *Ergonomics*, 58:11, 1830-1841
- [3]. Havenith, D. Fiala (2016) *Thermal Indices and Thermophysiological Modeling for Heat Stress*, American Physiological Society. *Compr Physiol* 6:255-302, 2016
- [4]. J. Malchaire *et al.* (2001) Development and Validation of the Predicted Heat Strain Model, *Ann. occup. Hyg.*, Vol. 45, No. 2, pp. 123–135
- [5]. K. Parsons, D. Bethea (2002) *The development of a practical heat stress assessment methodology for use in UK industry*, Health and Safety Executive (UK), Research Report 008
- [6]. K. Parsons (2014) *Human Thermal environments: the effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance*. Terza edizione. Boca Raton, FL. CRC Press
- [7]. BS 7963:2000 *Guide to the assessment of heat strain in workers wearing personal protective equipment*
- [8]. NIOSH (1986), *Occupational exposure to hot environments*, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No 86-113, Washington DC, USA
- [9]. UNI EN 12515:1999 *Ambienti caldi - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico mediante calcolo della sudorazione richiesta*
- [10]. UNI EN ISO 7726:2002 *Ergonomia degli ambienti termici: Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche*
- [11]. UNI EN ISO 13731:2004 *Ergonomia degli ambienti termici – Vocabolario e simboli*
- [12]. UNI EN ISO 9886:2004 *Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche*
- [13]. UNI EN ISO 7933:2005 *Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile*
- [14]. UNI EN ISO 8996:2005 *Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione del metabolismo energetico*

- [15]. UNI EN ISO 9920:2009 *Ergonomia dell'ambiente termico - Valutazione dell'isolamento termico e della resistenza evaporativa dell'abbigliamento*
- [16]. UNI EN ISO 7243:2017 *Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dello stress da calore utilizzando l'indice WBGT (temperatura globo del bulbo bagnato)*
- [17]. *Francia, oltre 10 mila morti per il caldo*, Corriere della sera, 20 agosto 2003, https://www.corriere.it/Primo_Piano/Esteri/2003/08_Agosto/20/caldo.shtml
- [18]. *Core Body Temperature Estimation From Heart Rate*, US Army Research Institute of Environmental Medicine (USARIEM), 13 June 2014,
- [19]. http://www.usariem.army.mil/index.cfm/modeling/cbt_algorithm
- [20]. University of South Florida, College of Public Health, Tampa FL, Department of Environmental and Occupational Health, Professor Thomas E. Bernard
- [21]. <http://health.usf.edu/publichealth/eoh/tbernard>
- [22]. *PPE, Heat Stress, and Cardiac Strain: a Study*, Fire Engineering Magazine, 30 dicembre 2015, <https://www.fireengineering.com/articles/print/volume-168/issue-12/features/ppe-heat-stress-and-cardiac-strain-a-study.html>

METODOLOGIA DI MONITORAGGIO E VALUTAZIONE DEGLI INFRASUONI ED ULTRASUONI: PRIME APPLICAZIONI PRESSO SITI INDUSTRIALI ENI

Fabio Lo Castro (1), Sergio Iarossi (1), Massimiliano De Luca (1), Carlo Biancifiori (2)

(1) CNR-INM, Sez. di Acustica e Sensoristica O.M. Corbino, Roma

(2) Eni S.p.A. - Unità Radiation Protection & Physical Risk, San Donato Milanese, Milano

SOMMARIO

Gli infrasuoni e gli ultrasuoni sono onde sonore al di fuori del normale intervallo acustico 20 Hz ÷ 20 kHz. Sono emesse sia da eventi naturali sia da eventi prodotti dall'uomo, specialmente in ambito industriale. Il loro monitoraggio richiede una strumentazione con caratteristiche differenti e più performanti rispetto a quella normalmente utilizzata in campo acustico.

La normativa italiana, in particolare il d.lgs. 81/2008 richiede al datore di lavoro una loro valutazione, inserendoli tra gli agenti fisici a cui è esposto il lavoratore, pur tuttavia, non definendo i valori limite di esposizione/livelli di soglia.

Nel presente articolo sarà presentata la metodologia di misurazione degli infrasuoni ed ultrasuoni e loro valutazione adottata, nelle prime sperimentazioni presso i siti produttivi Eni, sulla base di un confronto di quanto richiesto negli altri paesi europei ed extra-europei.

1. INTRODUZIONE

Gli infrasuoni e gli ultrasuoni sono onde sonore con frequenza di vibrazione rispettivamente al di sotto dei 20 Hz ed al di sopra dei 20kHz. I primi studi

sugli effetti uditivi ed extra-uditivi sull'uomo di queste particolari onde sonore risalgono a dopo la metà del secolo scorso.

Gli studi dimostrano che gli infrasuoni possono essere uditi [1,2,3,4,5] soprattutto ad alti livelli sonori, come visibile dal grafico presentato da Moller et. al. nel 2004 [6], riportato in figura 1. In esso sono rappresentate le soglie di udibilità misurate in diversi studi. Si osserva prima di tutto che i valori della soglia uditiva non sono unanimi, ma variano da studio in studio. Ancor oggi non vi è una curva univoca definita a livello internazionale. Ciò nonostante gli andamenti delle curve dimostrano che gli infrasuoni sono udibili, ma a livelli via via crescenti, oltre gli 80 dB, scendendo in frequenza a partire dalle basse frequenze nell'intervallo di udibilità (20 Hz ÷ 20 kHz). Andersen [7], and Moller [8] nel 1984 tracciarono le curve isofoniche nell'intervallo infrasonico. Si osserva come le curve tendono a convergere verso le basse frequenze sino ad arrivare in prossimità della soglia del dolore. A circa 2 Hz la differenza tra soglia del dolore e di udibilità è circa 10 dB.

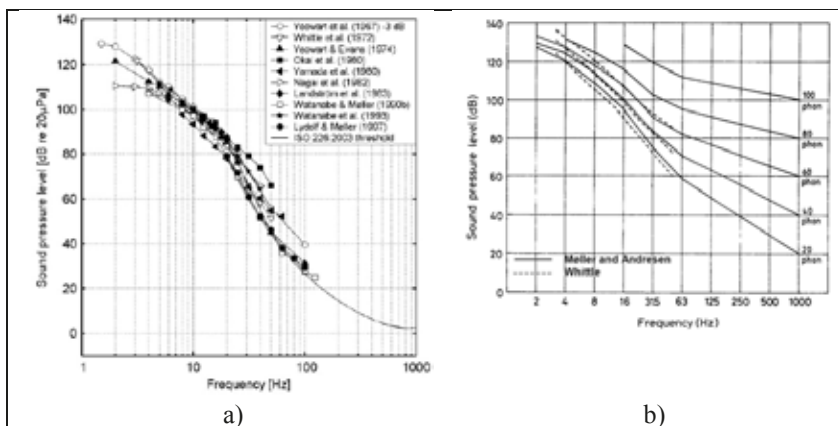


Figura.1 – a) Soglia di udibilità come riportata da Moller et. al. 2004 [6], b) andamento delle curve isofoniche descritte da Andersen and Moller 1984 [7], [8].

Inoltre poiché l'orecchio medio produce distorsioni dell'onda incidente ad elevati livelli di pressione sonora, le armoniche generate si trovano in banda udibile. Ad esempio come mostrato da D. L. Johnson [9] un'onda pressoria di 8 Hz viene percepita come onda composta da armoniche di 16 Hz, 24 Hz, 32 Hz, 40 Hz ed etc. e quindi udibile anche al di sotto degli 80dB.

Sempre a causa delle distorsioni armoniche, Nixon et. al nel 1973 notò che suoni con frequenza tra i 4 ÷ 20 Hz e livelli di circa 140 dB causavano un innalzamento della soglia uditiva di 10 dB intorno ai 1000Hz [11].

Gli infrasuoni, oltre che essere percepiti a livello uditivo, possono essere percepiti a livello tattile come vibrazione di parti del corpo, in genere a livelli al di sopra della soglia di udibilità.

U. Landstrom [10] ha evidenziato che infrasuoni tra $2 \div 20$ Hz ad alti livelli $120 \div 140$ dB sono in grado di mettere in vibrazione parti del corpo umano contenenti gas o aria all'interno, come i polmoni, l'intestino, lo stomaco e l'orecchio medio. Livelli superiori a $125 \div 130$ dB sono causa di dolori all'orecchio e fastidi, dovuti a percezioni di pressione nell'orecchio [10,11].

Inoltre Johnson nel 1980 mostrò che a livelli oltre i 130 dB si possono avere disturbi alla comunicazione a causa della modulazione della voce ed in via cautelativa suggerì di non sottoporre l'orecchio ad infrasuoni superiori a 150 dB onde evitare la rottura del timpano e danni all'orecchio medio [9].

Per quel che riguarda gli ultrasuoni emessi in aria, i soggetti esposti possono presentare sintomi quali affaticamento, cefalea, nausea, vomito, gastralgie, sensazione di occlusione e pressione nell'orecchio, ronzii, acufeni, disturbi del sonno, perdita del senso di equilibrio, vertigini, bruciature etc. Secondo alcuni ricercatori alcuni di tali effetti sono dovuti alle componenti udibili di alta frequenza (sub armoniche), sottoprodotto dei processi lavorativi che impiegano ultrasuoni [13].

Relativamente ai sintomi uditivi, le indicazioni che appaiono in letteratura non sono univoche. Secondo alcuni ricercatori non c'è evidenza che gli ultrasuoni costituiscano un rischio per l'udito. Secondo la maggior parte degli studiosi, invece, gli ultrasuoni determinano deficit alle alte frequenze udibili. Tali deficit sono dovuti alle sub-armoniche generate dal timpano quando stimolato con livelli di pressione sonora elevati [13-14].

L'assenza di studi e pareri univoci tra i ricercatori a livello internazionale sia sugli ultrasuoni che sugli infrasuoni emessi in aria, si riflette a livello legislativo dei singoli stati, dove osservando i limiti imposti per i livelli massimi di esposizione a cui l'uomo può essere sottoposto senza subire disturbi o danni, si nota una non uniformità nei valori prescritti [15].

Nei paragrafi successivi saranno descritte le metodologie di monitoraggio e di valutazione adottate durante le nostre campagne di misure degli infrasuoni ed ultrasuoni presenti presso i siti produttivi dell'ENI. Per quel che riguarda il confronto tra i valori misurati ed i livelli di soglia, i limiti di esposizione adottati sono stati scelti tra i valori ritenuti più stringenti tra quelli presenti a livello internazionale, in un'ottica di prevenzione dei rischi.

2. METODOLOGIA DI MONITORAGGIO

La strumentazione impiegata per la misura degli infrasuoni ed ultrasuoni deve avere una banda passante superiore a quella acustica, ed i normali filtri di ponderazione A, B, C e D non sono idonei a caratterizzare la risposta uditiva in tali bande laterali di frequenza, essendo da loro tagliate. A tal

proposito vengono utilizzate rispettivamente la banda G per gli infrasuoni e la banda V per gli ultrasuoni [16].

La strumentazione da noi utilizzata è un fonometro Sinus Apollo conforme allo standard EN 60651 e IEC 6167 con microfono GRASS 40 HF da 1 pollice per gli infrasuoni ed un microfono BSWA MPA401 da ¼ pollici per gli ultrasuoni. In presenza di brezza o di vento i microfoni vengono equipaggiati con cuffia antivento o con doppia schermatura in caso di vento eccessivo.

2.1 Singolo punto di misura

Il microfono viene posto nel punto in cui si stima la maggiore esposizione per il lavoratore, come mostrato in figura 2.1, a circa 1,5 m dal suolo o ad una altezza relativa all'altezza dell'orecchio dell'operatore. In questo modo la dose espositiva rappresenta il valore massimo a cui può essere sottoposto un operatore che sta eseguendo una attività di controllo/ispettiva (standard) su un macchinario in funzione. Questa metodologia è la più cautelativa.



Figura 2.1 – singolo punto di misura

2.2 Media spaziale

La media spaziale può essere valutata disponendo differenti microfoni in punti diversi per poi calcolare il valore medio oppure utilizzando un microfono e muovendolo nella zona di interesse, figura 2.2 e figura 2.3, mantenendolo ad un'altezza circa uguale ad 1.5 m, che rappresenta l'altezza dell'orecchio dell'operatore.

La dose di esposizione così calcolata è quella che più rappresenta la dose effettiva a cui è sottoposto un operatore che sta eseguendo una attività di controllo/ispettiva (standard) su un macchinario in funzione.

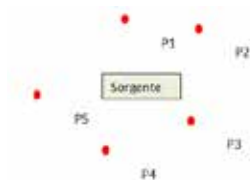


Figura 2.2 – Media spaziale valutata tramite misure in differenti punti fissi P1...P5



Figura 2.3 - Media spaziale valutata tramite un microfono in movimento lungo un percorso

prestabilito.

2.3 Durata della misurazione

Non viene fissato un tempo minimo di osservazione del fenomeno “sonoro”, ma deve essere tale da comprendere l’intera sua evoluzione temporale.

Un criterio per determinare la durata della misurazione è l’osservazione dell’andamento del livello equivalente pesato G o V. quando esso si stabilizza si può ritenere che non vi sono ulteriori apporti energetici che ne variano il valore, come mostrato in figura 2.3.1.

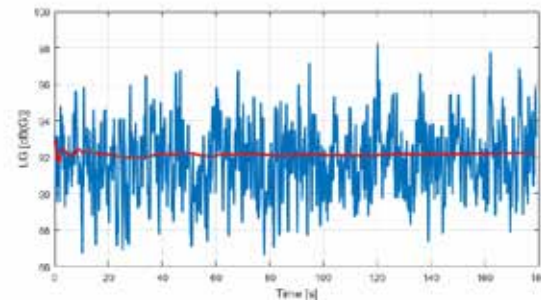


Figura 2.3.1 – Andamento de segnale pesato G in blu, il rosso l’andamento del livello equivalente pesato G.

2.4 Descrittori

Al fine di misurare l’entità degli infrasuoni ed ultrasuoni emessi in aria o al ricevitore sono stati utilizzati differenti descrittori, sia nel dominio del tempo sia nel dominio della frequenza.

Nel dominio del tempo sono stati utilizzati il livello ponderato G, V, C ed A, i rispettivi livelli equivalenti ed i livelli di picco C e Z (con Z si indica il segnale non filtrato).

Nel dominio della frequenza sono stati utilizzati gli spettri in terzi di ottava, per poter confrontare i valori misurati con i riferimenti normativi e legislativi a livello internazionale, e gli spettri dati dalla Trasformata di Fourier per meglio caratterizzare la frequenza fondamentale delle sorgenti ultrasoniche, non ben definita utilizzando gli spettri in terza di ottava.

3. VALUTAZIONE DEGLI INFRASUONI

3.1 Valutazione della presenza degli infrasuoni: Criterio L_C-L_A

I fonometri normalmente utilizzati per la misura del rumore ambientale ed all’interno dei luoghi di lavoro sono equipaggiati con i filtri A e C, che oltre a seguire il contorno di alcune curve isofoniche dell’orecchio umano, riducono il rumore elettronico dello strumento alle basse frequenze. Per poter quindi valutare la presenza delle basse frequenze un metodo, adottato

dallo Swedish National Board of Health and Welfare nel 1995, dal Swedish Royal Board of Building nel 1992 [17] e dalla normativa tedesca DIN 45680:1997, è quello di misurare in contemporanea il livello $L_{p,A}$ ed $L_{p,C}$ e sottrarli, poiché la curva C enfatizza maggiormente le basse frequenze rispetto alla curva A (Figura 2). Pertanto, la loro differenza è indice di quanta energia sia presente alle basse frequenze.

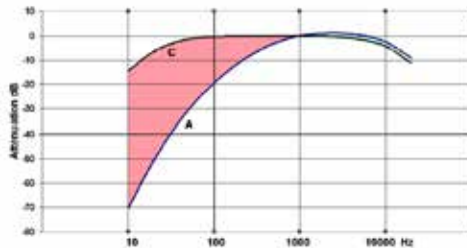


Figura 2 – Andamento delle curve di ponderazione A ed C.

Secondo l'ente svedese, differenze dell'ordine dei 15-20 dB, sono indice della presenza delle basse frequenze. Valori al di sopra dei 25 dB possono indurre fastidi (annoyance), come in presenza di sistemi HVAC.

Valori leggermente diversi sono dati dalla normativa tedesca, secondo la quale quando la differenza $L_{p,C}-L_{p,A}$ è maggiore di 20 dB è possibile ipotizzare una loro presenza. Restano comunque necessari ulteriori accertamenti, come la valutazione dei livelli spettrali per ogni singola banda di terzi di ottava.

3.2 Criterio Curva di ponderazione G

La curva di ponderazione G (vedi figura 3), definita nella ISO 7196, è stata introdotta per enfatizzare le basse frequenze normalmente tagliate dai filtri A e C [18].

La curva G è stata pensata per compensare la curva descritta dalla soglia di udibilità dell'orecchio umano nell'intervallo infrasonico. Il suo effetto è quello di linearizzare la risposta dell'orecchio umano ed avere una valutazione che più assomigli alla percezione umana delle basse frequenze, comprese le infrasoniche, come mostrato in figura 4.

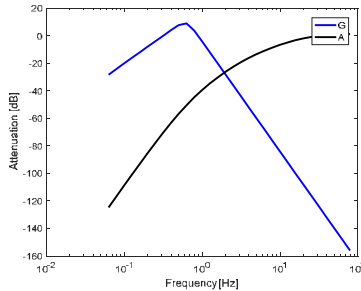


Figura 3 - Andamento della curva di pesatura G rispetto alla curva A

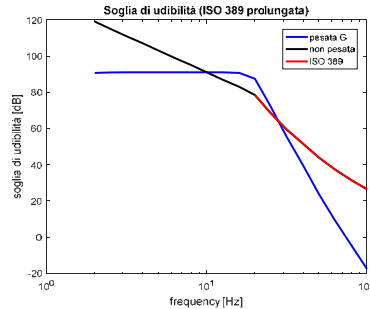


Figura 4 – Andamento della soglia di udibilità secondo la ISO 329 in rosso, in nero il suo prolungamento nel campo infrasonico, in blu l'intera curva pesata G

Secondo Roberts [19] il livello tra $95 \div 100$ dB(G), per ogni banda tra 2 Hz \div 16 Hz, corrisponde alla soglia di udibilità, mentre i livelli tra $85 \div 90$ dB(G) non dovrebbero essere uditi.

Come soglia di udibilità per gli infrasuoni, si è adottata il prolungamento nell'intervallo infrasonico, secondo la regola dei 4 dB introdotta da Yeowart nel 1967 [2] per ogni terzo di ottava per frequenze al di sotto dei 15 Hz, della soglia media definita dalla ISO 389. Tali valori pesati secondo la curva G corrispondono ad un livello di circa 96 dB(G) per ogni terzo di ottava, e globalmente ad un livello equivalente di circa 106 dB(G).

Relativamente ai nostri fini di salvaguardia dei lavoratori, considerando i livelli limite per gli infrasuoni, imposti negli altri Paesi, si è ritenuto cautelativamente di fissare il massimo livello di pressione sonora ponderato G, LpG, ammesso per il rumore negli ambienti interni e in quelli destinati ad uso ufficio, pari a 85 dB(G) per 24 ore, per evitare l'insorgere di fastidi ai lavoratori ed agli abitanti, così come definito in Danimarca ed in Australia [20-21]. Tale valore risulta essere inferiore di circa 4 dB rispetto alla normativa Russa [22] (se pesati con il filtro G) per i lavoratori in ufficio e superiore di 1 dB rispetto alla medesima normativa per i valori all'interno delle abitazioni.

Inoltre, tale livello di riferimento globale (non per terzi di ottava) è circa 3 dB al di sotto della soglia di udibilità per gli infrasuoni per il 10% della popolazione, pari a circa 89 dB(G) per ogni banda di terzi di ottava.

Per i locali industriali, considerando una permanenza di 8 ore lavorative, tale valore è stato innalzato di 5 dB, portandolo a 90 dB(G) (vedi tabella 3.2.1).



Diversamente, come livello massimo di esposizione per i lavoratori, cioè il livello oltre il quale si possono avere danni alla persona e non solo fastidi, il livello di riferimento viene scelto pari a 99 dB(G) per 8 ore consecutive.

Tale livello di esposizione è 3 dB al di sotto del valore limite di esposizione per 8 ore lavorative, $L_{Gex,8h}=102$ dB, adottato in Polonia [23]. Una riduzione di 3 dB equivale a dimezzare i tempi di esposizione. Per quanto riguarda i livelli di picco, L_{picco} , poiché la soglia del dolore si può considerare indipendente dalla frequenza, il suo valore massimo accettabile è fissato a 135 dB lin, non ponderati, come dettato dalla normativa Polacca, ove siano presenti giovani o donne in gravidanza (vedi tabella 3.2.2).

Ambienti	Livelli globali massimi consentiti $L_{G_{eq}}$ [dB(G)]	Tempi di permanenza [ore]
Zone residenziali in aperto	85	24
Interno abitazioni in zone residenziali ed uffici	85	24
Locali in zone produttive non adibiti ad attività industriali	90	8
Nota: i valori indicati comprendono il contributo dovuto all'incertezza		

Tabella 3.2.1 – Livelli massimi ammissibili alle frequenze infrasoniche 2Hz ÷ 20Hz per varie tipologie di ambienti.

Livello di esp. (8 ore) [dB(G)]	Azioni
$L_{EX,8h} < 90$	Nessuna azione
$90 \leq L_{EX,8h} \leq 99$	Si suggerisce di effettuare misure specifiche integrative su sorgenti/ ambienti espositivi analoghi, al fine di garantire il rispetto dei livelli di riferimento.
$L_{EX,8h} > 99$	Intraprendere provvedimenti atti a ridurre i livelli di esposizione giornalieri affinché rientrino nei valori accettabili, come la riduzione dei <i>tempi di permanenza</i>
Nota: In aggiunta alle condizioni riportate sopra si rende necessario rispettare un livello di picco (L_{picco}) inferiore a 135 dB(Lin) in caso contrario sarà necessario intraprendere provvedimenti atti a ridurre il livello di picco.	

Tabella 3.2.2– Livelli massimi di esposizione (8 ore) per i lavoratori alle frequenze infrasoniche 2 ÷ 20 Hz

3.3 Criterio di valutazione degli ultrasuoni

Per poter misurare il livello di picco di segnali impulsivi nell'intervallo ultrasonico è necessario eliminare la componente a bassa frequenza, o non di interesse. A tal fine è stata creata una curva denominata curva V. La curva V, mostrata in Figura. 3.3.1, è stata ricavata invertendo, da passa basso a passa alto, la curva U definita nella norma EN 61012 così da escludere il campo udibile ed infrasonico nelle misure [16].

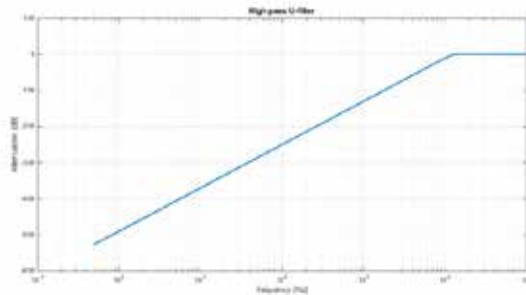


Figura 3.3.1 - Filtro V da noi definito per evidenziare la parte ultrasonica

3.4 Livelli di soglia adottati per gli ultrasuoni

La normativa Italiana non specifica valori limite per le bande ultrasoniche, perciò il livello di riferimento è stato da noi scelto tenendo conto dei limiti vigenti a livello internazionale [15]. Affinché i livelli di riferimento abbiano una continuità con la banda dell'udibile, e poiché la banda dei 20 kHz contiene frequenze udibili, i livelli di riferimento sono stati fissati al variare della banda di terzi di ottava. Nella banda dei 20 kHz il livello di riferimento è fissato a 95 dB Lin o Lp,V in modo da uniformarsi alla banda udibile pari a 85 dB(A). Infatti, a 20 kHz il filtro di ponderazione A presenta 10 dB di attenuazione. Per tutte le altre frequenze il livello di riferimento è di 110 dB lin o Lp,V (poiché oltre i 20 kHz il filtro V non agisce), valore scelto come il più basso tra i valori imposti dalle norme e leggi in vigore a livello internazionale.

Cautelativamente come livello di riferimento di picco si è scelto 137 dB, indipendentemente dal tempo di esposizione e dalla frequenza.

Stabilita la soglia di riferimento oltre la quale i livelli di esposizione non sono accettabili, si è scelto un intervallo di attenzione con livello di riferimento inferiore per ogni banda calcolato sottraendo 5 dB al massimo livello accettabile (Tabella 3.4.1), nello stesso modo di come si procede per la banda udibile. In questo caso ci si rifà alla regola dei 5 dB che risulta più cautelativa, avendo ampliato l'intervallo di attenzione rispetto ad un abbassamento di soli 3dB.

Al di sotto di tali valori mostrati in Tabella 3.4.2 nessuna azione è da intraprendere.



Frequenza	20	25	31.5	40	50	63	80	100	kHz
Livello L _{pV}	95	110	110	110	110	110	110	110	dB(Lin)
L _{picco}	< 137								dB(Lin)
Nota: i valori indicati comprendono il contributo dovuto all'incertezza									

Tabella 3.4.1 – Livelli massimi di esposizione (8h) proposti ed utilizzati per gli ultrasuoni

Frequenza	20	25	31.5	40	50	63	80	100	kHz
Livello L _{pV}	90	105	105	105	105	105	105	105	dB(Lin)
L _{picco}	< 137								dB(Lin)
Nota: i valori indicati comprendono il contributo dovuto all'incertezza									

Tabella 3.4.2 – Livelli al disotto dei quali non è richiesta alcuna nessuna azione.

Livello di esp. 8 h [dB(V)]	Azioni
$L_{EX,8h} < \text{livelli Tab. 3.4.2}$	Nessuna azione
$\text{livelli Tab. 3.4.2} \leq L_{EX,8h} \leq \text{livelli Tab. 3.4.1}$	Si suggerisce di effettuare misure specifiche integrative su sorgenti/ ambienti espositivi analoghi, al fine di garantire il rispetto dei livelli di riferimento.
$L_{EX,8h} > \text{livelli Tab. 3.4.1}$	Livello di esposizione non accettabile. Intraprendere provvedimenti atti a ridurre i livelli di esposizione giornalieri affinché rientrino nei valori accettabili, come ridurre i tempi di permanenza o uso di schermature della sorgente.
Nota: In aggiunta alle condizioni riportate sopra si rende necessario rispettare un livello di picco (L_{picco}) inferiore a 137 dB(Lin) in caso contrario sarà necessario intraprendere provvedimenti atti a ridurre il livello di picco.	

Tabella 3.4.3 – Livelli massimi di esposizione (8 ore) per i lavoratori alle frequenze ultrasoniche 20kHz ÷ 100 kHz

4. RISULTATI

Le procedure descritte nei paragrafi precedenti sono state applicate nelle campagne di misura presso alcuni siti produttivi dell'ENI per verificare il rischio di esposizione dei lavoratori agli infrasuoni ed ultrasuoni come previsto dal d.lgs. 81/2008.

Le probabili fonti di infrasuoni ed ultrasuoni sono riconducibili ai diversi macchinari presenti nell'impianto.

Le sorgenti di rumore infrasonico possono essere: i trasformatori, i motori a scoppio, i compressori, i sistemi di ventilazione e riscaldamento, i piani vibranti, gli apparati rotativi che creano vorticosità in aria, come ad esempio, eliche, generatori eolici, le turbine gas/vapore, i generatori, etc.

Invece tra le possibili sorgenti di rumore ultrasonico troviamo: gli scambiatori di calore, le caldaie, i condensatori, i sistemi di controllo di aria, le valvole, gli scaricatori di condensa, i motori, le pompe, le scatole degli ingranaggi, gli ingranaggi stessi, i ventilatori, i compressori, i convettori, i quadri meccanici/elettrici, i trasformatori, gli isolatori, le scatole di giunzione, gli interruttori, le turbine gas/vapore, i generatori, gli iniettori per la lubrificazione, i cuscinetti alta e bassa velocità.

Tra le sorgenti misurate degne di nota riportiamo: la valvola di sfiato FV 906, un alternatore da centinaia di MW collegato alla turbina a gas, una vasca ultrasonica.

La valvola di sfiato figura 4.1 presenta un segnale periodico (figura 4.1.0) con uno spettro a larga banda dagli infrasuoni agli ultrasuoni, come mostrato in figura 4.1.1. e 4.1.2. I livelli da lei emessi $Leq(G)=91.8 \text{ dB(G)}$ ed $67.3 < LeqV(f) < 76.4 \text{ dB}$ sono al di sotto dei livelli massimi. Nessuna azione è da intraprendere.

L'alternatore, mostrato in figura 4.2, presenta anche esso un uno spettro a larga banda (figura 4.2.1), che si estende dagli infrasuoni alla banda udibile per poi decrescere nella banda ultrasonica, con la portante a 100Hz. All'interno del cabinato che contiene l'alternatore sono presenti livelli di ultrasuoni $Leq(G) = 110.8 \text{ dBG}$. Con alternatore in funzione, considerati gli alti livelli di infrasuoni a cui sono sommati i valori di incertezza, si raccomanda una permanenza nel locale non superiore ai 30 minuti.

La vasca ultrasonica, mostrata in figura 4.3, presenta un'emissione a banda stretta nella banda ultrasonica a circa 45kHz (vedi figura 4.3.1 ÷ 4.3.3) con livelli equivalenti, $Leq(50\text{kHz}) = 110.9 \text{ dB}$, valore al di sopra della soglia consentita. L'uso della vasca all'interno di una cappa aspirante, con vetro di protezione, riduce i valori al ricettore a $Leq(50\text{kHz}) < 88.6 \text{ dB}$ al di sotto dei valori di attenzione.



Figura 4.1 - Valvola di sfiato FV 906



Figura 4.2 – Alternatore collegato alla turbina a gas

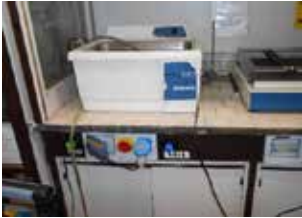


Figura 4.3 - Vasca ultrasonica, vetro di protezione alzato

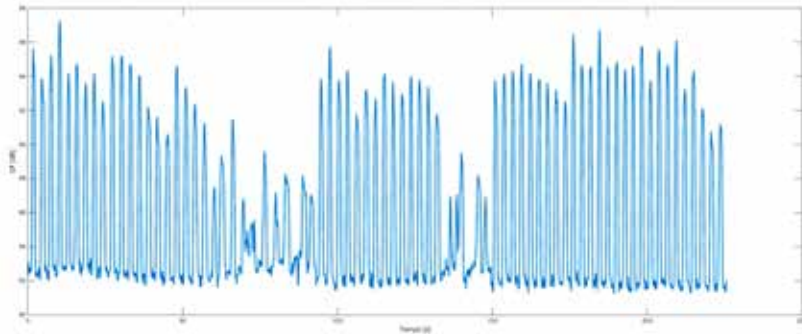


Figura 4.1.0 – Valvola di sfiato; Andamento temporale del livello di pressione sonora non ponderato

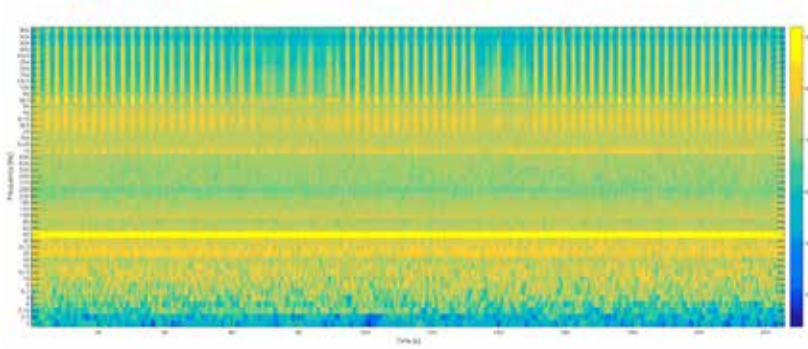


Figura 4.1.1 - Valvola di sfiato; Spettrogramma in bande di terzi di ottava nell'intervallo 2Hz ÷ 80kHz,

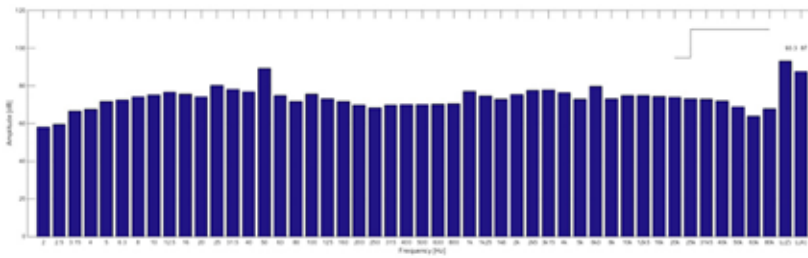


Figura 4.1.2 - Valvola di sfiato; Spettro in bande di terzi di ottava nell'intervallo 2Hz ÷ 80kHz,

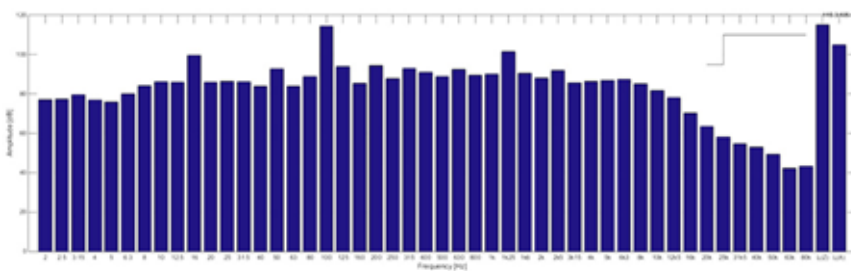


Figura 4.2.1 - Alternatore ; Spettro in bande di terzi di ottava nell'intervallo 2Hz ÷ 80kHz

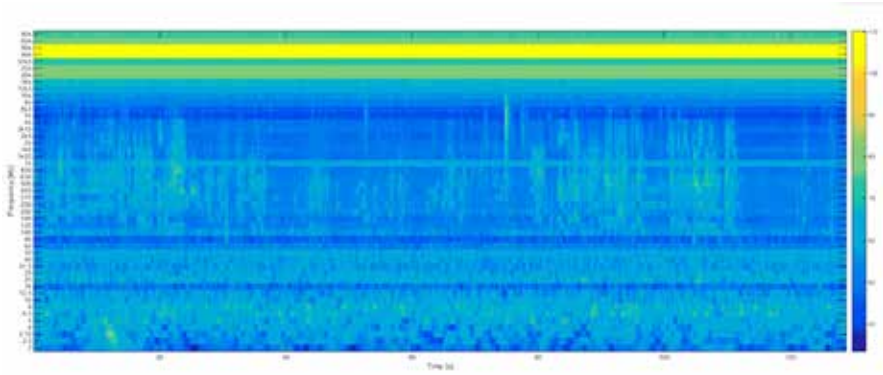


Figura 4.3.1 – Vasca ultrasonica; Spettrogramma in bande di terzi di ottava nell'intervallo 2Hz ÷ 80kHz, Microfono ultrasonico

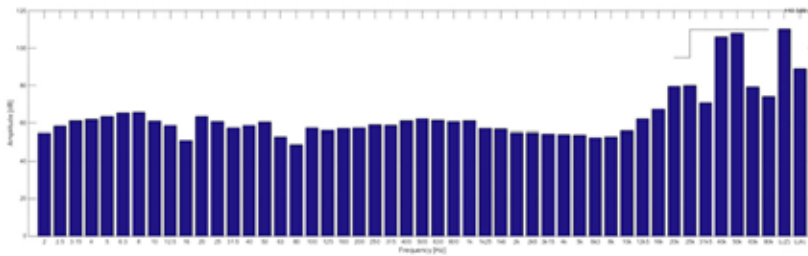


Figura 4.3.2 - Vasca ultrasonica; Spettro in bande di terzi di ottava nell'intervallo 2Hz ÷ 80kHz, Microfono ultrasonico

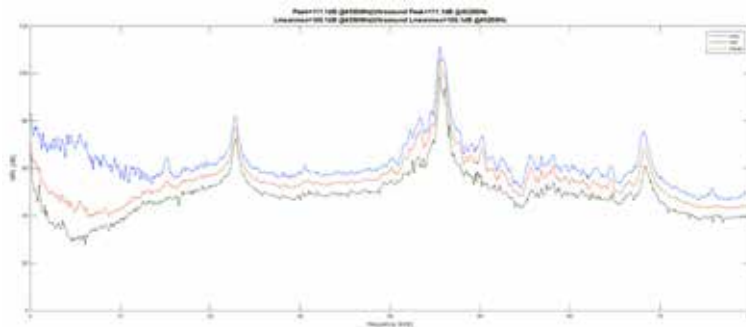


Figura 4.3.3 - Vasca ultrasonica; Spettro tramite trasformata di Fourier nell'intervallo 2Hz ÷ 80kHz, Microfono ultrasonico



5. CONCLUSIONI

In questo lavoro sono stati presentati i risultati di una ricerca condotta in collaborazione con l'Eni presso alcuni suoi siti produttivi, per dare risposta alle richieste di valutazione del rischio da infrasuoni ed ultrasuoni presenti sul testo unico sulla salute e sicurezza. Essendo la normativa tecnica e legislativa italiana carente a tal riguardo è stata condotta, inizialmente, una ricerca per approfondire come la problematica è affrontata a livello internazionale, da cui è emerso la mancanza di uniformità e non convergenza sui valori di soglia e limiti imposti sia nel campo infrasonico che ultrasonico. Dovendo scegliere dei valori a cui riferire le misure, i limiti da noi adottati sono stati scelti tra i più restrittivi a livello internazionale, abbassandoli ulteriormente, così da diminuire il tempo di esposizione consentito, per una maggiore salvaguardia del lavoratore.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia Eni S.p.A., in particolare l'Unità Radiation Protection & Physical Risk, per aver finanziato e seguito questo progetto di ricerca (ENI S.p.A. Contratto n. 2500021773)

BIBLIOGRAFIA

- [1] N.S. Yeowart, M.E. Bryan, W. Tempest, *Low-frequency noise thresholds*, Journal of Sound and Vibration, Volume 9, Issue 3, May 1969
- [2] Yeowart N.S., Bryan M.E., Tempest W. *The monaural M.A.P. threshold of hearing at frequencies from 1.5 to 100 c/s*, J. Sound Vib., 1967, V.6(3), pp. 335-342.
- [3] Yeowart N.S., Evans M.J. *Thresholds of audibility for very low-frequency pure tones*, J. Acoust. Soc. Am. (1974), Vol. 55(4), pp. 814-818.
- [4] Broner N., *The effects of low frequency noise on people—A review*, Journal of Sound and Vibration Volume 58, Issue 4, 22 June 1978, pp. 483-500
- [5] Yamada S., Kosaka T., Bunya K., Amemiya T., *Hearing of low frequency sound and influence on human body*, Proceedings of the Conference on Low Frequency Noise and Hearing, 7-9 May 1980, pp. 95-102
- [6] Moller H, Pedersen C S. *Hearing at low and infrasonic frequencies*, Noise Health 2004;6:37-57
- [7] Andresen, J., and Møller, H., “Equal annoyance contours for low frequency noise” Journal of Low Frequency Noise Vibration and active control 3, 1-9.
- [8] Møller, H. and Andresen, J., “Loudness of pure tones at low and infrasonic frequencies.” Jnl Low Freq. Noise Vibn 21, 53-65, 1984
- [9] Johnson D. L., *The Effects Of High Level Infrasonic*, Conference On Low Frequency Noise and Hearing, 1980
- [10] Landstrom U, *Human Effects Of Infrasonic*, Proceeding of the conference Internoise 2000, 2000
- [11] Johnson D. L., *Auditory and physiological effects of infrasound*, proceedings of the conference Inter-Noise, 1975
- [12] Nixon, C. W. and Johnson, D. L., *Infrasound and hearing*, In International Conference on Noise as Public Health Hazard, 1973
- [13] Dallos P. J., Linnell C. O., *Even Order Sub-harmonics in the Peripheral Auditory System*, Journal of the Acoustical Society of America, 40(3):561–564, 1966.
- [14] Acton W.I., *The effects of industrial airborne ultrasound on humans*, Ultrasonics, 12 (3), 1974, pp. 124–128
- [15] Lo Castro F., Iarossi F., De Luca M., Biancifiori C., *Valutazione del rischio infrasuoni ed ultrasuoni emessi in aria: un confronto a livello internazionale*, Atti del convegno dell’Associazione Italiana di Acustica, Aosta 2018

- [16] Lo Castro F., Iarossi F., De Luca M., Biancifiori C., *Criteri per la valutazione del rischio infrasuoni ed ultrasuoni emessi in aria, Atti del convegno dell'Associazione Italiana di Acustica, Aosta 2018*
- [17] Kjellberg A., Tesarz M., Holmberg K., Landström U., *Evaluation of frequency-weighted sound level measurements for prediction of low-frequency noise annoyance*, Environment International, Vol. 23, No. 4, 1997, pp. 519-527
- [18] World Health Organization, “*Guidelines for community noise*”, edited by Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H. Schwela, 1999
- [19] Roberts C., *Ecoaccess guideline for the assessment of low frequency noise*, Proceedings of Acoustics 2004, 2004
- [20] Miljøministeriet Miljøstyrelsen, *Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 9 1997 Lavfrekvent Støj, infralyd og vibrationer i eksternt Miljø* (traduzione: The Danish Environmental Protection Agency: Environmental Review No. 9 1997 Low frequency noise, infrasound and vibration in the environment)
- [21] C. Roberts, *Ecoaccess guideline for the assessment of low frequency noise*, Proceedings of Acoustics, 2004
- [22] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (traduzione: Regulation Of The Minister Of Labour And Social Policy of 29 November 2002. *On The Maximum Allowable Concentrations And Intensity Of Harmful Factors In The Work Environment*. Dz. U. Of 2002 No. 217, Item. 1833)
- [23] СанПиН 2.2.4./2.1.8.583-96. Физические факторы окружающей природной среды инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки (tr. Physical factors environment: Infrasound on jobs, in residential and public premises and territory residential area. Russian Ministry of Health, Moscow), 1997

d-A2018

I rischi fisici nei luoghi di lavoro

ATMOSFERE IPERBARBARICHE: L'ESPERIENZA DEL CANTIERE DELL'ISOLA DEL GIGLIO

Alessandro Giomarelli (1)

- (1) Azienda USL Toscana sud est - Direttore U.O. Tecnici d.P. PISLL sede operativa Grosseto

INTRODUZIONE

Il 13 gennaio 2012, nelle acque antistanti il porto di Isola del Giglio, è avvenuto il naufragio della nave da crociera “Costa Concordia” (figura 1). L’incidente ha comportato una parziale sommersione della nave.

La Costa Concordia è la nave passeggeri di maggior tonnellaggio mai naufragata nella storia della navigazione (72.500 tonnellate).

La decisione di portare via la nave tutta intera dal luogo del naufragio ha anch’essa rappresentato una novità senza precedenti a livello mondiale.

ORGANIZZAZIONE ATTIVITÀ LAVORATIVE

Nella rimozione del relitto della nave da crociera Costa Concordia sono state individuate quattro macro-fasi di lavoro.

1. Fase di emergenza iniziale

Questa fase ha riguardato principalmente la ricerca dei dispersi (figura 2) e l’approfondimento sulle condizioni strutturali della nave. Le attività sono state condotte dai gruppi dei sommozzatori e palombari di Carabinieri, Marina Militare e Vigili del Fuoco, sotto il Coordinamento della Protezione Civile.

2. Messa in sicurezza ambientale denominata “DEBUNKERING”

I lavori di questa fase hanno riguardato il dispiegamento delle “panne antinquinamento” (figura 3) per il contenimento intorno alla nave con doppia cintura, al fine di proteggere l’ambiente esterno alla nave da fuoriuscite di combustibile, oli e altri liquidi inquinanti.

Si è provveduto allo svuotamento delle casse di combustibile dall’esterno con il sistema HOT TAP (figura 4). Tale tecnologia consiste nell’inserire una valvola sul serbatoio da svuotare e nel praticare un foro con una punta speciale. Lo scarto del foro generato non viene disperso all’interno della condotta o del serbatoio, ma rimane saldamente ancorato alla punta speciale. Per attuare tale tecnologia, una volta posizionato il macchinario, i subacquei hanno proceduto con il taglio della lamiera della cassa contenente idrocarburi a mezzo di una fresa incorporata nel sistema HOT TAP, per mezzo del quale gli idrocarburi sono stati riscaldati al fine di fluidificarli per rendere agevole il successivo pompaggio.

È stata inoltre svolta un’indagine conoscitiva subacquea sullo stato dello scafo esterno della nave.



Figura 1: Foto dal satellite della Costa Concordia parzialmente affondata vicino all' Isola del Giglio

d-BA2018



Figura 2: Ricerca dispersi da parte dei Vigili del Fuoco



Figura 3: Dispiegamento "Panne Antinquinamento"

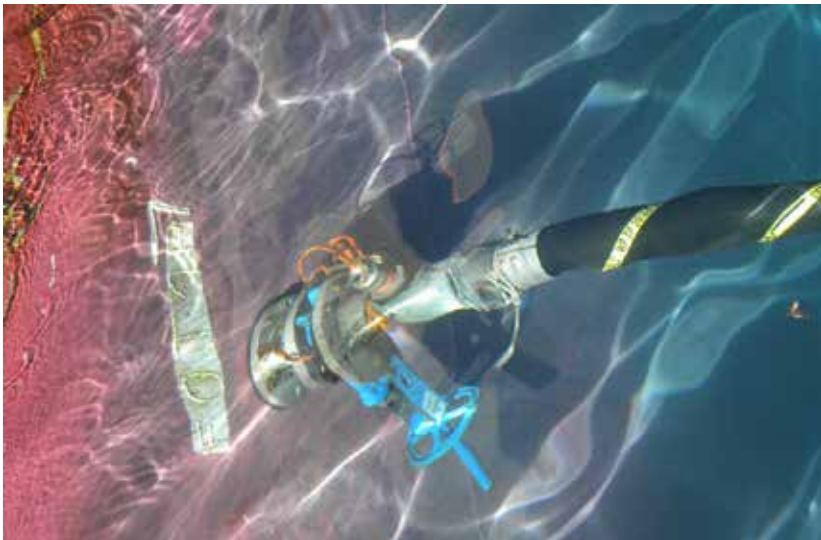


Figura 4: Pompaggio carburante mediante metodologia HOT TAP

3. Fase Mantenimento e sorveglianza denominata “CARETAKING”

In questa fase i lavori si sono concentrati sulla gestione delle panne antinquinamento onde prevenire eventuali sversamenti di combustibile, olii e altri liquidi inquinanti sia dall'interno della nave che dallo squarcio che era sulla sua fiancata.

Si è iniziato, inoltre, a rimuovere i rifiuti più voluminosi sia galleggianti che sul fondale.

4. Fase di rimozione denominata “WRECK REMOVAL”

Si è trattato della fase più importante delle attività lavorative e ha portato a raddrizzare e a far rigalleggiare la Costa Concordia.

Preliminarmente sono state eseguite attività ispettive del sito e a bordo del relitto, attività subacquee, ispezioni video, ispezioni batimetriche, ispezioni del fondo e prove di penetrazione per l'installazione dei pali.

È stata prevista la riparazione della falla sinistra della nave previa rimozione della roccia conficcata nella chiglia, la predisposizione di un sistema di ritenuta indispensabile a garantire la posizione di equilibrio e si è proceduto al consolidamento della chiglia tramite fasce di lamiera.

Le ulteriori attività lavorative di questa fase sono state le seguenti:

- realizzazione dei primi quattro *Anchor Block* (dispositivi di ancoraggio dei cavi di ritenuta), su dodici complessivi, aventi lo scopo di stabilizzare il relitto (figura 5);
- realizzazione dei rimanenti otto *Anchor Block* finalizzati a sostenere il relitto durante la rotazione;
- perforazione e posa in opera dei pali in acciaio di sostegno alla successiva posa in opera delle piattaforme (figura 7);
- posa in opera dei *grout bags* (sacchi e materassi di malta cementizia) sotto la chiglia e sulle piattaforme;
- posa in opera dei serbatoi di spinta (figura 6) sul lato sinistro del relitto;
- *Parbuckling* ossia rotazione del relitto;
- opere per garantire la stabilità e la integrità strutturale del relitto durante il periodo invernale 2013/14;
- installazione dei cassoni di spinta lato di dritta del relitto;
- ri-galleggiamento e riconsegna del relitto in un porto italiano.



Figura 5: Anchor Block utilizzato per la stabilizzazione relitto



Figura 6: Distanziatori utilizzati per appoggiare i cassoni di spinta

d-A2018



Figura 7: Inserimento fondale piattaforme



Figura 8: collegamento piastre di protezione con bulloni autopercoranti

Successivamente alla rimozione del relitto, si è proceduto all'ultima fase, ovvero:

5. Fase di ripristino del fondale denominata "SITE REMEDIATION"

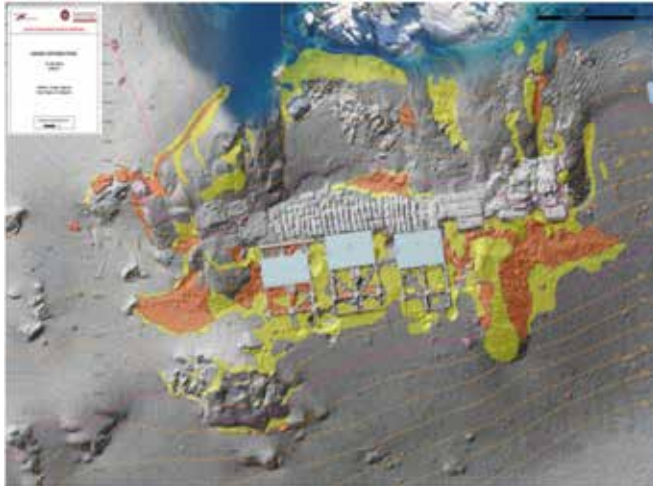


Figura 9: area da ripristinare

Va evidenziato che l'area da bonificare (figura 9) aveva la seguente distribuzione:

- Materiali in zone di accumulo per un'area di 23.681 m²
- Materiali sparsi per un'area di 4.560 m²
- Materiali nelle aree dove era ubicato il relitto (area dei grout-bags e piattaforme) per 4.100 m²
- Presenze sporadiche di materiali per un'area di 19.013 m²
- Presenza di circa 100 corpi morti (blocchi di cemento).

La distribuzione dei sedimenti era la seguente:

- Area stimata di circa 1.400 m² di sedimenti e water-glass sul fondo al di sotto delle piattaforme principali
- Area stimata di circa 1.200 m² di sedimenti e water-glass sul top delle piattaforme principali
- Area stimata di circa 18.000 m² di sedimenti fini e cemento (strati leggeri) dispersi a una profondità che varia dai 25 agli 80 m di profondità.

ATTIVITÀ IPERBARICHE

La realizzazione della fase di WRECK REMOVAL ha coinvolto quattrocentocinquanta (450) persone impiegate in turni organizzati, 24 ore su 24 compresi i festivi, con centocinquanta (150) subacquei di nazionalità diverse che hanno realizzato oltre 12.000 immersioni.

La realizzazione della fase SITE REMEDIATION ha coinvolto per il basso fondale quindici (15) subacquei al giorno che hanno realizzato oltre 7.151 immersioni, mentre per l'alto fondale il numero di subacquei impiegato è stato di sei (6) al giorno, per un numero di immersioni pari a 4.140.

Per le operazioni che riguardavano il coinvolgimento dei sub, per la gestione della sicurezza dei lavoratori, ogni ditta aveva il proprio RSPP (Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione) o l'ASPP (Addetto al Servizio di Prevenzione e Protezione) e l'HSE (*Health and Safety Executive* - personale che si occupa di salute e sicurezza) dell'imbarcazione d'appoggio oltre alla squadra di HSE di cantiere che aveva il controllo di tutte le operazioni. Per ogni immersione era inoltre previsto il preposto delle lavorazioni svolte sull'imbarcazione dai sub (*Salvage Supervisor*) e il preposto (*supervisor divers*) che controllava il comportamento del sub durante le lavorazioni subacquee, tramite telecamera posta sul casco del sub e sul ROV (*Remotely Operated Vehicle* - sottomarino a comando remoto).

Prima di effettuare le lavorazioni, il *Salvage Supervisor* delle attività effettuava riunioni di pianificazione delle modalità di espletamento delle lavorazioni con i sub che partecipavano alle lavorazioni; inoltre, giornalmente, prima dell'inizio turno, informava il personale sull'attività giornaliera da svolgere e ne effettuava la supervisione. Durante la riunione di pianificazione venivano fatti vedere i filmati dell'area di lavoro effettuati con il ROV. Inoltre, giornalmente, veniva effettuato un controllo dell'area di lavoro tramite immagini ricevute dai ROV.

I turni di immersioni prevedevano un *Diver* in immersione mentre il secondo stava in standby, a meno che le lavorazioni non avessero richiesto un impegno diverso. In tal caso si potevano avere due *divers* che si immergevano ed un terzo che si trovava in standby.

Per quanto riguarda le modalità di immersione e di compensazione per il ritorno in superficie degli operatori subacquei, vi erano metodologie distinte tra sub di nazionalità italiana e sub stranieri. La differenza metodologica tra le modalità di operare tra i sub era molto evidente durante la decompressione. In questa fase i sub italiani facevano delle soste ad altezze prestabilite dalle tabelle di decompressione, secondo la profondità raggiunta durante il lavoro, mentre gli stranieri non facevano soste durante l'emersione ma, appena arrivati in superficie, entro tre/quattro minuti venivano collocati in camera iperbarica. Questa differenza, dovuta alle diversità metodologiche,

era dovuta al fatto che i sub stranieri si basavano sulle linee operative per immersione espletate nel *U.S. Navy Diving Manual*.

Le modalità lavorative appena descritte hanno portato ad avere in cantiere e sulle imbarcazioni un alto numero di camere iperbariche. Tale cospicua presenza ha portato a decidere che, per ogni turno di lavoro dei sub o per ogni gruppo di subacquei, vi fosse almeno un tecnico iperbarico specializzato identificato nel responsabile del gruppo. Tale organizzazione veniva tenuta sotto controllo giornalmente dal team di HSE di cantiere. Tutte le camere iperbariche presenti erano certificate. In più, quelle presenti sulle imbarcazioni erano dotate di un certificato di verifica e controllo del Registro Navale Italiano (RINA – figura 10).

Per tutta la durata delle lavorazioni in cantiere è stato presente un medico di cantiere avente la specializzazione in Medicina Iperbarica.

Nella fase di ripristino ambientale per le operazioni che riguardavano profondità è stato utilizzato il sistema di lavoro *diving in saturazione*. La tecnica di immersione in “saturazione” si basa sul principio fisico, noto come Legge di Henry, secondo cui un gas che esercita una pressione sulla superficie di un liquido vi entra in soluzione fin tanto che ha raggiunto, all'interno del liquido stesso, il medesimo valore di pressione che vi esercitava sopra. In tal modo la durata dell'esposizione a un gas inerte a pressione elevata, da parte del corpo umano, eguaglia il tempo richiesto da quel gas per raggiungere lo stesso livello di pressione in tutti i tessuti del corpo. Raggiunta tale condizione, tutti i tessuti risultano essere saturi, non consentendo ad altri gas di dissolversi in essi; la quantità di tempo necessaria per la decompressione rimane invariata indipendentemente dal tempo trascorso alla quota di immersione.

All'interno della camera iperbarica dell'Impianto di Saturazione "AF02" a bordo dell'imbarcazione, i *divers* respirano una miscela di elio e ossigeno (He/O₂).

Il gas inerte è rappresentato dall'elio, più solubile nel sangue dell'azoto, rispetto al quale si diffonde 2,5 volte più velocemente, eliminando così i rischi di narcosi da azoto. I *divers* che lavorano in saturazione vivono, per un periodo medio di 28 giorni, all'interno dell'habitat, costituito dalle macro aree indicate nello sketch di figura 11.

La camera iperbarica e l'HRC (*Hyperbaric Rescue Chamber*) sono dotate di luci interne, sistema di riscaldamento e controllo umidità, un sistema di comunicazioni con la *control room* e sono controllate dall'esterno per mezzo di telecamere con dispositivo di registrazione 24 ore su 24. I passa oggetti denominati "foodlock" (figura 12) permettono il trasferimento dall'esterno di cibi, bevande e di qualsiasi altra cosa i *divers* possano avere necessità.



Figura 10: Verifica RINA camera iperbarica

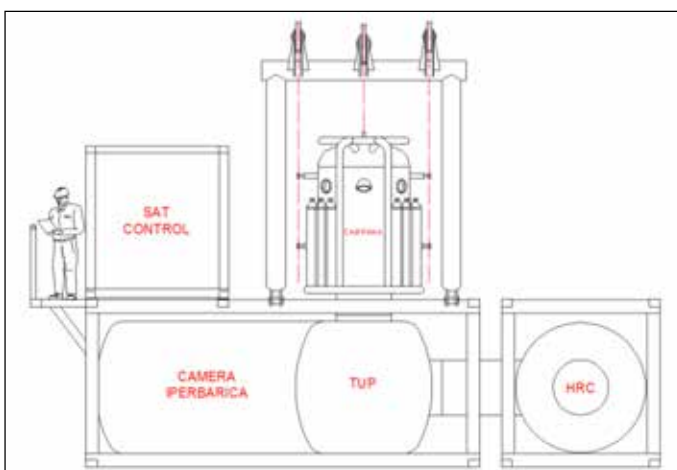


Figura 11: Schema impianto installato su imbarcazioni per lavoro divers in saturazione



Figura 12: foodlock, passaggio tra esterno e interno e viceversa di cibo ed altro

Il lavoro subacqueo vero e proprio è eseguito da due operatori alla volta. Questi, dopo che il supervisore ed il LSS (*Life Support Supervisor*) hanno chiuso i relativi portelli, passano dalla camera iperbarica di superficie alla campana d'immersione, che viene scollegata dall'habitat e sostenuta da un cavo di forza in acciaio e da un ombelicale per il passaggio dei gas di respirazione, elettricità e acqua calda.

La campana viene immersa in acqua e portata alla quota di lavoro (quota di *storage* dove la pressione interna alla campana è uguale alla pressione idrostatica esterna) per mezzo di un sistema chiamato LARS (*Launch And Recovery System*). La campana può essere considerata come un ascensore iperbarico per portare i *divers* alla quota di lavoro e per poi riportarli in superficie una volta terminato il turno di lavoro o il lavoro stesso.

Una volta raggiunta la quota di lavoro, attraverso il portello gli operatori escono dalla campana uno alla volta, rimanendo vincolati a essa tramite un ombelicale che, oltre a portare la miscela respiratoria direttamente all'interno del casco, ha una serie di cavi per il collegamento audio video con la superficie e una manichetta per l'acqua calda. Le mute dei *divers* che lavorano in saturazione sono speciali "mute ad acqua calda" e hanno una "rete" di serpentine che diffondono acqua calda attorno al corpo del *diver*, creando un ambiente più confortevole.

Mentre il primo *diver* svolge il proprio turno di lavoro, normalmente della durata di quattro ore, l'altro attende all'interno della campana, pronto a intervenire in caso di emergenza. Dopo le prime quattro ore i due si scambiano i ruoli e, al termine delle complessive otto ore, la campana è riportata in superficie e i *divers*, passando attraverso il TUP (*Transfer Under Pressure*), rientrano all'interno dell'habitat iperbarico. A questo punto

d-A2018

dall'habitat entra in campana la seconda coppia di *divers*; questi, trasferiti alla quota di lavoro, riprendono le operazioni dal punto in cui le aveva lasciate la coppia precedente.

A bordo dell'imbarcazione è installata la cabina di controllo saturazione (SAT Control), dove il Supervisore in turno dirige tutte le operazioni subacquee sotto le linee guida del Diving Superintendent. Sempre nella SAT Control vi è un pannello per le analisi dei gas, che include: valvole di pressurizzazione, valvole di scarico, riduttori di pressione, manometri, analizzatori e tutto il necessario al controllo dei parametri vitali dei *divers* in saturazione.

L'HRC (*Hyperbaric Rescue Chamber*) è una camera di decompressione di emergenza: in caso di necessità viene lanciata fuori bordo per mezzo di pistoni idraulici o gru dell'imbarcazione. I *divers* al suo interno saranno in grado di iniziare la decompressione d'emergenza anche con l'HRC separata dall'unità navale, fino all'intervento di un'altra unità con a bordo il sistema FAP (*FLY AWAY PACKAGE*) per poi terminare la decompressione e uscire dall'HRC. Il sistema di lavoro con *divers* in saturazione prevede operazioni complesse e rischiose che richiedono formazione specifica e l'uso di attrezzature sofisticate; ogni membro della squadra è qualificato per i compiti da svolgere ed è in grado di attuare le relative procedure operative e di emergenza.

La squadra Diving era così composta:

- n. 1 Diving Superintendent
- n. 2 Supervisor Diving
- n. 1 LSS (*Life Support Supervisor*)
- n. 1 LST (*Life Support Technician*)
- n. 2 ALST (*Assistant Life Support Technician*)
- n. 6 subacquei all'interno dell'ambiente di saturazione
- n. 2 tecnici dell'impianto (elettricista e meccanico)
- n. 8 divers in assistenza in coperta

Indistintamente per tutti i sub che hanno preso parte ai lavori del cantiere, oltre alla documentazione prevista dalla normativa di sicurezza sul lavoro, sono state raccolte informazioni, sia in formato cartaceo che elettronico, riguardanti le generalità e la nazionalità, il luogo in cui in cantiere prestava servizio, il certificato di idoneità annuale per poter espletare le funzioni di operatore tecnico subacqueo e la fornitura delle attrezzature per l'attività subacquea.

CONCLUSIONI

L'unicità a livello mondiale del progetto di rimozione ha portato a far sì che alcune operazioni fossero uniche in quanto mai effettuate prima di allora. I sub si sono trovati a lavorare in una piccola zona di mare in cui vi era anche



la presenza di numerosi mezzi navali (fino a 38). Seppur presentata e approvata qualche settimana prima nell'ambito di rilascio dell'autorizzazione dei vari pacchetti lavorativi, la documentazione di sicurezza subiva continue evoluzioni riguardanti le procedure lavorative elaborate giornalmente dal Team di HSE e approvate dal CSE dopo le riunioni che si tenevano a fine giornata per la programmazione e la gestione delle lavorazioni del giorno successivo. La gestione di questa documentazione veniva effettuata tramite portale dedicato al quale avevano accesso, oltre all'insieme delle figure che si occupavano di sicurezza del cantiere, anche il personale ispettivo dell' Azienda Sanitaria Locale. La documentazione così prodotta poteva essere, in qualche caso, priva di approfondimenti di valutazione di alcuni rischi che si venivano a creare sul momento, a causa della molteplicità di lavorazioni che si effettuavano. Questa criticità veniva superata anche con il continuo contatto tra il coordinatore del gruppo di HSE presenti in cantiere ed il personale ispettivo del Servizio di Prevenzione Igiene e Sicurezza nei Luoghi di Lavoro dell'Azienda Sanitaria Locale. Tale modo di agire è stato formalizzato con apposite procedure, utilizzate altresì ogni qual volta si sono verificati eventi avversi, anche non importanti. Un sub, purtroppo, ha perso la vita per un infortunio dovuto alla mancata applicazione delle procedure previste all'interno del cantiere. Per questo infortunio mortale è in corso un dibattito.

L'impianto complessivo del sistema di gestione della sicurezza di questo cantiere si è dimostrato comunque efficace, nonostante la elevata complessità e l'assoluta novità delle modalità operative attuate.



RINA
TEST CERTIFICATE
CERTIFICATO DI COLLAUDO

N. 1

RINA Via Po, 15
00198 ROMA (RM)
Manufacturing by:
Società:
Indirizzo e Città:
MICOPHONEL - RAVENNA
Ricevitore:
Indirizzo e Città:
FERRARESE - BOLOGNA

VERBA IN TO ENTER that the items, particulars of which are given below, have been tested and found to be in compliance with the requirements of the RINA rules.
In conformità alle regole, specificate, in un apposito stato di regole indicate, sono stati sottoposti al collaudo e sono stati
The certificate certifies that the items, particulars of which are given below, have been tested and found to be in compliance with the requirements of the RINA rules.
This certificate certifies that the items, particulars of which are given below, have been tested and found to be in compliance with the requirements of the RINA rules.
This certificate certifies that the items, particulars of which are given below, have been tested and found to be in compliance with the requirements of the RINA rules.
This certificate certifies that the items, particulars of which are given below, have been tested and found to be in compliance with the requirements of the RINA rules.
REGOLAZIONE SA 01414 ECHOMANCA FALCONEI composto da n° 4 nautici. (Dato nautico)
N. 10100011330, S. 00010001330, S. 10300 01330, S. 13400

Validità (months):
12

Spedizione a:
- Ufficio di competenza di Milano:
- Ufficio di competenza della provincia di 01 (RM)
- Piacenza via della Libertà

Markings:
Nautico: 0014401573-1-000-000107-40 BAR 10.2014
Testing Date:
15/10/2014

Examination report:
Issued at:
FERRARA
15/10/2014
RINA
REGISTRO ITALIANO NAVALE

Figura 13: Verifica RINA impianto saturazione

BIBLIOGRAFIA

- [1]. REGIO DECRETO 30 marzo 1942 n. 327 “Approvazione del testo definitivo del Codice della Navigazione” Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 93 del 18 aprile 1942 - Modifica e Integrato fino al Decreto Legislativo 19 gennaio 2017 n. 5 pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 27 gennaio 2017 n. 22;
- [2]. LEGGE 23 maggio 1980 n. 313 “Adesione alla convenzione internazionale del 1974 per la salvaguardia della vita umana in mare, con allegato, aperta alla firma a Londra il 1 novembre 1974, e sua esecuzione.” Pubblica Gazzetta Ufficiale n. 190 del 12 luglio 1980 – Supplemento Ordinario n. 2;
- [3]. DECRETO LEGISLATIVO 27 luglio 1999, n. 271 “Adeguamento della normativa sulla sicurezza e salute dei lavoratori marittimi a bordo delle navi mercantili da pesca nazionali, a norma della L.31 dicembre 1998, n. 485.” Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale 9 agosto 1999, n. 185, Supplemento Ordinario n.151;
- [4]. DECRETO LEGISLATIVO 27 luglio 1999, n. 272 "Adeguamento della normativa sulla sicurezza e salute dei lavoratori nell'espletamento di operazioni e servizi portuali, nonché di operazioni di manutenzione, riparazione e trasformazione delle navi in ambito portuale, a norma

- della legge 31 dicembre 1998, n. 485" pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* del 9 agosto 1999 n. 185, Supplemento Ordinario n. 151;
- [5]. 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." Pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* n. 101 del 30 aprile 2008 - Supplemento Ordinario n. 108 e Decreto integrativo e correttivo: *Gazzetta Ufficiale* n. 180 del 05 agosto 2009 - Supplemento Ordinario n. 142/L;
- [6]. DECRETO LEGGE 24 gennaio 2012 n.1 "Disposizioni urgenti per la concorrenza, lo sviluppo delle infrastrutture e la competitività" Convertito dalla LEGGE 24 marzo 2012 n. 27;
- [7]. UNI 11366 anno 2010 "Sicurezza e tutela della salute nelle attività subacquee ed iperbariche professionali al servizio dell'industria-Procedure operative".

d-A2018

I rischi fisici nei luoghi di lavoro

RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI: PATOLOGIE OCULARI DA ROA

Enrica Zinzini

Medico Oculista a RLP Sede INAIL di Brescia

I meccanismi biochimici all'origine del fenomeno della visione riconoscono come primo induttore l'interazione della radiazione luminosa con i segmenti esterni dei fotorecettori retinici; dal punto di vista biochimico si tratta di processi ossidativi che inducono modificazione del potenziale delle membrane cellulari ottenendosi quindi una trasduzione del fenomeno chimico in segnale bioelettrico. Il fisiologico lavoro cellulare induce così la formazione di Reactive Oxygen Species (ROS) che vengono neutralizzati dai sistemi antiossidanti, enzimatici e non enzimatici, intra ed extracellulari.

In condizioni normali si realizza quindi un bilancio ossido-riduttivo a difesa della funzione cellulare e dell'integrità dei tessuti.

Fattori ambientali, individuali, caratteristiche inerenti le radiazioni ottiche naturali e artificiali che raggiungono l'occhio, i tempi di esposizione, ecc. possono condurre ad uno sbilancio di questo equilibrio (balance → embalance ossido-riduttivo) ed al superamento delle soglie di compensazione tissutale nei confronti dei ROS. Il potenziale lesivo di tali sostanze si manifesta con modificazione del DNA, denaturazione di proteine strutturali ed enzimi, alterazione delle membrane cellulari. [1,2]

I quadri patologici oculari indipendentemente dal distretto interessato riconoscono questo meccanismo patogenetico comune.

ANNESI OCULARI

Gli annessi oculari (ciglia e sopracciglia, palpebre, congiuntiva) rappresentano la prima barriera di protezione del bulbo nei confronti di vari agenti ambientali.

L'esposizione a radiazione ottica acuta a UV e IR può determinare una lesione termica di ciglia e sopracciglia con conglutinazione, possibile caduta o anche perdita definitiva delle stesse in seguito a degenerazione del bulbo pilifero (madarosi).

Le palpebre, come altri distretti cutanei, possono essere sede di eritema, edema anche significativo sia per l'esposizione diretta alla radiazione, o più spesso contestualmente a lesioni di cornea e congiuntiva. Pure da considerare per questo distretto le lesioni da fotoinvecchiamento e fotocancerogenesi.



Fig. 1 Congiuntivite attinica

A livello congiuntivale può manifestarsi la **congiuntivite attinica** (Fig.1), anch'essa correlata ad esposizione a UVA-B e IRB-C [3,4,7]. I sintomi soggettivi sono rappresentati da lacrimazione, bruciore e visione instabile correlata all'iperlacrimazione. In questi casi alla flogosi congiuntivale può contribuire anche l'effetto del contatto con i fumi esalati dalla saldatura. Il quadro obiettivo non differisce sostanzialmente da altre cause di flogosi congiuntivale salvo che per il fatto che è bilaterale, contemporanea e perlopiù simmetrica.

Le suddette manifestazioni cliniche hanno prognosi favorevole potendosi risolvere in breve tempo con l'astensione dall'esposizione associata a terapia locale antinfiammatoria e lubrificante.

Vi è però da sottolineare che esposizioni croniche possono portare a modificazioni permanenti della composizione del film lacrimale, soprattutto per la riduzione del suo strato mucoso, da deplezione delle cellule calciformi mucipare della congiuntiva. Si può così determinare una condizione di dis/ipolacrimia che richiede trattamento cronico con sostituti lacrimali.

Pterigio: [5] è una patologia degenerativa ed iperplastica della congiuntiva che riconosce una genesi multifattoriale che comprende fattori di rischio intrinseci (alterazioni croniche del film lacrimale, flogosi congiuntivali

croniche, ipovitaminosi A, ereditarietà) ed estrinseci rappresentati dall'esposizione cronica a radiazione UV e IR sia naturale che artificiale. Le categorie di lavoratori più esposte a tale patologia sono agricoltori, marinai, muratori, saldatori, falegnami. L'azione delle radiazioni ottiche naturali è anche dimostrata dal dato epidemiologico che indica una prevalenza dello pterigio nelle popolazioni inversamente proporzionale alla latitudine.

Clinicamente si manifesta come una escrescenza della congiuntiva limbare (in corrispondenza della periferia della cornea), più frequente dal lato nasale (90%) e ricondotta ad un fenomeno di scattering stromale della radiazione ottica, per il quale la luce proveniente dal lato temporale si concentra al limbus nasale, mentre quella proveniente dal lato opposto viene mitigata dalla piramide nasale.

Ha forma triangolare con apice rivolto alla cornea, progredisce lentamente su di essa come un tessuto lattescente e più o meno vascolarizzato, anche a seconda del grado di attività della lesione. Nelle fasi iniziali può indurre fenomeni irritativi modesti o essere asintomatico; progredendo, i fenomeni infiammatori peggiorano e si determinano astigmatismo (modificazione della curvatura corneale) e fenomeni di diffrazione con diminuzione del visus; quando raggiunge la zona ottica corneale la riduzione visiva può essere molto invalidante (Fig.2).

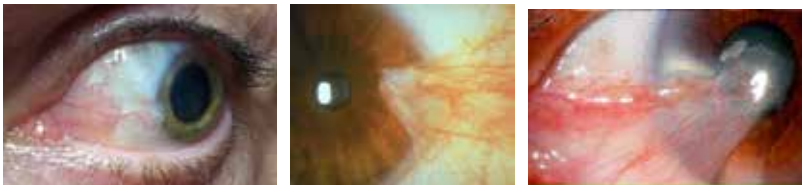


Fig.2 Fasi evolutive dello pterigio

La terapia locale dei disturbi irritativi è sintomatica con colliri antinfiammatori FANS e steroidei. La chirurgia rappresenta il trattamento di elezione dello pterigio ed è indicata in presenza di una riduzione del visus e di sintomatologia irritativa persistente. Sono possibili recidive che possono avere caratteri evolutivi più aggressivi rispetto alla lesione primitiva. In rari casi plurirecividivi può manifestarsi una metaplasia epidermoide (lesione precancerosa), la trasformazione carcinomatosa, ancora più infrequente, si riscontra in occidente nell'1-1.5% dei casi con lesione precancerosa.

CORNEA

Cheratocongiuntivite attinica: rappresenta indubbiamente il quadro clinico di più frequente osservazione e correlato all'esposizione a UVA-B e IRB-C [3,4,6] La sintomatologia dolorosa ed il senso di corpo estraneo sono dovuti alla disepitelizzazione corneale (fig. 3-4-5) che espone le numerosissime

terminazioni nervose corneali. La sollecitazione delle terminazioni sensitive corneali, soprattutto in caso di disepitelizzazioni estese, può anche essere accompagnata da sintomi generali neurovegetativi. Vi è sempre un risentimento flogistico della congiuntiva, iperlacrimazione, eritema ed edema palpebrale ed offuscamento visivo correlato alla perdita temporanea della trasparenza e della specularità corneale (fig.4).



Fig.3: cornea normale, notare la specularità della superficie corneale (freccia gialla)



Fig.4: cornea disepitelizzata, perdita della specularità (freccia azzurra)



Fig.5: disepitelizzazione corneale evidenziata con fluoresceina sodica

La prognosi è perlopiù favorevole; la cornea può giungere a completa riepitelizzazione mediante astensione dall'esposizione e con terapia locale a base di colliri ed unguenti oftalmici ad azione antibiotica, riepitelizzante e lubrificante, anche associati a bendaggio oculare per 48-72 ore. In caso di lesioni estese l'impiego di sostituti lacrimali anche a lungo termine risulta utile alla stabilizzazione dei processi riparativi epiteliali.

Nota a margine: è di frequente riscontro la somministrazione locale non controllata di colliri anestetici oculari che, pur agendo efficacemente sulla sintomatologia dolorosa, possono risultare tossici per l'epitelio corneale. L'abuso di tali sostanze non fa altro che sommare la lesività fisica a quella chimica, potendo aggravare o complicare il quadro patologico e la sua prognosi.

CRISTALLINO

Il cristallino è altamente suscettibile allo stress ossidativo in ragione del fatto che le sue cellule e le proteine intracellulari non sono soggette né a turn over né a sostituzione; questo pone le basi della catarattogenesi.

La cataratta in generale, rappresenta la perdita di trasparenza di vario grado del cristallino. Il cristallino assorbe circa il 45% della radiazione UVA, che viene chiamata in causa, in associazione ai fisiologici fenomeni di senescenza, nella genesi anche della più comune cataratta correlata all'età.

L'esposizione reiterata a basse dosi di tale radiazione induce un'accelerazione dei processi degenerativi delle strutture del cristallino ai quali consegue la perdita di trasparenza dell'organo [6.7.8].

I sintomi iniziali sono rappresentati da diffrazione delle fonti luminose intense soprattutto nelle ore crepuscolari e notturne (lampade, far delle auto, ecc.); nelle fasi successive si assiste a progressiva riduzione del visus. L'opacità del cristallino dovuta a esposizione lavorativa non presenta caratteristiche peculiari, salvo in alcuni rari casi (fig 6c), pertanto essa risulta perlopiù indistinguibile dalla cataratta senile o di altra natura (traumatica, complicata, ecc.). Ciò che può consentire una diagnosi etiologica di patologia correlata all'esposizione lavorativa a UVA, escluse tutte le altre possibili cause e fattori predisponenti individuali (patologie sistemiche e/o oculari), è l'età di insorgenza che sarà ben più precoce (cataratta presenile) e l'evidenza obiettiva di bilateralità ed evoluzione simmetrica in entrambi gli occhi.



a) cataratta cortico nucleare

b) cataratta da radiazioni: l'opacità corrisponde al margine del forame pupillare

c) pteriglio e cataratta da esposizione UV

Fig. 6

Se però consideriamo il generale innalzamento del limite superiore di età lavorativa e l'eventuale più frequente coesistenza in queste età di patologie sistemiche e/o oculari potenzialmente catarattogenetiche, si può comprendere come una diagnosi etiologica di cataratta da esposizione a radiazione possa non sempre essere agevole.

Notoriamente il trattamento è chirurgico e le attuali tecniche chirurgiche consentono un recupero funzionale ottimale in tempi brevi, nella gran parte dei casi.

CORPO VITREO

Il vitreo o gel vitreale è una struttura che occupa lo spazio compreso tra cristallino e superficie retinica. La matrice gel del vitreo è sostenuta da fibrille collagene e risulta perfettamente trasparente; assorbe una quota residuale di radiazione UVA (<1%).

L'esposizione prolungata o reiterata a basse dosi di UV ma soprattutto di IR [8,12] può determinare un aumento di temperatura (4-5°) che genera

rottura delle fibrille collagene e fluidificazione del gel. I sintomi sono rappresentati dalla visione di corpi mobili vitreali (floaters, mosche volanti; fig. 7) che, generalmente, determinano variazioni qualitative in particolari condizioni. Non provocano invece riduzioni della capacità visiva.

La comparsa di questo sintomo comunque può presagire la potenziale insorgenza di problemi a carico della retina in relazione all'aumento della temperatura.



Fig. 7

RETINA

Le strutture oculari anteriori alla retina provvedono all'assorbimento quasi totale della radiazione UV. La radiazione visibile (VIS) attraversa immodificata il bulbo oculare come pure la radiazione IR-A, mentre la IR-B e C vengono assorbite da film lacrimale, congiuntiva e cornea (fig. 8).

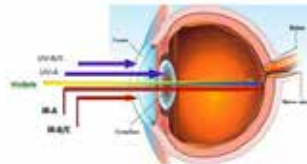


Fig. 8

Il danno retinico da radiazione può essere fotochimico o fototermico a seconda della lunghezza d'onda dei raggi incidenti. La lesione fotochimica è provocata da lunghezze d'onda comprese tra 380 e 550 nm (VIS blu-violetta) che inducono reazioni fotochimiche intraretiniche con incremento termico di 4-5°. Le lesioni termiche si determinano per lunghezze d'onda comprese tra 380 e 700nm (VIS) e fino al 1480 nm (IR-A) con incremento della temperatura retinica di oltre 15° che determina fotocoagulazione del tessuto [12].

Maculopatia dei saldatori: rappresenta una patologia infrequente dovuta alle emissioni delle saldatrici ad arco; le radiazioni responsabili sono la VIS tra 400 e 440 nm e quella porzione di spettro UV-B che non viene assorbito

dalla cornea e dal cristallino (300-310 nm) [6,8]. Il tipo di lesione (fig. 9) è sia foto chimica che foto termica e interessa prevalentemente la giunzione tra segmento interno e segmento esterno dei fotorecettori, mentre gli strati retinici vicini rimangono intatti, analogamente alla maculopatia da eclissi.

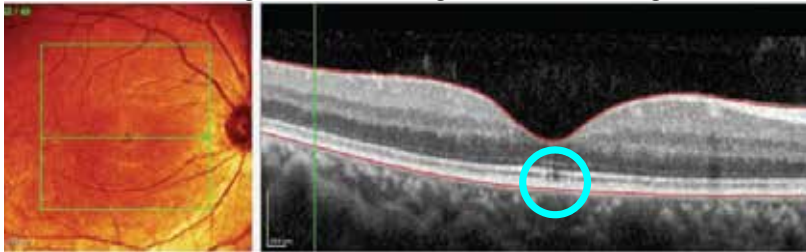


Fig. 9

La lesione è perlopiù monolaterale e può passare del tutto inavvertita; la sintomatologia, quando presente, è rappresentata da percezione di scotoma centrale, visione di oggetti rossi (eritropsia) e raramente riduzione del visus. La prognosi è il più delle volte favorevole con risoluzione dei disturbi anche spontanea, ma dipende dall'estensione della lesione stessa.

In letteratura si trovano isolati report di comparsa a distanza di tempo di neovascolarizzazione sottoretinica con gravi conseguenze visive [8].

I fattori di rischio sono sostanzialmente rappresentati dalla durata dell'attività lavorativa, dal tempo di esposizione e dal grado di protezione [12].

Alcuni studi indicano che elevati livelli serici di luteina agiscono come fattore protettivo.

Maculopatia fototossica: patologia correlata a prolungata esposizione ad emissioni UVA-B e IR-A; è stata rilevata nei saldatori ad arco, guide alpine, pazienti sottoposti a chirurgia oculare con exo e/o endoilluminazione. Le lesioni retiniche rilevate interessano lo strato recettoriale retinico e l'epitelio pigmentato retinico (RPE).

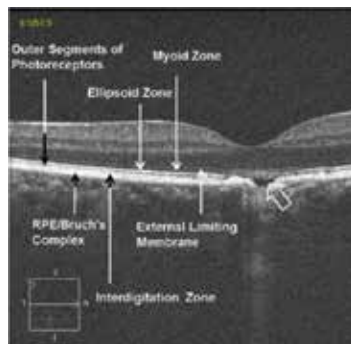


Fig. 10

L'immagine di fig. 10 illustra una lesione fototossica della macula di OD in una lavoratrice che eseguiva le proprie mansioni a 70 cm di distanza da un riscaldatore a IR al quarzo posto alla sua destra [14].

I sintomi lamentati erano rappresentati da offuscamento, calo visivo in OD e metamorfopsie (distorsione immagini).

I disturbi si attenuarono lentamente dopo rimozione della fonte di IR, iniezione parabolbare di steroidi ed assunzione integratori per os. Il recupero funzionale completo si ottenne dopo 10-12 mesi.

ALTRE PATOLOGIE OCULARI A PROBABILE CORRELAZIONE CON ESPOSIZIONE A ROA

Melanoma congiuntivale: rappresenta il 2% dei tumori oculari con un'incidenza di 0.4 casi/milione/anno (fig.11). Da uno studio di popolazione condotto negli Stati Uniti sui Melanomi oculari emerge che negli ultimi 30 anni la sua frequenza nei Caucasici di sesso maschile, ben del 295%. La prevalenza nelle popolazioni è inversamente proporzionale alla latitudine; i soggetti affetti sono caucasici nell'85%, Ispanici nel 8,7% e afro-americani nel 4,3%. La sede più frequente è a livello della congiuntiva bulbare (93%), sia temporale (63%) che nasale (61%). [9]



Fig. 11

Indagini genetiche sul melanoma congiuntivale hanno evidenziato alcune anomalie genomiche comuni con il melanoma cutaneo, la cui correlazione con l'azione inducente delle radiazioni UV è dimostrata. Tra i fattori di rischio sono annoverate la melanosì congiuntivale e probabile attivazione di mutazioni del DNA dall'esposizione a UV. [10,11]

Degenerazione maculare correlata all'età (DMS): malattia retinica degenerativa che interessa la macula, regione centrale della retina deputata alla visione dettagliata. Dopo la retinopatia diabetica, rappresenta la seconda causa di cecità civile nei paesi industrializzati e la prima causa di cecità civile oltre i 60 anni. È considerata come una patologia multifattoriale nel determinismo della quale intervengono fattori genetici, nutrizionali, sostanze d'abuso, obesità, ipertensione arteriosa, inquinamento ambientale, ecc.

Si manifesta sia come forma primitivamente atrofica (DMS secca) contrassegnata da un'evoluzione lenta ma progressiva (80-85% dei casi) o come forma essudativa ad insorgenza ed evoluzione peggiorativa rapida (15-20%); esiste anche l'evenienza clinica di conversione della prima nella seconda forma (10%).

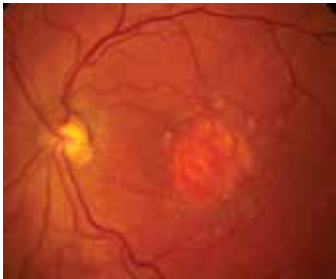


Fig.12 - DMS atrofica



Fig.13 - DMS essudativa

Per la forma atrofica non sono al momento disponibili terapie; unicamente si ricorre a supplementazione con integratori a base di sostanze antiossidanti (luteina, zeaxantina, vitamina E, omega3, resveratrolo, glutatione-peptide, curcuma, oligoelementi, carotenoidi, ecc.) con lo scopo di contenere l'evoluzione del processo degenerativo.

Per la forma essudativa, essendo contrassegnata dalla comparsa di membrane neovascolari sottoretiniche, si intraprendono cicli terapeutici con iniezioni intravitreali di farmaci inibitori dell'angiogenesi anti VEGF (vascular endothelial growth factor).

Alla base del processo degenerativo sono i fenomeni ossidativi mediati da ROS (Reactive Oxygen Species), con meccanismi del tutto analoghi a quelli determinati dall'esposizione a radiazione ottica.

Mentre vi sono deboli evidenze a sostegno dell'azione ossidante sulla retina da parte della radiazione UV tra 290 e 340 nm, poiché completamente assorbita da cornea e cristallino, esistono studi sperimentali e di popolazione che sostengono più solide evidenze in merito per la radiazione visibile (400-700nm) ed in particolare per la frazione blu-violetta (440nm) che nei modelli animali determina degenerazione dell'epitelio pigmentato retinico ed apoptosi dei fotorecettori [13,15].

Al momento comunque l'esposizione a radiazione ottica viene considerata unicamente uno dei molteplici fattori di rischio nella patogenesi della degenerazione maculare legata all'età.

CONCLUSIONI

L'esposizione professionale alla radiazione ottica artificiale coinvolge un numero molto elevato di lavoratori ed il numero di sorgenti molto intense, soprattutto di radiazione UV e VIS, utilizzate nelle attività produttive è in continuo aumento. A ciò si aggiunga che molte esposizioni, oltre a quella a radiazione ottica naturale, non vengono solitamente considerate o percepite come possibili fonti di rischio (lampade a LED, vari tipi di illuminazione dell'ambiente domestico e lavorativo, ecc.). Il dilagante impiego di cellulari, tablet ed altri device fin dalla primissima infanzia, ed il loro frequente abuso, sta portando ad un incremento esponenziale delle possibili fonti di rischio anche per l'apparato visivo.

Pertanto pare irrinunciabile che la conoscenza degli effetti potenzialmente patogeni dell'esposizione a radiazione ottica artificiale ma anche naturale dell'apparato visivo, debba essere diffusa in modo capillare e fin dall'infanzia, coinvolgendo competenze adeguate alle caratteristiche dei discendenti.

Soprattutto poi nei luoghi di lavoro ove le esposizioni a radiazioni potenzialmente nocive si amplificano e si sommano alle esposizioni naturali, deve essere instancabilmente sollecitata la 'cultura' della protezione al fine di sviluppare una coscienza/conoscenza comune tra tutti gli attori della prevenzione.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Antioxidant defence of the ocular surface Ying Chen, Gaurav Mehta, Vasilis Vasiliou. *Ocul. Surf.* 2009 Oct; 7(4): 176-185
- [2]. Ultraviolet radiation: Cellular antioxidant. Response and the role of Ocular aldehyde dehydrogenase enzyme. Sartori A. Marchitti, Ying Chen, David C. Thompson, Vasilis Vasiliou. *Eye Contact Lens.* 2011 Jul; 37(4): 206-213
- [3]. Invisible shield: review of the corneal epithelium as a barrier to radiation, Pathogens, and other environmental stimuli. Hasan Bashir, John T. Seykora, Vivian Lee. *J Ophthalmic Vis Res.* 2017 Jul-Sep; 12(3): 305-311
- [4]. Involvement of the extrinsic and intrinsic pathways in ultraviolet B induced apoptosis of corneal epithelial cells. John L. Ubels, Courtney D. Glupker, Mark P. Schotanus, Loren D. Haarsma. *Exp Eye Res* 2016 Apr; 145: 25-35
- [5]. Pterigio. Carito G, Rama G, Buratto L, Rama P. Ed. I.N.C. Feb 2000 Roma
- [6]. Ocular ultraviolet radiation exposure of welders. Tenkate TD. *Scand. J Work Environ Health.* 2017 May 1; 43(3): 287-288
- [7]. The risk of cataract in relation to metal arc welding. Slagor RM, La Cour M, Bonde JP. *Scand J Work Environ Health.* 2016; 42(5): 447-53.
- [8]. Welding related occupational eye injuries: a narrative analysis. Lombardi DA, Pannala R, Sorock GS, Wellman H, Courtney TK, Verma S, Smith GS. *Injury Prevention.* 2005; 1: 174-9.
- [9]. Ocular melanoma-when you have seen one, you have not seen them all: A clinical outcome study from the Surveillance, Epidemiology, End Result (SEER) database (1973-2012). Krisnaraj Mahendraraj, Shneha Shrestha, Christina SM Leu, Ronald S Chamberlain. *Clin Ophthalmol* 2017 Jan; 11: 153-160

- [10]. TERT promoter mutation in ocular melanoma distinguish between Conjunctival and uveal tumours. K G Griewank, R Murali, B Schilling, S. Scholz, A Sucker, et alii. *Br. J. Cancer* 2013 Jul 23; 109(2):497-501
- [11]. UV light signature in conjunctival melanoma; not only skin should protected from solar radiation. Carlo Rivolta, Beryl Royer-Bertrand, Donata Rimoldi, Ann Schalenbourg, Leonidas Zografos, et alii. *J. Hum. Genet.* 2016 Apr;61(4):361-2
- [12]. La radiazione ottica: definizioni e caratteristiche – identificazione, valutazione e quantificazione del rischio. Filosofia della protezione. G.F Mariutti. *Oftalmologia Sociale* 2007 1: 6-20
- [13]. Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard. Algreve PV, Marshall J., Seregard S. *Acta Ophthalmol Scand.* 2006 Feb;84(1): 4-15
- [14]. Phototoxic maculopathy induced by quartz infrared heat lamp. Xinhua Zheng, Ping Xie, Zizhong Hu, et alii. *Medicine (Baltimore)* 2017 Jan;96(3):e5830
- [15]. Blue light-induced reactivity of retinal age pigment. In vitro generation of oxygen-reactive species. Ròzanowska M, Jarvis-Evans J., Korytowski W, Boulton ME, Burke JM, Sarna T. *J Biol Chem* 1995Aug 11;270(32):18825-30



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI: STATO DELL'ARTE, CASI STUDIO E CRITICITÀ

I. Pinto (1), A. Bogi (1), F. Picciolo (2), N. Stacchini(1)

- (1) Laboratorio di Sanità Pubblica AUSL Toscana Sud Est - Agenti Fisici Siena
- (2) Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente Università degli Studi di Siena

Introduzione

Il Capo V del Titolo VIII del DLgs.81/2008 è entrato in vigore per tutti gli obblighi in esso richiamati ed in tutti i settori produttivi dal 26/04/2010 [1,2]. Esso recepisce la direttiva 2006/25/CE che stabilisce le prescrizioni minime di sicurezza finalizzate a prevenire i rischi che possono derivare dall'esposizione alle radiazioni ottiche artificiali o dal loro impiego durante il lavoro, con particolare riguardo ai rischi dovuti agli effetti nocivi sugli occhi e sulla cute. Gli effetti nocivi provocati dall'esposizione alla radiazione ottica sono noti e documentati da alcuni secoli. Agli inizi del 1700 Ramazzini, il medico italiano fondatore della medicina del lavoro, nel libro *“De morbis artificum diatriba”*, nel capitolo dedicato ai vetrai scriveva che i loro occhi *“Affrontano direttamente l'impeto del fuoco e spesso piangono la loro disgrazia con un'acuta infiammazione e si indeboliscono perché i loro umori naturali, che sono acquosi, vengono riseccati e consumati dall'eccessivo calore”*. In un altro trattato di medicina del lavoro del Ferrannini dei primi del '900, si legge a proposito dei disturbi oculari connessi alla saldatura dei metalli *“è questa la sindrome dell'oftalmia elettrica, che si ha negli operai che saldano o fondono metalli con l'elettricità”*. Per quanto riguarda l'effetto cancerogeno della radiazione UV - classificata dallo IARC come cancerogeno in classe I [3] - sono disponibili

dati in letteratura scientifica da oltre 40 anni [4]. Ciononostante l'assenza di valori limite e criteri specifici di valutazione del rischio da radiazioni ottiche nell'ambito del quadro normativo nazionale – prima dell'entrata in vigore del DLgs.81/2008 - fa riscontrare ancora oggi in attività lavorative che comportano elevate esposizioni a ROA notevoli carenze nell'attuazione delle misure di tutela minime previste dalla normativa, ed una scarsa consapevolezza del rischio da parte degli attori della prevenzione aziendale e conseguentemente dei lavoratori esposti. Nell'ambito del presente lavoro si individuano i principali aspetti relativi alla valutazione e prevenzione del rischio ROA previsti dalla vigente normativa. Si esaminano quindi alcune attività e lavorazioni ove le esposizioni a ROA possono essere elevate: saldatura ad arco, fusione di vetro e metalli, impiego di apparati ad uso medico e di laboratorio, e se ne discutono le principali criticità riscontrate ad otto anni dall'entrata in vigore della direttiva.

Prevenzione e Protezione dal rischio ROA

In tabella 1 si riportano le principali tipologie di danno che l'interazione della radiazione ottica con l'occhio e la cute può provocare e che il Titolo VIII Capo V del D.Lgs. 81/2008 intende prevenire.

Regione spettrale	Occhio	Pelle	
Ultravioletto C (da 100 nm a 280 nm)	Fotocheratite Fotocongiuntivite	Eritema (scottatura della pelle)	Tumori cutanei Processo accelerato di invecchiamento della pelle
Ultravioletto B (da 280 nm a 315 nm)			
Ultravioletto A (da 315 nm a 400 nm)	Cataratta fotochimica	Reazione di fotosensibilità	Bruciatura della pelle
Visibile (da 400 nm a 780 nm)	Lesione fotochimica e termica della retina		
Infrarosso A (da 780 nm a 1400 nm)	Cataratta bruciatura della retina		
Infrarosso B (da 1400 nm a 3000 nm)	Cataratta, bruciatura della comea		
Infrarosso C (3000 nm a 1 mm)	Bruciatura della comea		

Tabella 1 - Effetti delle Radiazioni Ottiche su occhi e cute

Gli effetti dell'esposizione dipendono dalla lunghezza d'onda della radiazione incidente, mentre dall'intensità dipendono la possibilità che questi effetti si verifichino e/o la loro gravità. Va a tal proposito ricordato che i limiti di esposizione fissati dal D.Lgs. 81/08 definiscono i livelli di esposizione non superabili nell'arco della giornata lavorativa, al di sotto dei

quali, di solito, non si verificano effetti dannosi di tipo deterministico in soggetti adulti sani, cioè effetti per i quali è nota la soglia di insorgenza e la cui gravità è funzione dell'entità dell'esposizione.

È da tener presente che i limiti di esposizione sono stati fissati per soggetti sani. Nei casi di soggetti “*particolarmente sensibili*” alla radiazione ottica, ovvero in presenza di sostanze fototossiche o foto allergizzanti [1,4,5], il rispetto dei limiti di esposizione può non essere sufficiente a garantire la prevenzione di effetti avversi indesiderati e si rende perciò necessario, in fase di scelta delle appropriate misure di tutela, approfondire le valutazioni insieme al medico competente e, nel dubbio, adottare, anche in via cautelativa, ulteriori precauzioni e misure di protezione.

Va ancora tenuto presente che i limiti di esposizione adottati dalla vigente normativa sono il risultato dell'analisi approfondita e periodica della letteratura scientifica e della valutazione comparata delle soglie sperimentali degli effetti indotti dalla ROA, determinate sia su modelli animali sia sull'uomo [4,6]. Il loro rispetto previene l'insorgenza di ben noti effetti deterministici quali l'eritema, la fotocheratite, la fotocongintivite, la cataratta ed effetti di tipo termico, la cui gravità è direttamente correlata all'entità dell'esposizione. Il rispetto dei limiti fissati dalla vigente normativa per UV e luce blu non può annullare il rischio di effetti a lungo termine dipendenti dalle dosi accumulate in esposizioni croniche nel corso della vita lavorativa (cancerogenesi, danni oculari da esposizione cronica a luce blu). Per questi ultimi effetti i limiti di esposizione alla radiazione UV e alla luce blu non possono e non devono essere considerati come una sorta di linea di sicurezza al di sotto della quale gli stessi effetti non possono verificarsi. Limitare l'esposizione al di sotto della soglia di induzione degli effetti acuti contribuisce comunque a diminuire la dose che ogni lavoratore esposto accumula giorno dopo giorno e quindi implicitamente riduce anche la probabilità o la gravità degli effetti a lungo termine, di cui al momento non è nota una relazione dose/risposta.

Proprio alla luce di tali considerazioni, la normativa prevede che la valutazione dei rischi dovuti all'esposizione alle radiazioni ottiche artificiali prenda in esame anche:

- qualsiasi effetto sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio;
- qualsiasi eventuale effetto sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori risultante dalle interazioni sul posto di lavoro tra le radiazioni ottiche e le sostanze chimiche fotosensibilizzanti;

In genere in sede di valutazione dei rischi il datore di lavoro non può essere a conoscenza di tutte le situazioni specifiche, per esempio non può sapere se un lavoratore sta seguendo un trattamento medico con farmaci

fotosensibilizzanti, o se è un soggetto *particolarmente sensibile*. È pertanto indispensabile che ciascun lavoratore esposto a ROA sia in grado di individuare la sussistenza ovvero l'insorgenza di eventuali condizioni individuali di suscettibilità al rischio espositivo; è a tal fine indispensabile che tali importanti aspetti siano trattati nell'ambito della formazione prevista dalla normativa, in stretta collaborazione con il medico competente e con l'attività di sorveglianza sanitaria prevista per i lavoratori professionalmente esposti a ROA. [1,2]

La normativa richiede che nell'ambito della valutazione del rischio si prenda in considerazione in primo luogo la possibilità di ridurre il rischio alla fonte. È a tal fine fondamentale verificare le modalità di funzionamento ed impiego dell'apparato anche facendo riferimento a quanto indicato dal costruttore sul manuale di istruzioni ed uso in relazione alla possibilità di riduzione del rischio alla fonte. Se l'attività comporta il superamento dei valori limite di esposizione qualora non si adottino specifici dispositivi di protezione, è necessario ricorrere a soluzioni tecniche e procedurali quali:

- la definizione di “zone ad accesso limitato”, contrassegnate da idonea segnaletica di sicurezza, ove chiunque acceda deve essere informato e formato sui rischi di esposizione alla radiazione ottica emessa dalle sorgenti in esse contenute e sulle appropriate misure di protezione, soluzione particolarmente utile per evitare esposizioni indebite, vale a dire esposizioni di lavoratori inconsapevolmente esposti e non direttamente coinvolti nelle operazioni con sorgenti ROA potenzialmente nocive, nonché esposizioni di soggetti particolarmente sensibili. E' importante ricordare in merito che ai sensi dell'art. 217, comma 2, del D.Lgs.81/2008, (e anche dell'Allegato XXV, punti 3.2 e 3.3, richiamati dall'art.163 dello stesso Decreto), è sempre necessario delimitare le aree in cui i lavoratori o le persone del pubblico possono essere esposti a valori superiori a valori limite di esposizione. L'area va indicata tramite segnaletica e l'accesso alla stessa va limitato laddove ciò sia tecnicamente possibile e sussista un rischio di superamento dei valori limite di esposizione. Si ricorda che in merito che il Capo VI del Titolo VIII del D.Lgs. 81/08 prevede specifiche sanzioni (arresto da due a quattro mesi o ammenda) per la violazione dell'articolo 217 comma 2 che prescrive che “*i luoghi di lavoro in cui i lavoratori potrebbero essere esposti a livelli di radiazioni ottiche che superino i valori limite di esposizione devono essere indicati con un'apposita segnaletica. Dette aree sono inoltre identificate e l'accesso alle stesse è limitato, laddove ciò sia tecnicamente possibile*”. Le stesse sanzioni sono previste per la violazione dell'articolo 217 comma 3 che prescrive che “*il datore di lavoro adatta le misure di cui al presente articolo alle esigenze dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili ai rischi*”;



- il contenimento della sorgente all'interno di ulteriori idonei alloggiamenti schermanti completamente ciechi oppure di attenuazione nota, in relazione alle lunghezze d'onda di interesse; ad esempio, la radiazione UV si può schermare con finestre di vetro o materiali plastici trasparenti nel visibile;
- l'adozione di schermi ciechi o inattinici a ridosso delle sorgenti (es.: gli schermi che circondano le postazioni di saldatura, come da UNI EN 1598:2004);
- la separazione fisica degli ambienti nelle quali si generano ROA potenzialmente nocive dalle postazioni di lavoro vicine;
- l'impiego di automatismi (interblocchi) per disattivare le sorgenti ROA potenzialmente nocive (es.: lampade germicide a raggi UV) sugli accessi ai locali nei quali queste sono utilizzate;

CASI STUDIO E CRITICITÀ

SALDATURA AD ARCO

Come si evince dai dati di esposizione a ROA pubblicati in letteratura [4,5] e disponibili on line sul Portale Agenti Fisici [6], i valori limite di esposizione alla radiazione UV per occhi e cute in tutte le tipologie di saldatura ad arco possono essere superati dopo pochi minuti di esposizione, anche a distanze di decine di metri dall'arco di saldatura.

In tabella 2 si riportano a titolo di esempio i tempi massimi di esposizione consentiti ai fini del rispetto dei valori limite di esposizione per radiazione UV e luce blu per un operatore non protetto (occhi e cute) che si trovi a due metri di distanza da una saldatrice, nel corso di differenti tipologie di saldature ad arco.

Pertanto gli operatori addetti alla saldatura ad arco e tutti coloro che a qualsiasi titolo si trovino ad operare nei pressi della attività di saldatura devono essere considerati esposti alle radiazioni ottiche artificiali, in quanto sia gli addetti alla saldatura che coloro che operano presso le postazioni in prossimità della stessa - se non adeguatamente protetti - sono esposti a livelli di radiazione UV e Luce Blu superiori ai valori limite di esposizione fissati dalla vigente normativa dopo pochi secondi o minuti di esposizione, in relazione alla tipologia di saldatura effettuata, alla distanza dalla sorgente e - solo per la luce blu - in relazione al compito visivo espletato.

In genere quasi sempre nelle attività di saldatura vengono forniti ai saldatori ripari facciali e/o maschere conformi alla specifica normativa per i DPI per saldatura UNI EN ISO 169. Va notato in merito che tali schermi non sono in genere idonei a proteggere anche la cute delle parti del corpo direttamente

esposte alla radiazione ottica emessa dall'arco di saldatura, quali ad esempio petto e collo, con conseguente sovraesposizione cutanea e danno eritemale per gli operatori addetti. I cappucci per saldatori per la protezione di testa e collo ovvero indumenti di lavoro e DPI di pari efficacia nella protezione della cute dovrebbero essere sistematicamente utilizzati durante i lavori di saldatura.

Tipologia saldatura	Indice Rischio UV [180 480 nm] Tmax (s) min-max	Indice Rischio BLU Tmax (s) min-max
GMAW –Short-Spray Arc Filo continuo 140 A-270 A	3s - 10s	16s-70 s
GTAW –TIG (Argon) 120-180 A	30s - 90s	145s-275 s
GMAW –MIG 100% Argon 150-330 A	0s- 7s	8s – 60 s

Tabella 2 - Durata massima esposizione consentita (Tmax) per prevenire il superamento del VLE per un operatore non protetto che si trovi a 2 metri dal saldatore per differenti tipologie di saldatura ad arco

Per quanto riguarda la protezione degli occhi del saldatore, è da rilevare che talvolta le operazioni di puntatura risultano effettuate in assenza di protezione oculare. Ciò in genere avviene laddove la maschera di protezione in dotazione al saldatore è di tipo passivo (EN 169), dotata di un unico filtro molto scuro che rende poco agevole l'operazione di puntatura, che viene conseguentemente effettuata in assenza di protezione; ciò in genere comporta il superamento dei valori limite di esposizione oculare (luce blu e UV) e cutanea (UV), per quanto le operazioni di puntatura "ad occhio nudo" siano di breve durata. È indispensabile che nell'ambito della valutazione del rischio si esaminino attentamente l'adeguatezza dei DPI forniti al saldatore anche ai fini della puntatura, optando ad esempio per maschere auto oscuranti conformi alla norma EN 379 (filtri auto-oscuranti).

Come illustrato al precedente paragrafo, in ottemperanza a quanto prescritto dalla normativa, le aree ove si svolgono le attività di saldatura devono essere delimitate, in quanto in esse si superano i valori limite di esposizione per radiazione UV e Luce Blu dopo pochi secondi /minuti di esposizione anche a distanze di alcuni metri dall'arco di saldatura.

Le attività di saldatura dovrebbero essere fisicamente separate dalle altre attività lavorative – laddove possibile - con apposite cabine o tende

inattiniche autoestinguenti, specifiche per la protezione da ROA in saldatura, conformi alle norme EN 1598, al fine di evitare esposizioni delle persone non direttamente coinvolte nell'attività di saldatura che operano in prossimità della stessa.

I soggetti che a qualsiasi titolo si trovino a permanere nelle aree ove si svolgono attività di saldatura non schermate dovranno essere considerati professionalmente esposti alle ROA (rischio UV e luce blu) ed indossare DPI per occhi e cute idonei. Una procedura di calcolo che guida alla scelta dei DPI oculari appropriati, in relazione alle differenti attività svolte nell'area di saldatura ed alle distanze dall'arco di saldatura è disponibile on line sul Portale Agenti Fisici www.portaleagentifisici.it alla sessione Radiazioni Ottiche Artificiali /Valutazione esposizione saldatura.

Tutti i lavoratori che operano all'interno dell'area di saldatura -se compartimentata - ovvero in prossimità dell'area di saldatura - qualora non compartimentata - dovrebbero essere formati sul rischio ROA e sulle appropriate modalità di lavoro, secondo quanto discusso al precedente paragrafo, e dovrebbero essere sottoposti a controlli sanitari specifici da parte del medico competente in relazione alla prevenzione dei danni cutanei ed oculari da UV e dai danni oculari da luce blu precedentemente richiamati.

Non sempre tali misure di tutela appaiono puntualmente messe in atto nelle realtà aziendali.

FUSIONE DI METALLI E VETRO

Fin dagli inizi del 1900, numerosi studi di rassegna ed epidemiologici hanno evidenziato un significativo incremento di incidenza di cataratte tra lavoratori addetti a lavorazioni del vetro o di metalli alle temperature di fusione. A partire dai primi lavori pubblicati in letteratura (Legge T.M., 1907 Cataract in glass-blower HMSO London) fino agli anni '80 la cosiddetta "cataratta dei vetrai" veniva attribuita all'esposizione a radiazione ottica di elevata intensità, in particolare nella regione del visibile o dell'infrarosso vicino (760 nm-1400 nm). Ciò in quanto si ipotizzava che tale radiazione fosse assorbita dall'iride con produzione di calore trasmesso per conduzione diretta al cristallino. L'eziologia della cataratta da infrarosso e dei meccanismi di induzione di lesioni termiche ai tessuti del cristallino ha rappresentato oggetto di dibattito fino agli studi sui meccanismi di trasferimento dell'energia radiante ai tessuti oculari [7-11], che hanno portato alla conclusione che sia la radiazione visibile che la radiazione nell'intero spettro IRA e IRB sono in grado di indurre cataratta, producendo entrambe, sia pure con meccanismi diversi, un riscaldamento del cristallino [7].

Nella fusione di vetro e metallo la sorgente di radiazione ottica è il metallo o vetro alla temperatura di fusione, con emissione rilevante da un punto di

vista del rischio fotobiologico nell'Infrarosso. Gli organi bersaglio per questa tipologia di esposizione sono camera anteriore dell'occhio e cute. Durante le fasi di prelievo, trasferimento e lavorazione del materiale fuso, l'esposizione a radiazione infrarossa degli operatori risulta in genere superiore ai valori limite di esposizione [7,12]. Pertanto gli operatori addetti alle fasi che danno luogo al superamento dei limiti di esposizione devono indossare ripari facciali o maschere di protezione specifici per IR. Talvolta in tali realtà si è riscontrato che vengono forniti agli operatori ripari facciali di protezione non idonei, tipicamente con filtro per UV (filtro n. 2 norma EN 170) e non per Infrarosso (filtro n. 4 norma EN 171), che non sono efficaci nell'attenuazione dell'infrarosso, e che viceversa possono comportare un incremento dell'esposizione oculare alla radiazione Infrarossa emessa dal corpo incandescente.

Considerato che i DPI per infrarossi con attenuazione idonea per temperature di fusione intorno a 1200 °C (numero scala 4-3 o 4-4) sono molto scuri, essi sono da utilizzarsi esclusivamente nelle fasi di maggiore esposizione ad infrarosso in prossimità del materiale incandescente, (prelievo da forno, colata etc.). Essi non possono essere usati per mansioni differenti da quelle che comportano la visione diretta del materiale fuso, in quanto la trasmissione nel visibile è inadeguata per l'espletamento di altre attività lavorative.

Per altre mansioni in prossimità della sorgente è possibile scegliere occhiali per infrarossi meno scuri, che attenuano in misura minore la radiazione infrarossa e con una maggiore trasmissione nel visibile, e quindi più confortevoli sotto il profilo del comfort visivo per il lavoratore, in funzione della durata dell'esposizione alla radiazione IR effettivamente necessaria all'espletamento delle differenti mansioni nel corso del turno lavorativo.

Gli operatori che operino nelle vicinanze delle sorgenti che emettono radiazioni superiori ai limiti, possono evitare di indossare i DPI oculari solo se sono rispettate le distanze di sicurezza ed i tempi di esposizione che possono essere desunti dalla banca dati ROA del Portale Agenti Fisici. [6]

In genere per tali attività è necessario che vengano messe in atto le seguenti misure di tutela:

- I lavoratori addetti ai forni di fusione ed alle operazioni con il materiale fuso dovranno essere classificati esposti a Radiazione Infrarossa e dovranno essere sottoposti a controllo sanitario specifico inerente tale rischio da parte del medico competente (danni oculari da infrarosso);
- L'area di lavorazione del materiale fuso dovrà essere delimitata e il personale che a qualsiasi titolo si trovi ad operare all'interno dell'area durante la lavorazione del metallo /vetro fuso dovrà essere opportunamente istruito sui rischi di esposizione a ROA e sulle opportune misure di tutela da adottare;

d-A2018

- Il personale addetto ai processi di fusione e coloro i quali abbiano comunque accesso alle zone ove è presente il rischio ROA dovrà indossare specifici DPI per infrarossi, con numero di graduazione da stabilire nell'ambito della valutazione del rischio sulla base dell'effettiva durata espositiva e della mansione svolta.
- Il personale addetto ai processi di fusione dovrà ricevere un appropriato addestramento sulle idonee procedure di lavoro da adottare al fine di ridurre l'esposizione individuale e degli operatori che, a qualsiasi titolo, si trovino ad operare nelle zone a rischio di superamento dei VLE, incluso l'uso dei DPI.

FOTOTERAPIA NEONATALE

Tali apparecchiature sono impiegate nella cura dell'ittero neonatale in terapia intensiva neonatale e presentano tipicamente emissioni di radiazioni ottiche nello spettro di lunghezze d'onda comprese fra 420 nm e 530 nm, considerate la più efficaci nel trattamento della bilirubina. I risultati delle misure per quanto riguarda il rischio oculare da esposizione a Luce Blu sono disponibili on line nella banca dati ROA del Portale Agenti Fisici.

Dalle valutazioni condotte su quindici apparati in uso clinico in quattro ospedali toscani [13] sono emerse le seguenti principali considerazioni:

- Le valutazioni effettuate evidenziano una grande variabilità sia nel tipo che nella potenza delle radiazioni ottiche emesse dai macchinari esaminati. Il conseguimento di emissioni radianti ottimizzate per le lampade usate in fototerapia, attraverso procedure standardizzate di acquisto, collaudo, manutenzione e controlli periodici di qualità di tali macchinari, consentirebbe di rendere più efficace la terapia neonatale, evitare esposizioni indebite ai raggi UVA e alla luce blu sia del neonato che degli operatori, e ridurre alla fonte il rischio per gli operatori, secondo quanto prescritto dal D.Lgs. 81/2008.
- Gli apparecchi di fototerapia pediatrica che impiegano sorgenti LED presentano emissioni spettrali nel blu che possono indurre il superamento dei valori limite prescritti dalla vigente normativa. Per alcuni di tali apparati risulta necessario l'impiego di dispositivi oculari di protezione per gli operatori addetti all'assistenza al neonato quando questi operino in prossimità della sorgente.
- Per alcune apparecchiature che impiegano tubi fluorescenti si sono riscontrate emissioni spettrali rilevanti nella regione UVA. È da rilevare in merito che l'esposizione ad UVA prodotta da tali apparati è da considerarsi indebita, alla luce della classificazione della radiazione UVA da parte dello IARC tra i cancerogeni certi per l'uomo [3], essendo peraltro non funzionale ai fini del miglioramento dell'efficacia del trattamento terapeutico [13].

- I dati forniti dai produttori nei manuali d'uso delle apparecchiature risultano in genere carenti ai fini della valutazione del rischio per gli operatori e della formazione ed informazione degli stessi. I produttori dovrebbero essere sollecitati, in sede di capitolato d'acquisto, a fornire le informazioni richieste dal D.Lgs. 81/2008 Titolo V, ai fini di consentire in fase di acquisto di nuove apparecchiature, di orientare la scelta verso quegli apparati che - a parità di efficacia terapeutica - non comportano il superamento dei limiti espositivi per gli operatori addetti all'assistenza.
- Risulta indispensabile che gli operatori siano formati in merito ai rischi di esposizione alle radiazioni ottiche artificiali emesse da tali apparati e sulle modalità di lavoro più efficaci ed appropriate ai fini della prevenzione del rischio.

LAMPADE GERMICIDA

Una lampada germicida è un tipo particolare di lampada che produce radiazione ultravioletta con componente spettrale dominante nella regione UV-C. La radiazione ultravioletta nella regione UV-C modifica il DNA o l'RNA dei microorganismi e quindi impedisce loro di riprodursi o di essere dannosi. Per tale motivo viene utilizzata in diverse applicazioni, quali la disinfezione di cibo, acqua e aria.

Tipicamente le lampade germicida installate in cappe sterili di laboratorio o installate a parete per sterilizzare ambienti sono costituite da lampade al mercurio, con emissione dominante nella riga spettrale a 253 nm (UVC). Le emissioni sono limitate all'intervallo degli UV, essendo la componente spettrale dominante nella regione UVC. Gli organi bersaglio sono la cornea e la cute.

I risultati analitici delle misure presso tali apparati sono riportati nella banca dati ROA del Portale Agenti Fiscali [6].

Di seguito si riporta il quadro di sintesi di valutazioni condotte in venti diverse attività sanitarie e di ricerca.

Cappe Sterili da Laboratorio Il rischio di esposizione degli operatori alle emissioni UV delle cappe germicida, risulta dipendente dalla tipologia della cappa (presenza o meno dell'interblocco che impedisca l'accensione della lampada in assenza di schermo di protezione) e dal corretto utilizzo delle stesse, qualora non sia presente un sistema di interblocco. In particolare, le misurazioni effettuate all'esterno, con vetro della cappa completamente chiuso, permettono di verificare l'irrelevanza del rischio per l'operatore. Infatti il tempo di esposizione massimo consentito per prevenire il superamento del valore limite di esposizione risulta essere maggiore di otto ore in tutte le misurazioni effettuate con cappa perfettamente chiusa. Viceversa le misurazioni eseguite con vetro leggermente aperto, che rappresenta una condizione operativa non escludibile a priori per sistemi non

d-A2018

muniti di interblocco, hanno mostrato che la riflessione attraverso il piano di lavoro può provocare, ad un operatore che stazioni nei pressi della cappa, esposizioni superiori ai valori limite. I tempi massimi di esposizione che comportano il superamento dei valori limite per occhi e cute sono tipicamente di pochi secondi. Le cappe con interblocco impediscono l'esposizione nelle normali condizioni di utilizzo. Si noti che comunque i vetri di alcune cappe possono essere socchiusi senza far scattare l'interblocco, a causa delle caratteristiche meccaniche del dispositivo di interblocco stesso: in queste condizioni un operatore che si trovi molto vicino alla cappa può essere esposto ad una lamina di radiazione ultravioletta che è comunque in grado di provocare esposizioni di occhi e cute superiori ai limiti di esposizione in pochi secondi. Da tali considerazioni emerge che l'informazione e la formazione sul rischio da ultravioletti per gli operatori addetti alle cappe è indispensabile anche per le apparecchiature dotate di interblocco.

Nel caso di cappe non dotate di interblocco è indispensabile rendere facilmente identificabile il pulsante di accensione degli UV rispetto agli altri interruttori presenti sulla cappa.

Lampade Germicida a parete/soffitto. Le misurazioni effettuate in condizione di esposizione diretta dell'operatore, (ad altezza operatore), alla radiazione emessa dalla lampada installata a soffitto a 3 metri dal pavimento, evidenziano esposizioni particolarmente elevate, che comportano il superamento dei limiti di legge per la radiazione UV in pochi secondi di esposizione, per un soggetto non protetto. Sulla base di tali evidenze appare indispensabile che vengano stabilite procedure di sicurezza per l'impiego di tali lampade e che tutti i lavoratori che a qualsiasi titolo accedono ai locali ove sono installate tali lampade siano a conoscenza delle procedure di sicurezza e le rispettino con consapevolezza. È indispensabile prevenire l'accesso al locale a soggetti non protetti, nel caso in cui l'accesso debba avvenire con le lampade in funzione. Una misura di tutela particolarmente efficace a tale proposito è quella di predisporre che l'accensione delle lampade avvenga solo grazie ad appositi interruttori a chiave, e che queste siano affidate solo a personale adeguatamente formato. Tali elementari e fondamentali misure di tutela non risultano ancora sistematicamente messe in atto nelle realtà operative, e talvolta gli operatori non sono consapevoli dell'esistenza del rischio espositivo a radiazione UVC.

CONCLUSIONI

L'attuale quadro normativo, in vigore ormai da otto anni, dovrebbe rappresentare un'importante opportunità per la prevenzione del rischio da esposizione a radiazioni ottiche, definendo in maniera puntuale gli obblighi e i criteri cui i datori di lavoro devono attenersi ai fini della riduzione e del



d-A2018

controllo del rischio. Nel presente lavoro si sono discusse alcune delle principali criticità emerse nell'attuazione della normativa in alcune attività ove tale rischio è rilevante, anche dal punto di vista degli infortuni causati per lo più da esposizioni accidentali ed incontrollate.

L'attuazione della direttiva ROA sarà tanto più efficace quanto più gli attori della prevenzione ed in particolare gli addetti ai servizi di prevenzione e protezione rischi, i medici competenti, i responsabili dei lavoratori per la sicurezza e gli operatori della vigilanza acquisiranno consapevolezza e competenza sul rischio ROA e sulle misure di tutela da mettere in atto ai fini della prevenzione dello stesso.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome: "Decreto Legislativo 81/2008, Titolo VIII, Capo I, II, III, IV e V sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro Indicazioni operative" <http://www.portaleagentifisici.it/DOCUMENTI/>
- [2]. Guida non vincolante alla buona prassi nell'attuazione della direttiva 2006/25/CE «Radiazioni ottiche artificiali» ISBN 978-92-79-19811 Unione Europea, 2011
- [3]. International Agency for research on cancer WHO. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, Volume 100 D: Radiation ([http:// http://monographs.iarc.fr](http://monographs.iarc.fr))
- [4]. ICNIRP 14/2007 Protecting Workers from Ultraviolet Radiation International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection In Collaboration with: International Labour Organization World Health Organization ISBN 978-3-934994-07-2
- [5]. ICNIRP Guidelines on Limits Of Exposure To Incoherent Visible And Infrared Radiation Published In: Health Physics 105(1):74-96; 2013
- [6]. http://www.portaleagentifisici.it/fo_ro_artificiali_index.php?lg=IT
- [7]. EN 14255-2: 2005 Measurement and assessment of personal exposures to incoherent optical radiation - Part 2: Visible and infrared radiation emitted by artificial sources in the workplace
- [8]. Lydahl E., Philipson B., Infrared radiation and cataract.II. Epidemiologic investigation of glass workers. Acta Ophthalmologica 62: 976-992 (1984b)
- [9]. Lydahl E., Philipson B., Infrared radiation and cataract.I. Epidemiologic investigation of iron and steel workers. Acta Ophthalmologica 62: 961-975 (1984a)
- [10]. Lydahl E., Glansholm A., Levin M., Ocular exposure to infrared radiation in the Swedish iron and steel industry, Health Physics Vol.46 n.3: 529-536 (1984). [4] Skott J.A., The computation of temperature rises in the human eye induced by infrared radiation .Phys.Med.Biol.Vol.33 n.2:243-257 (1988)
- [11]. Okuno T., Thermal effect of infra-red radiation on the eye: a study based on a model, Ann.Occup.Hyg.Vol.35:1-12 (1991).
- [12]. Renata Sisto, Iole Pinto, Nicola Stacchini and Franco Giuliani AIHAJ - American Industrial Hygiene Association 01/2000; 61(1):5-10 Infrared Radiation Exposition Risk in "Glass Traditional Factories"
- [13]. Iole Pinto, Andrea Bogi, Francesco Picciolo, Nicola Stacchini, Giuseppe Buonocore, Carlo V Bellieni Blue Light and Ultraviolet Radiation Exposure from Infant Phototherapy Equipment Journal of



Occupational and Environmental Hygiene, 2015 DOI:
0.1080/15459624.2015.1029611

- [14]. UNI EN 169: 2003 Protezione personale degli occhi – Filtri per saldatura e tecniche connesse – Requisiti di trasmissione e utilizzazioni raccomandate
- [15]. UNI EN 170: 2003 Protezione personale degli occhi - Filtri ultravioletti - Requisiti di trasmissione e utilizzazioni raccomandate
- [16]. UNI EN 171: 2003 Protezione personale degli occhi - Filtri infrarossi – Requisiti di trasmissione e utilizzazioni raccomandate
- [17]. UNI EN 379: 2004 Protezione personale degli occhi – Filtri automatici per saldatura
- [18]. UNI EN 1598:2004 Salute e sicurezza in saldatura e tecniche connesse - Tende, strisce e schermi trasparenti per procedimenti di saldatura ad arco

d-A2018

I rischi fisici nei luoghi di lavoro

DAI PUNTATORI AI LASER SHOW: RISCHIO LASER SOLO NEL LUOGO DI LAVORO?

Francesco Frigerio (1), Luisa Biazzi (2), Chiara Mariotti (2) Filippo Scortichini (3)

- (1) ICS Maugeri Spa Pavia
- (2) Università degli Studi di Pavia
- (3) Super FX – Travagliato (BS)

INTRODUZIONE

Da quando T.H Maiman ha fatto funzionare il primo sistema arubino nel 1960, le sorgenti laser si sono gradualmente diffuse da strumentazioni di laboratorio al campo industriale prima, successivamente al campo sanitario e ultimamente alla vita quotidiana.

Mentre non è frequente reperire in letteratura descrizioni di eventi incidentali che coinvolgono dispositivi laser in ambiente di lavoro, sono abbondantemente descritte lesioni oculari dovute a puntatori o altre sorgenti in uso al pubblico e spesso utilizzate con scarsa consapevolezza dei rischi [1].

La normativa tecnica sulla sicurezza laser è aggiornata continuamente al progresso della tecnologia dalla Commissione Elettrotecnica Internazionale (IEC) con le norme della serie 60825.

Queste norme impongono al “costruttore” del laser, una classificazione in funzione del Livello di Esposizione Accessibile (LEA).

A ciascuna classe sono associate anche particolari prescrizioni di sicurezza, in funzione della possibilità o meno di superare i valori di Esposizione Massima Permissa (EMP), derivati dai valori di esposizione stabiliti dalla International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).



Per questo, i valori di EMP riportati nella 60825-1, edizione 2007, coincidono con i Valori Limite di Esposizione (VLE) applicabili all'esposizione dei lavoratori ai sensi del D.Lgs 81/2008.

Classe 1 - Laser che sono sicuri nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, incluso l'uso di strumenti ottici per la visione del fascio;
Classe 1M - Laser che emettono nell'intervallo di lunghezza d'onda tra 302,5 nm e 4000 nm che sono sicuri nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, ma possono essere pericolosi se l'operatore impiega ottiche di osservazione all'interno del fascio (lenti d'ingrandimento, binocoli,...).;
Classe 2 - Laser che emettono radiazione visibile nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 400 e 700 nm; la protezione dell'occhio è normalmente assicurata dalle reazioni di difesa compreso il riflesso palpebrale. Questa reazione fornisce un'adeguata protezione nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, incluso l'uso di strumenti ottici per la visione del fascio;
Classe 2M - Laser che emettono radiazione visibile nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 400 e 700 nm; la protezione dell'occhio è normalmente assicurata dalle reazioni di difesa compreso il riflesso palpebrale; comunque, la visione del fascio può essere pericolosa se l'operatore impiega ottiche di osservazione all'interno del fascio (lenti d'ingrandimento, binocoli,...).;
Classe 3R - Laser che emettono nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 302,5 nm e 10 µm, dove la visione diretta del fascio è potenzialmente pericolosa ma il rischio è più basso dei laser di Classe 3B; i requisiti del costruttore e le misure di controllo per il Responsabile delle attività sono meno restrittive che per i laser di Classe 3B;
Classe 3B - Laser che sono normalmente pericolosi nel caso di esposizione diretta del fascio; la visione della radiazione diffusa è normalmente non pericolosa;
Classe 4 - Laser che sono anche in grado di produrre riflessioni diffuse pericolose; possono causare lesioni alla pelle e potrebbero anche costituire un pericolo d'incendio. Il loro uso richiede un'estrema cautela

Tabella I: classificazione sintetica dei laser secondo la IEC-60825-1:2007

Nella Tabella I è riportata la descrizione sintetica delle classi, l'illustrazione dei LEA è compiutamente descritta nella norma in quanto oltre al valore della potenza occorre fare riferimento anche ad altri parametri quali l'angolo di visione e l'eventuale presenza di impulsi ultra corti.

d-A2018

La 60825-1 è stata successivamente aggiornata nel 2014 [2], e altre norme della stessa serie si possono utilizzare come guida per la sicurezza in applicazioni particolari.

Nella versione 2014, è stata introdotta anche una classe 1C dove “C” è un riferimento all’applicazione a contatto.

La classe 1C si applica infatti ai laser, progettati per essere applicati a contatto del tessuto da trattare (escluso l’occhio) e dotati di accorgimenti che impediscano la fuga di radiazione al di sopra del LEA della classe 1; questi sistemi laser interrompono l’emissione della radiazione laser quando si allontana la punta del laser dalla superficie.

Molti dispositivi laser di importazione, in particolare quelli più economici, possono riportare riferimenti a classi, espresse generalmente con numeri romani, derivanti dal capitolo 21 del Code of Federal Regulations (CFR) della Food and Drug Administration (FDA) degli Stati Uniti [3].

La classificazione FDA ha validità solo negli Stati Uniti e può corrispondere solo in parte alla classificazione IEC.

Le classi I e IV hanno definizioni e condizioni di applicabilità molto simili alle classi 1 e 4 IEC ma importanti differenze possono esserci per esempio per il rischio di osservazione con strumenti ottici per dispositivi di classe IIIA che potrebbero corrispondere alla 3R o alla 2M a seconda delle condizioni di impiego.

In questo lavoro saranno descritte una serie di situazioni di impiego di dispositivi laser che possono comportare un’esposizione della popolazione.

Il caso più noto è quello dei puntatori, che spesso presentano difformità tra la classificazione riportata sull’etichetta, quando presente, e l’effettiva potenza di uscita [4].

In particolare, è importante prestare attenzione ai puntatori di colore verde, molto popolari per la caratteristica di essere facilmente diffusi dall’atmosfera e quindi molto visibili almeno di notte.

La maggior parte di questi puntatori verdi (lunghezza d’onda 532 nm) sono ottenuti raddoppiando la frequenza di emissione di un laser Nd:YAG [5] con il risultato di avere spesso anche una significativa emissione a 1064 nm, nel vicino infrarosso.

A questa lunghezza d’onda, l’EMP è maggiore rispetto a quello nel visibile.

Il potenziale danno retinico, termico e fotochimico, è quindi cautelativamente valutato assumendo che tutta la potenza sia emessa nel visibile a 532 nm. Un fascio focalizzato infrarosso può tuttavia innescare incendi di eventuali materiali infiammabili più facilmente rispetto alla luce visibile soprattutto se di potenza elevata.

Nel caso dei puntatori, un’ulteriore sorgente di confusione è data dal fatto che negli Stati Uniti sono considerati sicuri anche i puntatori di classe IIIA, ovvero con potenza < 5 mW.

In Italia, un'ordinanza del Ministero della Salute, risalente al 1998 [6], vieta la commercializzazione come puntatori di dispositivi laser pari o superiori alla classe 3, quindi con potenza maggiore di 1 mW.

Salvo poche eccezioni non trattate nel presente lavoro, il rischio laser per il pubblico è associato alla luce visibile.

Nel seguito, considerati i livelli di potenza relativamente bassi che sono in gioco quasi sempre, ci occuperemo, per brevità, del solo rischio oculare che è comunque quello associato ai limiti di esposizione più bassi.

LIMITI E UNITÀ DI MISURA

I valori di EMP sono riportati e discussi nell'Appendice A alla Norma IEC-60825-1: 2014 [2], dove sono anche descritti i criteri per determinare il tempo di esposizione da applicare.

Per tempi di esposizione T compresi tra 5 μ s e 10 s, la densità di energia sulla pupilla, definita esposizione radiante, H , deve essere limitata a

$$H_{EMP} = 18T^{0,75}C_6 \quad \text{J/m}^2 \quad (1)$$

Poiché il fascio ha in ogni caso una elevata luminanza nel visibile, la norma assume, in caso di esposizione ad un fascio continuo, un tempo di esposizione T 0,25 s relativo al tempo del naturale riflesso palpebrale di un occhio sano.

Il coefficiente C_6 , tiene conto del fatto che il rischio maggiore è associato alla minima dimensione dell'immagine della sorgente sulla retina, che si genera quando la sorgente stessa è vista come puntiforme.

La norma stessa prescrive come calcolare C_6 nei diversi casi; il coefficiente assume il valore minimo $C_6 = 1$ in caso di sorgente puntiforme (rischio massimo) e valori più elevati per sorgenti estese.

Nelle sorgenti laser che andremo a considerare nel seguito, il fascio è collimato ovvero presenta un valore piccolo del parametro chiamato divergenza, φ , espressa in radianti.

A distanza r dalla sorgente, un fascio di dimensione iniziale (apertura) a , si allarga per effetto della divergenza φ e il valore del diametro è pertanto

$$d = a + r\varphi \quad (2)$$

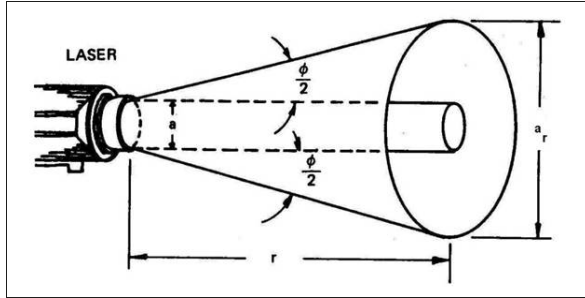


Figura 1: determinazione dell'ampiezza del fascio laser con divergenza φ a distanza r

Dividendo la (1) per il tempo di esposizione T 0,25 s, si ottiene un valore dell'irradianza massima permessa, per sorgenti puntiformi, pari a $E_{EMP} = 25$ W/m^2 .

Esprimere l'EMP come irradianza E_{EMP} è utile in quanto permette facilmente di calcolare la Distanza Nominale di Rischio Oculare (DNRO), ovvero la distanza oltre la quale, per effetto della divergenza, l'irradianza è inferiore all'EMP:

$$DNRO = \frac{1}{\varphi} \sqrt{\frac{4P}{\pi E_{EMP}}} \quad (3)$$

Se P è la potenza del laser in W e E_{EMP} è espresso in W/m^2 , si ottiene la DNRO in metri

L'espressione (3) è strettamente applicabile solo per sorgenti puntiformi, per le quali si trascura la dimensione iniziale del fascio.

Se il fascio non è continuo, occorre considerare l'eventuale effetto termomeccanico dovuto all'assorbimento di impulsi, che possono causare la propagazione di onde meccaniche nel bersaglio.

La norma richiede di calcolare il valore di EMP per i seguenti casi:

1. esposizione ad un singolo impulso di durata $t < T$
2. esposizione al valore medio degli impulsi assorbiti in T
3. esposizione ad un singolo impulso di durata t , moltiplicata per un coefficiente che tiene conto del numero di impulsi assorbiti in T

In funzione della durata t e della frequenza di ripetizione degli impulsi, il criterio di scelta dell'EMP è quello più cautelativo ossia quello a cui corrisponde l'EMP inferiore tra i tre.

La versione 2014 della IEC 60825-1 ha cambiato, in pratica, proprio le procedure per effettuare il confronto sopra descritto, per esempio, impulsi

inferiori ad una certa durata devono essere considerati come un singolo impulso etc.

Queste novità normative non hanno effetti pratici per laser continui o con durate di impulso elevate, ovvero superiori a qualche μs , ma possono essere invece rilevanti per i laser a impulsi ultra corti.

In questo caso è necessario ricordare che la norma tecnica IEC, o meglio CEI-EN-IEC è aggiornata al 2014, il D.Lgs 81/2008 riporta invece, nell'Allegato XXXVII, i valori limite per l'esposizione dei lavoratori, contenuti nella versione 2007.

MATERIALI E METODI

Anche per quanto sopra, è importante valutare le singole sorgenti laser non solo dal punto di vista della potenza media emessa ma anche verificando che il fascio abbia l'andamento temporale corretto ai fini della determinazione del LEA.

Per i laser utilizzati in fisioterapia, per esempio, è stato dimostrato che gli impulsi effettivamente generati non sempre corrispondono a quanto riportato nel manuale di istruzione del sistema laser fornito a corredo [7].

Per tutti i laser di seguito descritti, la lunghezza d'onda della radiazione emessa è stata misurata determinando l'irradianza spettrale $E(\lambda)$ fra 200 e 1000 nm, utilizzando lo spettroradiometro HR4000 della Ocean Optics.

L'irradianza è stata misurata facendo diffondere la radiazione su un campione di diffusione bianco realizzato dalla Bruel e Kjaer.

La potenza del fascio è stata misurata mediante Power Meter Ophir Nova II con rivelatore a termopila a risposta piatta fra 200 e 6000 nm.

La forma dell'impulso è stata invece determinata mediante un oscilloscopio GW Instek, a memoria digitale accoppiato ad un fotodiodo.

Sorgenti laser nella vita quotidiana

Nella Tabella II sono illustrate una serie di sorgenti laser non utilizzate a fini professionali.

Si noti che il Laser 1, dovrebbe essere un oggetto per utilizzo professionale. Si è invece verificato che il termometro a infrarossi era stato acquistato per misurare la temperatura dell'acqua del bagno dei bambini (sic!).

Per tutti i dispositivi indicati, il manuale di istruzioni era risultato smarrito, le uniche informazioni disponibili erano quelle riportate sull'etichetta.

Il controllo con l'oscilloscopio ha evidenziato che in tutti i casi il fascio emesso era continuo e non sono state individuate significative differenze tra la lunghezza d'onda dichiarata sull'etichetta, quando presente, e quella effettivamente emessa.

La Figura 2 mostra lo spettro del Laser 3: in questo caso è stata schermata la radiazione fondamentale a 1064 nm ma non quella del laser "pompa" a 800 nm

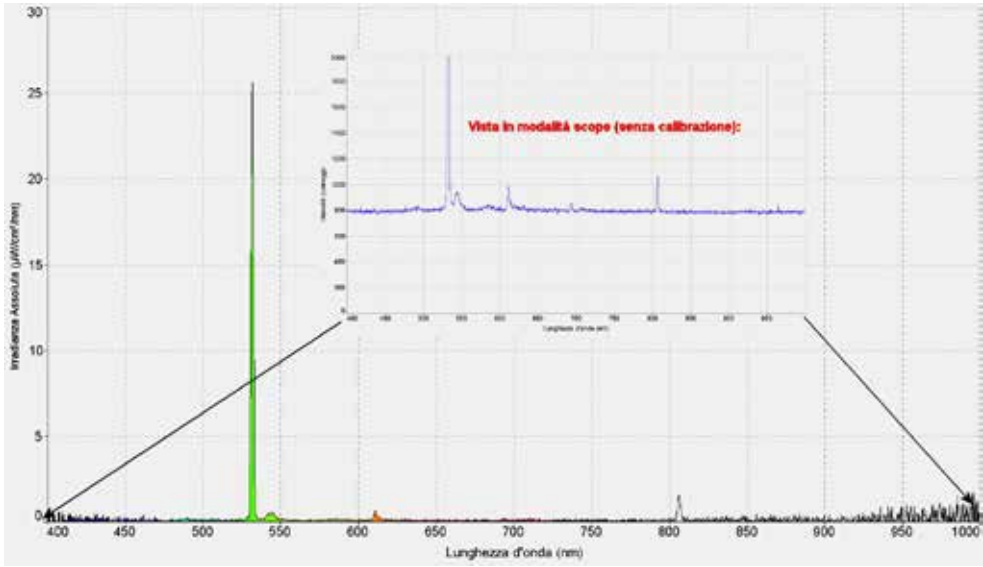


Figura 2: spettro della radiazione del laser 3 si vede la radiazione di pompa a 800 nm ma non la fondamentale a 1064 nm

<i>Sorgente</i>	<i>Marca e modello</i>	<i>Classe dichiarata</i>	<i>Impiego</i>	<i>Immagine</i>
Laser 1	GM320	II	Puntatore rosso inserito in termometro a distanza	
Laser 2	LEICA DISTO A3	2	Telemetro (rosso)	
Laser 3	YL-LASER 303	III	Puntatore verde	
Laser 4	LUCEN	II A	Puntatore rosso inserito in penna-gadget	
Laser 5		1	Puntatore rosso progettato come giocattolo per gatti	
Laser 6		2	Illuminazione decorativa da esterno verde-rosso	

Tabella II: laser utilizzabili nella vita quotidiana

I laser 1,3 e 4 riportano solo la classificazione US-EPA e non quella IEC, si noti che secondo la norma americana [3], indicando classe III si deve intendere che il dispositivo può essere classe IIIA o IIIB; ma se è in classe

IIIB, la norma americana prevede la presenza di un avvertimento visivo o sonoro precedente all'emissione al fine di evitare la visione accidentale. Nella Tabella III, il LEA corrispondente alla classificazione riportata sull'etichetta è confrontato con la potenza effettivamente misurata.

<i>Sorgente</i>	<i>LEA da classificazione</i>	<i>Potenza massimamisuratacon apertura di 7 mm</i>
Laser 1	< 1 mW	5 mW
Laser 2	< 1 mW	0,9 mW
Laser 3	< 500 mW	83 mW
Laser 4	< 1 mW	0,8 mW
Laser 5	< 0,039 mW	0,1 mW
Laser 6	< 1 mW	Rosso + verde: 0,030 mW Rosso: 0,150 mW Verde: 0,066 mW

Tabella III: confronto fra LEA e potenza effettiva di laser reperiti tra il pubblico, in giallo i casi di non conformità

I laser 1 e 5 presentano un LEA superiore a quello di classificazione; il laser 3, anche se venduto come puntatore, è in effetti un sistema di classe IIIB, quindi non conforme nemmeno secondo la norma americana.

Tutti i laser sopra descritti sono stati prestati dai proprietari temporaneamente, pertanto sono stati misurati con le batterie nello stato di carica nei quali sono stati forniti.

Si ricorda che, almeno per i puntatori, è dimostrato [8] che la potenza dipende anche dallo stato di carica della batteria.

Per i laser 1 e 3, la protezione dovrebbe essere garantita dal riflesso oculare; il laser 5, ha una potenza inferiore ma bisogna tenere conto che proprio per questo potrebbe essere osservato per tempi prolungati, tanto più se viene considerato un giocattolo.

Nella Tabella IV sono quindi riportati, per questi casi, i valori di DNRO calcolati utilizzando la (3).

Per la divergenza è stato assunto per tutti $\varphi = 1,5$ mrad in quanto fasci collimati.

Per il laser 5 il valore di EMP è quello previsto in caso di osservazione intenzionale per tempi > 10 s.

	P misurata mW	EMP W/m ²	DNRO m
Laser1	5	25	10,6
Laser3	83	25	43,3
Laser5	0,1	10	2,4

Tabella IV: DNRO calcolata per i laser 1,3 e 5

Come si vede, dispositivi da pochi mW possono causare incidenti con danni oculari anche a distanze non trascurabili.

Il laser 6 è commercializzato a scopo decorativo e, dalle misure eseguite, risulta sicuro; la potenza è effettivamente limitata al LEA della classe 2 e la divergenza è maggiore di 1,5 mrad in quanto gli effetti grafici sono generati mediante una lente.

Ci sono però dispositivi per intrattenimento ben più potenti, che devono essere utilizzati da personale qualificato.

Laser show professionali

Per gli spettacoli con luce laser (con emissione nello spettro visibile tra 380 nm e 780 nm), si applicano il Rapporto Tecnico del CEI 3849 del CT 76, “*Sicurezza dei dispositivi da spettacolo di luce con laser*” [12] e la norma IEC 60825-3 “*Sicurezza dei prodotti laser – parte 3 Guida per gli spettacoli con laser*” [13].

Queste norme individuano le aree dove i fasci laser devono rispettare l’EMP di cui alla [2], e le aree, ad una certa distanza da quella occupabile dal pubblico, dove l’esposizione può arrivare fino a 5*EMP.

Una caratterizzazione degli impulsi generati da un sistema laser KVANTda 30 W [9] è stata presentata alla *18th International Conference on Environment and Electrical Engineerin* gorganizzata a Palermo nel giugno 2018 dall’Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE).

Il sistema genera effetti laser multicolore utilizzando 3 sorgenti continue a diodo combinate in un unico fascio per ottenere un fascio del colore desiderato regolando l’intensità dei tre colori fondamentali.

Le potenze massime delle tre sorgenti, per come riportate nel manuale sono

Rosso (637 nm),	8000 mW
Verde (520 nm),	10000 mW
Blu (460 + 445 nm),	11000 mW

I tre fasci sono poi combinati in un unico sistema di scansione che proietta il fascio risultante in una serie predeterminata di direzioni per generare un’immagine come una sequenza di punti.

Il fascio combinato ha una dimensione dichiarata all’apertura laser di 6 X 5,5 mm e una divergenza $\varphi = 1$ mrad.

La persistenza sulla retina della sequenza dei punti crea l’effetto di un disegno, questo disegno può essere fisso, o più spesso in movimento con cambio di colore durante il movimento stesso.

d-A2018

La definizione e la stabilità dell'immagine, dipendono dalla velocità di scansione (scan rate, "SR") espressa in punti per secondo (pps).

Il rapporto tra lo scan rate ed il numero di punti che compongono l'immagine determina il numero di immagini al secondo proiettate, se questo numero supera il valore di 20, l'occhio umano riesce a percepire solo un'immagine fissa la cui forma può essere fatta variare con continuità.

Valori di SR troppo bassi, rispetto al numero dei punti, creano un'immagine sfarfallante o troppo marcata in alcuni punti.

Lo scan rate è limitato dalle caratteristiche elettromeccaniche del sistema di movimento degli specchi e viene di solito predeterminato.

Le misure oggetto della presente sono state realizzate con $SR = 30$ kpps.

Nella Figura 3 si vede una linea composta da $N = 316$ punti che incide sul power meter e sul diodo contemporaneamente, per effettuare le misure.

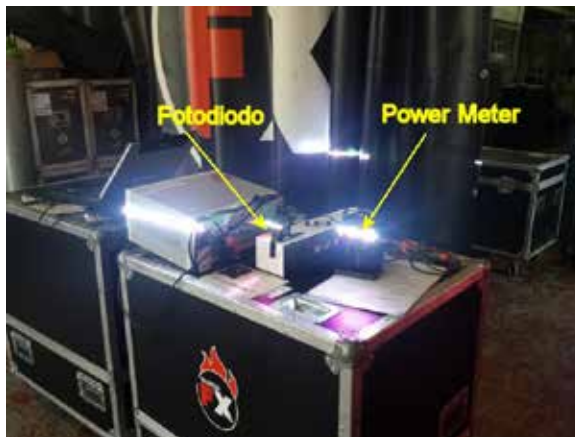


Figura 3: le sonde dei rivelatori illuminate da una riga generata dal laser

Nella Figura 4 si vede come, anche se l'osservatore percepisce una linea continua come nell'immagine, il fotodiodo rivela un fascio impulsato alla frequenza

$$f = \frac{SR}{N} \quad (4)$$

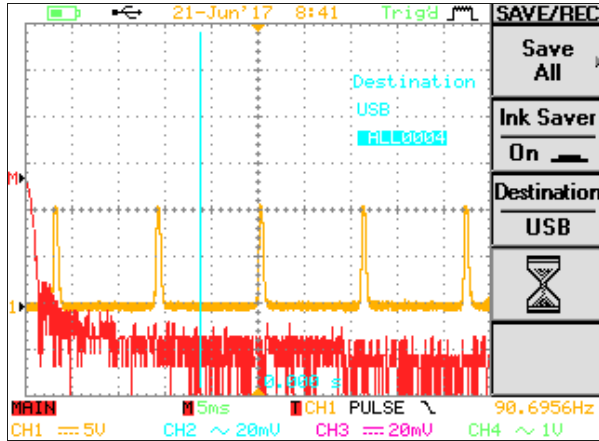


Figura 4: andamento dell'intensità del fascio misurata facendo incidere una riga composta da 316 punti in posizione fissa sul fotodiode

Anche mantenendo il fascio fisso sul rivelatore, il power meter è in grado di misurare solo il valore della potenza media data da

$$P_m = P_p \frac{T_{on}}{T_{off}} \quad (5)$$

dove $T_{off} = 1/f$ e T_{on} è il tempo durante il quale il fascio, in moto a velocità angolare

$$\omega = SR \cdot \varphi \quad (6)$$

rimane puntato sulla pupilla.

Questo tempo è dato dal rapporto tra il diametro del fascio dato dalla (2) e la velocità lineare del fascio $\omega \cdot r$.

Si ha pertanto

$$T_{on} = d_{p1} \frac{a+r\varphi}{d_{p0}} \frac{1}{\omega r} \quad (7)$$

Il termine $\frac{d_{p1}}{d_{p0}}$ tiene conto del fatto che l'apertura con la quale viene osservato il fascio potrebbe essere maggiore di quella della pupilla che, secondo la norma [2] è $d_{p0} = 7$ mm.

Se il fascio è osservato a occhio nudo, $d_{p1} = d_{p0}$ ma se viene utilizzato uno strumento ottico con un'apertura più grande, il fascio incide sulla retina per un tempo maggiore.

d-A2018

Per effetto delle espressioni (5) e (7), l'osservazione del fascio con strumenti ottici aumenta la potenza media della radiazione incidente sulla pupilla.

Per strumenti ottici si intendono strumenti tipo binocolo e assimilabili e il mirino ottico di fotocamere e telecamere.

L'uso di binocoli e cannocchiali può essere vietato agli spettatori di laser show; per quanto riguarda telecamere e fotocamere con mirino ottico, si evidenzia che questi dispositivi sono ormai quasi sempre affiancati alla visualizzazione digitale in macchine utilizzate generalmente da professionisti o amatori esperti.

Per queste persone può essere prescritto, ai fini della sicurezza laser, l'utilizzo dell'"*online-view*", ovvero controllare l'immagine esclusivamente attraverso il display dell'apparecchiatura di ripresa.

Quanto ai sistemi esclusivamente digitali, si ricorda che la radiazione laser può danneggiare il rivelatore senza trasmettere un'irradianza eccessiva all'utilizzatore.

Le equazioni (4), (6) e (7) mostrano poi che il valore di SR ricorre sia al numeratore che al denominatore.

In termini fisici, una velocità maggiore comporta una più alta frequenza di ripetizione del fascio ma anche una minore durata dell'esposizione.

Assumendo per semplicità la visione a occhio nudo, la potenza media incidente sulla pupilla a distanza r dalla sorgente è data da

$$P_m = \frac{P_p}{N} \left(\frac{a}{r\varphi} + 1 \right) \quad (8)$$

La misura della potenza media con il powermeter, ai fini del confronto tra irradianza sull'occhio del pubblico e EMP deve pertanto essere per lo meno corretta per il numero dei punti come sopra descritto.

Se poi il fascio è in movimento, si ottiene un valore fortemente variabile come quello mostrato in Figura 5, che è ancora più fuorviante.

Le formule sopra descritte permettono di costruire un semplice foglio elettronico che permette di verificare, a qualunque distanza dalla sorgente, il valore atteso della potenza e l'EMP applicabile.

La Tabella V riporta un esempio di calcolo per la potenza di 30 W e $N = 316$ punti.

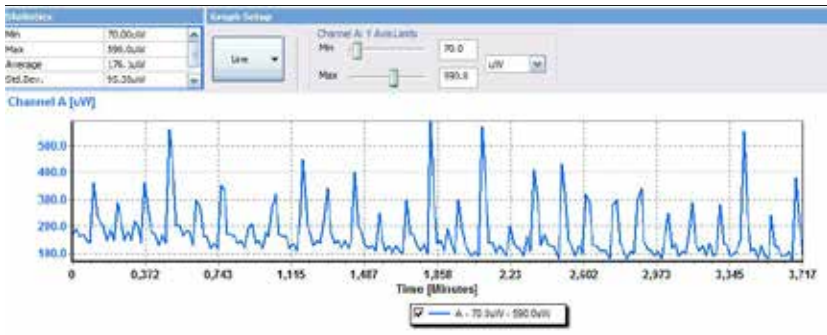


Figura 5: andamento della potenza misurabile con powermeter quando la linea è in movimento

Irradianza ed EMP applicabile sono espressi sia in relazione all'impulso singolo sia, applicando la (5), come irradianza media e anche come potenza media su un apertura di 7 mm al fine di confrontare i valori teorici con eventuali misure.

La DNRO si ottiene per via numerica quando si verifica che $E < EMP$, l'espressione (3) non è infatti applicabile a causa del coefficiente C_6 che dipende dalla distanza così come la durata dell'impulso.

La International Laser Display Association (ILDA), riunisce le principali società in grado di produrre spettacoli laser di alto livello.

In Italia ci sono al momento solo 2 società iscritte all'associazione, una delle quali ha richiesto lo studio qui presentato.

In un documento tecnico del 2009 [10], vengono fornite alcune indicazioni tecniche per garantire la sicurezza del pubblico tenendo conto della necessità di utilizzare potenze elevate per garantire la qualità delle immagini.

Queste indicazioni sono basate sul fatto che gli operatori devono essere adeguatamente formati e addestrati, e che i proiettori professionali sono dotati di software in grado di

- regolare punto per punto la potenza di ciascuna sorgente;
- interrompere il fascio nel caso in cui, per qualche motivo dovesse guastarsi il sistema di specchi che mantiene il fascio in movimento.

Le misure eseguite [9] hanno in effetti evidenziato un buon accordo tra il livello di potenza impostato e l'effettiva potenza emessa.

Distanza di osservazione a occhio nudo m	Durata impulso s	Potenza media misurabile in mW su 7 mm	EMP come potenza media in mW su 7 mm	EMP W/m ² (come irradianza dell'impulso singolo)	Irradianza media sullo spot W/m ²	EMP W/m ² come irradianza media	C ₆
0,1	2,75E-03	5645,91	19,40	1933,02	146706,10	504,02	54,26
0,2	1,39E-03	2789,11	5,82	1145,92	72473,45	151,21	27,13
0,4	7,12E-04	1361,89	1,76	677,34	35388,03	45,76	13,57
0,8	3,72E-04	650,48	0,54	398,17	16902,29	14,08	6,78
1,6	2,03E-04	298,52	0,38	511,48	7756,96	9,85	3,39
3,2	1,18E-04	128,20	0,13	292,78	3331,22	3,28	1,70
6,4	7,57E-05	49,99	0,05	192,96	1299,03	1,39	1,00
12,8	5,45E-05	17,36	0,04	209,47	450,99	1,08	1,00
25,6	4,39E-05	5,39	0,04	221,09	139,95	0,92	1,00
51,2	3,86E-05	1,53	0,03	228,32	39,79	0,84	1,00
102,4	3,60E-05	0,41	0,03	232,41	10,68	0,79	1,00
204,8	3,47E-05	0,11	0,03	234,60	2,77	0,77	1,00
409,6	3,40E-05	0,03	0,03	235,73	0,71	0,76	1,00
819,2	3,37E-05	0,01	0,03	236,31	0,18	0,76	1,00

Tabella V: Calcolo di irradianza e EMP applicabile a diverse distanze per 30 W e N = 316

Nella proposta tecnica [10], gli spettacoli con laser vengono distinti in due livelli.

- Livello 1: il fascio viene mantenuto in tutti i punti nei quali il pubblico può essere interessato ad un'irradianza massima di 100 W/m².
- Livello 2: spettacoli nei quali gli spettatori vengono avvisati della pericolosità del fascio e sono avvertiti di “*non osservare direttamente il fascio*”. Sotto queste condizioni l'irradianza del fascio che può interessare il pubblico può raggiungere i 1000 W/m².

Considerando che gli spettatori sono esposti ad un'irradianza ridotta rispetto al valore impostato per effetto del movimento del fascio, uno spettacolo di livello 1 viene ritenuto sicuramente conforme all'EMP mentre uno

spettacolo di livello 2 viene ritenuto non pericoloso in quanto le assunzioni alla base dei valori di EMP sono ritenute adeguatamente cautelative da proteggere gli spettatori “avvertiti”.

Il foglio elettronico permette invece di ottenere, nelle condizioni sopra descritte, valori dell'EMP sull'impulso singolo che sono effettivamente più alti del valore di 100 W/m^2 considerati dall'ILDA per uno spettacolo di livello 1 ma inferiori al limite per il livello 2 che non risulta in effetti adeguatamente motivato.

Gli incidenti legati agli spettacoli laser descritti in letteratura sono effettivamente molti meno numerosi di quelli causati dai puntatori.

I due tipi di sorgenti sono ugualmente pericolose anche se i livelli di potenza in gioco sembrano diversi.

Nel 2010, un gruppo di medici, in Belgio [11], ha trattato due pazienti che si sono presentati al pronto soccorso una settimana dopo uno spettacolo laser accusando una perdita di acuità visiva.

Gli organizzatori dello spettacolo hanno attribuito i danni a puntatori laser in uso incontrollato a persone del pubblico.

Gli autori hanno tentato una verifica sperimentale, arruolando un soggetto al quale, a causa di un melanoma della coroide, doveva essere asportato un occhio che presentava una retina sana.

Prima dell'asportazione hanno illuminato la retina con una sequenza di impulsi di durata crescente, generati da un puntatore verde di classe 3B “acquistato su internet”.

Non avendo riscontrato la tipologia di lesioni attese, hanno concluso che la potenza di un puntatore non è comunque in grado di procurare le stesse lesioni di un laser da spettacolo.

Nel lavoro non viene riportata una caratterizzazione del puntatore laser, se non in base alla classe dichiarata.

Come descritto in letteratura [4], i laser verdi possono emettere una significativa frazione della potenza a 1064 nm (infrarosso).

Assumendo che la potenza di 500 mW sia corretta, la sequenza di impulsi descritta, equivale ad un'energia di $63,8 \text{ J}$, che su una superficie di 7 mm di diametro corrisponde ad un'esposizione radiante di $1,7 \cdot 10^6 \text{ J/m}^2$.

A titolo di confronto, si evidenzia che per ottenere la stessa esposizione con il proiettore Kvant nelle condizioni descritte in questo lavoro, il tempo di esposizione avrebbe dovuto essere $> 1200 \text{ s}$.

In alternativa, un fascio continuo da 30 W , dovrebbe essere fissato per più 2 s .

CONCLUSIONI

L'esposizione del pubblico a sorgenti laser è effettivamente pericolosa anche perché non sufficientemente conosciuta.

d-A2018

La caratterizzazione delle sorgenti laser in termini di potenza, modulazione temporale e lunghezze d'onda emesse, è in ogni caso indispensabile nella discussione dei casi di incidente.

Gli incidenti possono essere prevenuti con una maggiore consapevolezza degli utilizzatori.

Proprio per queste considerazioni inerenti la pericolosità di tali sorgenti e il possibile rischio di incidenti, durante spettacoli all'aperto con l'impiego di sistemi laser di classe 3B e 4 i responsabili dei laser show devono produrre una relazione tecnica in cui viene fatta una valutazione del rischio anche per il pubblico corredata dalle misure di prevenzione e protezione predisposte.

In particolare andranno valutate le condizioni di guasto del sistema laser ragionevolmente prevedibili e la formazione e l'addestramento degli operatori i quali durante utilizzo dovranno stare in posizione tale da controllare continuamente la traiettoria dei fasci e la loro terminazione. Durante i laser show all'aperto andrà anche garantita la sicurezza del traffico aereo e stradale nei limiti della distanza nominale del rischio oculare.

Si precisa che il D.lgs.81/08 Titolo VIII Capo V con l'Allegato XXXVII Parte II "LASER", che deriva dal recepimento della Direttiva 2006/25/CE, si applica solo ai lavoratori (lavoratori della ditta installatrice sia in fase di allineamento del sistema laser sia durante lo spettacolo quali operatori generici, operatori laser, personale dell'organizzatore locale, musicisti, ecc.). Non esistono analoghe disposizioni di legge per la sicurezza delle persone del pubblico se non quanto previsto nel Rapporto Tecnico [12] e nella Norma Tecnica [13]. Tuttavia in nessun caso il pubblico generico dovrà avere accesso a radiazione laser che superi i Valori Limite di Esposizione applicabili in ogni condizione operativa possibile.

Ai sensi del Rapporto Tecnico [12] in relazione ai laser show "*Per installazioni dove sono messi in opera laser di classe superiore alla 3A l'utilizzatore deve servirsi della consulenza specialistica di un tecnico laser con competenze specifiche relative ai problemi di sicurezza ("Tecnico Sicurezza Laser"-TSL) per la verifica del rispetto della normativa vigente e per l'adozione delle necessarie misure di prevenzione*".

Nella valutazione dei rischi dovuti alla radiazione laser di classe 3B e 4 dovranno essere prese in considerazione non solo l'esposizione diretta ma anche riflessioni speculari o diffondenti da tutte le superfici possibili in particolare con sistemi di protezione dai guasti nel caso in cui il fascio resti fisso e con sistemi di blocco degli specchi di rinvio dei fasci.

Gli strumenti di scansione del fascio laser comprese le sfere speculari rotanti, dovranno incorporare un mezzo che impedisca l'emissione laser in



d=A2018

caso di guasto che abbia come effetto la variazione della velocità o dell'ampiezza della scansione.

Tutti i sistemi dimostrativi laser saranno provvisti di un sistema, facilmente accessibile, che provochi l'immediata cessazione dell'emissione laser.

I fasci laser devono essere diretti in volumi non occupati da persone.

Se la dimostrazione non richiede una supervisione continua o un controllo operativo, dovrà essere designata una persona specificatamente formata, presente durante tutta la dimostrazione, responsabile dell'immediata cessazione dell'emissione laser, nel caso di malfunzionamento dell'apparecchiatura, comportamento scorretto del pubblico e ogni altra situazione rischiosa.

Se l'installazione laser soddisfa tutte le prescrizioni qui esposte, non sarà necessario apporre cartelli o scritte di avvertimento.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gregory D Lee, Caroline R Baumal, David Lally, John D Pitcher, James Vander, Jay S Duker 1
Retinal injury after inadvertent handheld laser exposure
Retina, Lippincott Williams & Wilkins Philadelphia, Pa (December 2014 - Volume 34 - Issue 12)
- [2] International Electro-technical Commission IEC 60825-1 *Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements* Edition 3.0 2014-05
- [3] United States Of America, Code of Federal Regulations, Title 21, Volume CFR1040.10
- [4] Joshua Hadler, Edna Tobares, Marla Dowell “*Random testing reveals excessive power in commercial laser pointers*” Journal of Laser Applications 04/2013; 25(3) 2013 Laser Institute of America.
- [5] Galang J., Restelli A., Hagley EW., Clark CW., “*A Green Laser Pointer Hazard*” NIST Technical Note 1668, July 2010
- [6] Ministero della Salute, Dipartimento della Prevenzione, ORDINANZA 16 luglio 1998 “*Divieto di commercializzazione sul territorio nazionale di puntatori laser o di oggetti con funzione di puntatori laser di classe pari o superiore a 3 secondo la norma CEI EN 60825.* (published in the Official Journal of the Italian Republic n. 167 20 July 1998)”
- [7] Bivona R, Frigerio F, Tomaselli A. “*Control measurements for lasers in physiotherapy*”, Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia, Volume XXXIX (1) gennaio-marzo 2017
- [8] Francesco Frigerio: *Risk for general public in the use of handheld laser pointers.* Italian Journal Of Environmental and Industrial Hygiene eISSN: 2464-8817, Vol. 6 (1) 2015
- [9] Francesco Frigerio, Luisa Biazzi: *Maximum permissible exposure in the laser display shows.* IEEE 18th International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2nd Industrial and Commercial Power Systems Europe, Palermo, Italy 12-15th June 2018; 06/2018

The logo features a stylized lowercase 'd' with horizontal lines above it, followed by a hyphen and a bold uppercase 'A', and the year '2018' in a bold sans-serif font.

[10] Patrick Murphy and Greg Makhov. *Scanning Audiences at Laser Shows: Theory, Practice and a Proposal* International Laser Display Association 2009 <http://www.ilda.com/>

[11] Boosten K. Van Ginderdeuren R. Spileers W. et al. *Laser-induced retinal injury following a recreational laser show: two case reports and a clinicopathological study*. Bull SocBelgeOphtalmol. 2011;317:11–16

[12] Rapporto Tecnico del CEI 3849 del CT 76, “*Sicurezza dei dispositivi da spettacolo di luce con laser*”, 1998

[13] Norma Tecnica IEC 60825-3 “*Sicurezza dei prodotti laser – parte 3 Guida per gli spettacoli con laser*”, 2008



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

IL D. LGS. 159/2016 A DUE ANNI DALL'ENTRATA IN VIGORE: NOVITÀ E CRITICITÀ

Rosaria Falsaperla (1), Andrea Bogi (2), Gian Marco Contessa (3), Iole Pinto (2), Alessandro Polichetti (4)

- 1) INAIL DiMEILA - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale – Monte Porzio Catone (Roma)
- 2) USL Toscana SudEst - Laboratorio di Sanità Pubblica – Siena
- 3) ENEA – Istituto di Radioprotezione – Frascati (Roma)
- 4) ISS - Centro Nazionale per la Protezione dalle Radiazioni e Fisica Computazionale - Roma

1 INTRODUZIONE

Il D.lgs. 159/2016 [1] ha modificato il Capo IV del Titolo VIII del D.lgs. 81/08 in attuazione della Direttiva 2013/35/UE [2] sulla protezione dei lavoratori dall'esposizione ai campi elettromagnetici. L'impianto di protezione del nuovo Capo IV introduce rispetto al precedente, peraltro mai entrato in vigore, alcune innovazioni la cui gestione comporta un importante adeguamento sotto il profilo organizzativo e culturale di tutti i soggetti coinvolti a vario titolo.

Uno dei principali aspetti innovativi, che presenta indubbiamente alcune difficoltà interpretative e per il quale più volte sono stati richiesti chiarimenti agli autori della relazione, è legato alla possibilità prevista dal decreto di condizioni di “sovrapposizione” ovvero di superamento dei limiti di esposizione.

Un altro aspetto innovativo, strettamente connesso al precedente, è l'introduzione di un doppio sistema di limiti di esposizione e di valori di azione all'interno del quale si distinguono gli effetti biofisici diretti dei campi elettromagnetici in effetti sensoriali e sanitari.

Gli effetti sensoriali comprendono nausea, vertigini, fosfeni e possibili disturbi cognitivi minori per quanto riguarda gli effetti non termici dei campi magnetici statici e dei campi elettrici e magnetici in bassa frequenza (fino a 10 MHz), e gli effetti uditivi per quanto riguarda gli effetti termici delle microonde pulsate tra 300 MHz e 6 GHz. Sono effetti transitori che possono o non possono implicare rischi per la sicurezza in funzione del tipo di attività svolta dal lavoratore e dell'ambiente in cui essa viene svolta.

Gli effetti sanitari, quali stimolazione nervosa, contrazione muscolare involontaria, fino all'induzione di aritmie cardiache, sono al contrario effetti che vengono considerati potenzialmente pericolosi per la salute, sebbene comprendano effetti di minore importanza come la semplice percezione delle correnti elettriche indotte nel corpo dai campi esterni.

Gli effetti sensoriali si manifestano a livelli di esposizione più bassi ed i relativi limiti sono quindi generalmente più restrittivi ma flessibili rispetto a quelli stabiliti per la protezione dagli effetti sanitari, per i quali sono imposti limiti più elevati ma rigidi.

Nel caso degli effetti sensoriali la "flessibilità" nei confronti del rispetto dei limiti trova il suo fondamento nell'approccio protezionistico introdotto dall'ICNIRP nelle Linee Guida sui campi magnetici statici [3] e sui campi elettrici e magnetici variabili nel tempo a frequenze comprese tra 1Hz e 10 MHz [4]. Secondo tale approccio gli effetti sensoriali sono riconosciuti come "minori" in quanto non costituiscono un rischio per la salute, ma possono implicare o meno rischi per la sicurezza. Viene accettata l'eventualità che un lavoratore possa sperimentarli a condizione che ne siano controllate le conseguenze per la sicurezza.

La condizione di sperimentare effetti sensoriali assume in ogni caso carattere di eccezionalità "ove giustificato dalla prassi o dal processo" e deve essere temporanea e accompagnata dall'adozione di specifiche e ulteriori misure di protezione da parte del datore di lavoro.

Il D.lgs. 159/2016 assume questo approccio flessibile nell'Articolo 208, aggiungendo al contempo, come vedremo più in dettaglio in seguito, una misura di protezione aggiuntiva (comma 6).

La possibilità di superare anche i limiti per gli effetti sanitari è espressa invece nell'Articolo 212 dedicato alle deroghe, e prevede adempimenti più stringenti da parte del datore di lavoro. Si ricorda che tale opzione è stata introdotta a suo tempo dalla direttiva in primo luogo per limitare il possibile impatto delle restrizioni sulla Risonanza Magnetica. Lo scopo era di non ostacolare lo sviluppo di tale pratica medica di indubbio beneficio per i pazienti, anche in previsione dell'evoluzione tecnologica dei tomografi e dell'implementazione e diffusione di pratiche che potrebbero comportare per l'operatore livelli di esposizione più elevati, attuando al contempo un'efficace protezione dei lavoratori.

Le disposizioni relative alla deroga erano state tuttavia estese dalla direttiva anche ad altri settori specifici o attività specifiche, anche se con modalità più restrittive (autorizzazione da parte degli Stati membri, superamenti dei limiti di esposizione solo temporanei).

Lo spirito di questa opzione, adottata come detto anche dal D.lgs. 159/2016, non deve in ogni caso esimere il datore di lavoro dal valutare il rischio e dal motivare attraverso quali specifiche misure preventive e di controllo l'eventuale superamento dei limiti non sia causa di detrimento per la salute e la sicurezza dei lavoratori medesimi.

In Italia l'adozione del sistema di deroga, secondo l'Articolo 212, è subordinata ad autorizzazione da parte dell'autorità centrale (Il Ministero del lavoro e delle politiche sociali di concerto con il Ministero della Salute), anche nel caso della Risonanza Magnetica (differentemente da quanto previsto dalla direttiva), secondo modalità da definirsi con un decreto attuativo ad oggi non ancora pubblicato.

Tale opzione risulta quindi al momento una mera possibilità di fatto inattuabile, in quanto non sono ancora definiti i criteri né per la presentazione della richiesta di autorizzazione né per la fase istruttoria che sarà verosimilmente prevista a seguito della stessa.

Un altro aspetto critico più volte sottoposto all'attenzione degli scriventi è riferito alla valutazione e gestione del rischio dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili, in particolare ai portatori di dispositivi medici impiantabili attivi, per la protezione dei quali i datori di lavoro si trovano spesso impreparati, considerata la relativa novità della problematica. Nasce quindi l'esigenza di riferimenti e indicazioni operative per supportare gli adempimenti in capo al datore di lavoro, ai responsabili e agli addetti SPP ed al medico competente per quanto riguarda la valutazione del rischio e la sorveglianza sanitaria. Nel presente lavoro sono pertanto analizzate le principali difficoltà interpretative incontrate nell'attuazione del nuovo Capo IV, evidenziate prevalentemente attraverso i quesiti posti dagli utenti del Portale Agenti Fisici (PAF) o presentati agli autori della presente relazione, e saranno descritti i riferimenti sviluppati o in corso di elaborazione a supporto della valutazione del rischio e della sorveglianza sanitaria.

2 IL SISTEMA DI FLESSIBILITÀ PREVISTO DAL D.LGS. 159/2016

L'articolo 208 (*Valori limite di esposizione e valori di azione*) delinea il sistema di flessibilità nei confronti degli effetti sensoriali. Poiché la possibilità di superare i limiti rappresenta una novità per quanto riguarda la protezione dall'esposizione ai campi elettromagnetici (CEM), spesso vengono poste agli autori di questo articolo quesiti sull'applicazione e

gestione del sistema di “flessibilità” e sugli obblighi di notifica ai sensi del comma 6.

È opportuno pertanto fare alcune precisazioni. Le clausole di cedevolezza di cui al comma 4 nei confronti del rispetto dei VA per gli effetti sensoriali (utilizzabile in assenza di informazioni sul rispetto o meno dei corrispondenti VLE), e del comma 5 nei confronti del rispetto dei VLE per gli effetti sensoriali (utilizzabile in presenza di informazioni sul superamento di detti VLE) si riferiscono a condizioni in cui i potenziali superamenti temporanei non abbiano carattere accidentale, ma siano previsti dal datore di lavoro che li ritiene necessari ai fini della pratica o del processo produttivo, nel rispetto comunque delle condizioni indicate nei due commi e rimanendo sotto il pieno controllo del datore di lavoro. Le due fattispecie sono esclusive una dell'altra.

In entrambi i casi deve essere comunque dimostrata e documentata la conformità ai VLE sanitari (se non per espressa deroga), valutazione che può essere condotta anche attraverso la verifica di conformità ai VA superiori.

Per quanto riguarda la notifica all'organo di vigilanza, tenuto conto del comma 3 dell'art. 208, la comunicazione di cui al comma 6 non va effettuata in tutti i casi in cui il datore di lavoro possa documentare la conformità ai VLE sensoriali e, in base alle caratteristiche della sorgente e dell'ambiente di lavoro, non debba mettere in atto le misure di protezione specifiche ex articolo 210 finalizzate a prevenire rischi per la sicurezza, anche in condizioni di superamento dei VA inferiori. Devono infatti essere intrinsecamente esclusi rischi per la sicurezza a prescindere da qualsiasi misura di protezione adottata.

Quest'ultima precisazione si rende indispensabile in quanto, sulla base della formulazione del comma 3 dell'articolo 208 (che deriva direttamente dalla direttiva), si potrebbe dedurre che non sia necessario effettuare la comunicazione nei casi in cui, al superamento dei VA inferiori, si dimostri che non sono superati i VLE sensoriali e il datore di lavoro abbia messo in atto le misure di protezione specifiche ex articolo 210 finalizzate a prevenire rischi per la sicurezza. Più volte sono stati ricevuti quesiti a questo proposito; nello spirito del D.lgs. 159/2016 la comunicazione va fatta anche in questi casi.

Bisogna tenere presente infatti che il comma 6 è stato introdotto in Italia come misura di protezione aggiuntiva rispetto ai dettami della direttiva 2013/35 per porre attenzione su situazioni espositive critiche, disincentivare condizioni di sovraesposizione non strettamente necessarie e permettere all'organo di vigilanza di monitorarle.

La formulazione del comma 6 prevede difatti prima di tutto che sia segnalata la particolare situazione espositiva (critica, da tenere sotto controllo) e poi, attraverso la prevista relazione tecnico-protezionistica, siano forniti all'organo di vigilanza dati utili e strumenti tecnici per verificare che il

datore di lavoro fosse effettivamente nella necessità di adottare il sistema di flessibilità e lo abbia implementato correttamente.

La relazione deve infatti riportare le motivazioni per cui ai fini della pratica o del processo produttivo è necessario il superamento temporaneo dei VA inferiori o dei VLE relativi agli effetti sensoriali; il livello di esposizione dei lavoratori e l'entità del superamento; il numero di lavoratori interessati; le tecniche di valutazione utilizzate; le specifiche misure di protezione adottate in conformità all'articolo 210, includendo i metodi di prevenzione degli effetti indiretti e sulla sicurezza; etc.

La comunicazione non è ovviamente dovuta per i superamenti *una tantum*, di natura accidentale, vale a dire non previsti e non programmati o non programmabili, non riconducibili alle fattispecie descritte nei commi 4 e 5 dell'art. 208. In tale eventualità, cioè a fronte di un superamento accidentale, il datore di lavoro dovrà provvedere con l'aggiornamento della valutazione dei rischi e delle misure intraprese per ripristinare le condizioni di sicurezza ex articolo 210 comma 7.

Vista la possibilità di sperimentare effetti sensoriali, si apprezza anche l'introduzione nel decreto dell'Articolo 210-bis che arricchisce e puntualizza i contenuti dell'attività di formazione di cui all'Articolo 184 del D.lgs. 81/08, con richiami specifici agli effetti indiretti e alla possibilità di sperimentare *“sensazioni e sintomi e transitori dovuti a effetti sul sistema nervoso centrale o periferico”*, contribuendo alla corretta applicazione del sistema di flessibilità.

3 IL SISTEMA DI DEROGA PREVISTO DAL D.LGS.159/2016

L'Articolo 212 (“Deroghe”) introduce la possibilità di derogare dal rispetto dei VLE. Essendo i superamenti, ancorché temporanei, dei VLE per gli effetti sensoriali già previsti dall'articolo 208, si ritiene che oggetto delle deroghe siano essenzialmente i VLE per gli effetti sanitari. Benché, come già evidenziato, il possibile impatto sulla pratica medica della Risonanza Magnetica (RM) sia stato il principale motivo alla base della introduzione di questa opzione, il sistema di deroga può essere applicato anche ad altri settori e attività specifiche.

Verosimilmente sono interessate a questa clausola alcune categorie sia in ambito industriale, prima fra tutti quella dei saldatori, che nel settore degli elettromedicali (ad esempio stimolatori transcranici ed elettrobisturi), per le quali è nota la potenzialità di esposizioni superiori ai limiti per gli effetti sanitari e l'intrinseca difficoltà di riportare tali esposizioni al di sotto dei VLE senza dover incorrere in costi eccessivi.

La formulazione della deroga è fortemente condizionata e prevede l'attuazione, da parte del datore di lavoro, di una serie di valutazioni e adempimenti dai quali risulti documentabile l'assenza di rischi per i lavoratori, primo fra tutti che il superamento dei limiti sia stato dimostrato

dalla valutazione del rischio (implicito richiamo all'obbligatorietà della stessa) e che *“i lavoratori sono sempre protetti contro gli effetti nocivi per la salute e i rischi per la sicurezza, avvalendosi in particolare di norme e orientamenti comparabili, più specifici e riconosciuti a livello internazionale”*.

A differenza della formulazione originale della Direttiva 2013/35, secondo la quale nel caso della RM il datore di lavoro può avvalersi direttamente del sistema di deroga, nel D.lgs. 159/2016 tutto il regime di deroghe è ricondotto ad un'unica disciplina soggetta ad autorizzazione centrale. Come recita il decreto il *“Ministero del lavoro e delle politiche sociali, di concerto con il Ministero della salute, può autorizzare, su richiesta del datore di lavoro e in presenza di specifiche circostanze documentate e soltanto per il periodo in cui rimangono tali, deroghe al rispetto dei VLE di cui all'articolo 208, comma 1, secondo criteri e modalità da definirsi con decreto del Ministro del lavoro e delle politiche sociali, di concerto con il Ministro della salute, da adottarsi entro centoventi giorni dalla data di entrata in vigore della presente disposizione”*.

Quindi, come già detto, ad oggi questa opzione è di fatto inattuabile in quanto il decreto attuativo non è stato ancora pubblicato. Ove in futuro si porrà questa evenienza, il problema più rilevante sarà come rispondere alla domanda: quali misure potrà e dovrà mettere in atto il datore di lavoro per garantire la salute e la sicurezza dei lavoratori nel caso di superamento dei limiti di esposizione per gli effetti sanitari?

Per quanto riguarda la Risonanza Magnetica lo stesso decreto fornisce alcune indicazioni al riguardo, ovvero recita *“il datore di lavoro dimostra che i lavoratori sono sempre protetti dagli effetti nocivi per la salute e dai rischi per la sicurezza, assicurando in particolare che siano seguite le istruzioni per l'uso in condizioni di sicurezza fornite dal fabbricante ai sensi del decreto legislativo 24 febbraio 1997, n. 46, e successive modificazioni, concernente “Attuazione della [1 93/42/CEE, concernente i dispositivi medici”*. Questa indicazione di fatto rimanda all'applicazione della norma tecnica CENELEC EN 60601-2-33 *“Apparecchi elettromedicali. Parte 2: Prescrizioni particolari di sicurezza relative agli apparecchi a risonanza magnetica per diagnostica medica”* [5], che assicura appunto il rispetto dei requisiti della Direttiva 93/42/CEE [6] e fissa le prescrizioni specifiche per la sicurezza delle apparecchiature RM, sia per quanto riguarda la protezione del paziente che del lavoratore. Nei confronti della protezione del lavoratore, la norma adotta delle scelte di tipo “politico”, ritenendo, in considerazione del beneficio ricevuto dal paziente, che il lavoratore possa sperimentare effetti biologici minori, quali ad esempio livelli accettabili di stimolazione dei nervi periferici, purché tale eventualità sia bilanciata da un'adeguata formazione del lavoratore. Sebbene si possa discutere questo approccio, esso rappresenta comunque un riferimento cui può ispirarsi il datore di lavoro.

Si noti che, mentre in ambito industriale la normativa tecnica ha già affrontato gli aspetti legati all'esposizione degli operatori in riferimento agli apparati più diffusi e di maggiore interesse protezionistico (si pensi ad esempio alle varie famiglie di saldatrici), nel settore degli elettromedicali, se si esclude appunto il caso della RM, la normativa tecnica internazionale non ha ancora affrontato questo aspetto limitandosi a fissare solo i requisiti relativi alla sicurezza elettrica e alla compatibilità elettromagnetica.

Sarebbe pertanto auspicabile a nostro parere, anche nel settore degli elettromedicali, la pubblicazione di norme tecniche armonizzate a cui i produttori possano e debbano rivolgersi per la verifica di conformità dei requisiti di protezione per i lavoratori ai sensi della Direttiva 2013/35. Tale percorso avrebbe il duplice scopo di identificare e fornire indicazioni tecniche e procedurali per la protezione del lavoratore, alleggerendo al contempo il datore di lavoro da pesanti e complesse valutazioni quali ad esempio quelle dosimetriche.

Ritornando alla questione specifica della RM, si evidenzia che ad oggi, come indicato dalla letteratura scientifica e confermato anche da esperienze cui hanno partecipato alcuni fra gli autori del presente contributo [7, 8, 9], la quasi totalità delle pratiche e procedure garantirebbero il rispetto dei limiti stabiliti dal D.lgs. 159/2016 e non risulterebbe pertanto necessario, qualora già attuabile, ricorrere all'applicazione della deroga.

Questo in quanto in Italia non è ancora operativa la RM interventistica e sono molto rari i casi in cui è richiesta la presenza dell'operatore nella sala magnetica durante l'effettuazione dell'esame diagnostico.

È nostra opinione che ad oggi le situazioni più frequenti che potrebbero comportare rischi per il lavoratore possano essere gestite adottando il sistema di flessibilità per gli effetti sensoriali precedentemente descritto, in particolare in relazione al movimento dell'operatore in sala magnetica.

4 IL CASO SPECIFICO DELLA RISONANZA MAGNETICA

In RM una delle questioni attualmente più rilevanti riguarda il movimento nel campo magnetico statico, aspetto che coinvolge qualsiasi operatore acceda alla sala magnetica e che può comportare la comparsa di sintomi transitori quali vertigini, nausea, sapore metallico.

Le disposizioni del D.lgs. 159/2016 per la protezione dagli effetti sensoriali tra 0 – 1 Hz prevedono la limitazione a 2 T (VLE) per l'induzione magnetica esterna. Tale valore è *“applicabile in condizioni di lavoro normali) ed è correlato alla prevenzione di nausea e vertigini dovute a disturbi sull'organo dell'equilibrio, e di altri effetti fisiologici, conseguenti principalmente al movimento del soggetto esposto all'interno di un campo magnetico statico”*.

Il decreto non prevede quindi l'obbligo di valutazione di specifici parametri fisici atti a limitare i campi elettrici interni indotti dal movimento del soggetto all'interno di un campo magnetico statico, ma solo della verifica sul valore dell'induzione magnetica esterna e, in caso di superamento di 2T, l'obbligo di notifica all'organo di vigilanza ai sensi del già discusso comma 6 dell'art. 208.

Appare dunque ragionevole che il controllo dei movimenti, inteso come la capacità attiva dell'operatore di muoversi lentamente, evitando spostamenti e rotazioni brusche (anche della sola testa), sia da considerarsi, ai sensi dell'articolo 210 comma 6, tra le misure di protezione e prevenzione utili a ridurre o eliminare effetti sensoriali e sintomi transitori nei casi di superamento del valore limite di esposizione di 2 T, qualora si verificano le condizioni previste nelle clausole di flessibilità di cui all'art. 208 comma 5.

Si evidenzia che su questa problematica sono stati spesso manifestati agli scriventi dubbi sull'obbligatorietà dell'applicazione delle pertinenti Linee Guida ICNIRP pubblicate nel 2014 [10] e quindi sulla obbligatorietà di effettuare complesse valutazioni incluse, se del caso, valutazioni dosimetriche. Dal momento che le raccomandazioni indicate in tali Linee Guida non rientrano tra le prescrizioni del D.lgs. 81/08, la loro applicazione va ritenuta a titolo puramente volontario nell'ottica di eventuali approfondimenti.

Queste considerazioni trovano riscontro anche nella bozza del Decreto del Ministero della Salute sugli standard di sicurezza e utilizzo in RM (<http://www.quotidianosanita.it/allegati/allegato8427427.pdf>), che per i limiti di esposizione da applicare per i lavoratori rimanda esplicitamente al D.lgs. 159/2016. Dopo il parere favorevole in sede di conferenza Stato Regioni e il via libera del Consiglio Superiore di Sanità e dell'Istituto superiore di Sanità, l'iter di tale decreto è praticamente concluso ed è quindi prevedibile a breve la sua pubblicazione.

5 LAVORATORI APPARTENENTI A GRUPPI PARTICOLARMENTE SENSIBILI AL RISCHIO

L'articolo 210 prescrive al comma 2 che, sulla base della valutazione dei rischi di cui all'articolo 209, il datore di lavoro elabora e applica un programma d'azione che comprenda misure tecniche e organizzative volte a prevenire qualsiasi rischio per lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio e qualsiasi rischio dovuto a effetti indiretti.

Rientrano in questa categoria i portatori di dispositivi medici, impiantabili o indossabili, attivi o passivi, e le donne in gravidanza, ma anche soggetti affetti da patologie che possono alterare l'eccitabilità del sistema nervoso centrale o affetti da aritmie o da patologie del cuore, dell'emodinamica e di altri organi/apparati che possono favorire l'insorgenza di aritmie.

Sebbene con opportune precisazioni, in generale questi lavoratori sono adeguatamente tutelati se sono rispettati i requisiti di protezione stabiliti per la popolazione.

Una delle azioni prioritarie da intraprendere a tal fine - come richiamato dalle norme di buona tecnica [11,12] - è che le aree di superamento dei livelli di riferimento per la popolazione siano opportunamente segnalate al fine di prevenire esposizioni di soggetti inconsapevoli della sussistenza del rischio e particolarmente sensibili, anche se questi non dovessero essere presenti nell'azienda al momento della valutazione del rischio CEM. Si pensi ad esempio al caso di un lavoratore al quale venga impiantato un dispositivo medico nell'arco di tempo tra una valutazione del rischio e il suo aggiornamento successivo previsto, ai sensi dell'Articolo 181, con cadenza almeno quadriennale.

Viceversa, in assenza di segnaletica idonea, un qualsiasi soggetto sensibile potrebbe accidentalmente avvicinarsi ad un'area a rischio di esposizione a CEM. Le stesse considerazioni si applicano per i lavoratori terzi che accedono in azienda. La carenza della messa in atto di tali azioni è una delle criticità frequentemente riscontrabili nelle valutazioni del rischio CEM.

A tale riguardo è importante considerare anche che il comma 3 dell'articolo 210 (Disposizioni miranti ad eliminare o ridurre i rischi) richiama gli obblighi del datore di lavoro su questo aspetto indicando come lo stesso, in conformità all'articolo 183, *“adatta le misure di cui al presente articolo alle esigenze dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio e, se del caso, a valutazioni individuali dei rischi, in particolare nei confronti dei lavoratori che hanno dichiarato, anche a seguito delle informazioni ricevute ai sensi dell'articolo 210-bis, di essere portatori di dispositivi medici impiantati attivi o passivi, o hanno dichiarato l'uso di dispositivi medici sul corpo o nei confronti delle lavoratrici in stato di gravidanza che hanno informato il datore di lavoro della loro condizione”*.

Il riferimento al già citato articolo 210-bis evidenzia l'importanza della formazione nel caso dei soggetti sensibili che, se adeguatamente formati, saranno in grado di individuare le aree a rischio presenti in azienda ovvero comunicare informazioni riguardanti il proprio stato di salute rilevanti in relazione alla mansione svolta e al contesto lavorativo e riconoscere eventuali sintomi ascrivibili all'esposizione ai CEM.

Si evidenzia in questo ambito il ruolo centrale del medico competente che rappresenta la figura professionale abilitata all'acquisizione/comunicazione di informazioni sullo stato di salute del lavoratore ai fini dell'individuazione di controindicazioni specifiche all'esposizione ai CEM. La figura del medico competente è richiesta sempre anche nella formulazione del giudizio di idoneità alla mansione, che in molti casi si pone a monte dell'attività di formazione programmata, in particolare nel caso dei portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (DMIA).

Approfondire gli aspetti inerenti la sorveglianza sanitaria esula dagli scopi del presente lavoro. Da quanto detto si ritiene comunque ragionevole che, data la potenziale presenza di soggetti sensibili, salvo casi particolari tutelati dal rispetto dei requisiti di protezione della popolazione, il medico competente effettui una visita medica preventiva al superamento dei livelli di riferimento per la popolazione, in modo di eseguire un prescreening circa l'eventuale presenza di lavoratori potenzialmente più sensibili al rischio, caratterizzandone anche la tipologia.

Il caso specifico dei portatori di DMIA appare a questo proposito tra i più critici in quanto essi possono essere esposti a rischi anche a livelli di esposizione inferiori a quelli della popolazione. A fronte di questa criticità, la categoria dei portatori di DMIA rappresenta però l'unica per la quale i datori di lavoro dispongono di indicazioni operative per la valutazione del rischio potendosi riferire all'approccio descritto da specifiche norme armonizzate ([13], [14]), la cui validità è stata confermata dalla Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai [12]. Tali norme tecniche suggeriscono di effettuare una prima analisi dei rischi semplificata basata sul presupposto che i DMIA funzionino correttamente, sebbene con opportune precisazioni, qualora non siano superati i livelli di riferimento stabiliti dalla Raccomandazione 1999/519/CE. Dal momento che questa analisi semplificata non è sempre sufficiente ad affrontare in modo adeguato la molteplicità e complessità di situazioni espositive che si possono incontrare in ambiente di lavoro, in alcuni casi può essere necessario effettuare valutazioni più approfondite. Condizioni specifiche possono derivare ad esempio da una particolare configurazione del DMIA, dovuta ad esigenze del paziente, o nel caso in cui il fabbricante del dispositivo dichiara esplicitamente di non aver rispettato i requisiti di immunità del dispositivo medico richiesti dalle norme tecniche armonizzate (EN45502-1, norma orizzontale, valida per tutti, [15] e le norme particolari della serie EN45502-2-X, [16, 17, 18].

L'analisi semplificata delineata nella norma generale EN50527-1 presuppone l'iniziale identificazione delle sorgenti potenzialmente interferenti con il DMIA, sorgenti che devono poi essere confrontate con quelle riportate nella Tabella 1 della norma, che elenca gli ambienti di lavoro e le apparecchiature considerate automaticamente conformi, purché vengano rispettate le indicazioni riportate nella colonna "Eccezione e Note". Se tutte le sorgenti individuate nell'ambiente di lavoro rientrano nella tabella e sono utilizzate come specificato nella stessa, il processo di valutazione del rischio può essere considerato concluso e non sono necessarie ulteriori azioni.

Se sul luogo di lavoro sono presenti sorgenti diverse da quelle riportate nella Tabella 1, o il loro utilizzo non è conforme a quanto indicato nella tabella stessa, lo sforzo di valutazione può essere comunque ridotto verificando se il lavoratore con DMIA abbia già lavorato nella sua mansione attuale senza



effetti clinicamente significativi (comportamento precedentemente non influenzato, paragrafo 5.1.3 di EN50527-1). La norma specifica in ogni caso che tale approccio non offre margini di sicurezza e non è quindi consigliabile adottarlo a meno che si possa escludere la probabilità di interazioni gravi, ossia clinicamente significative. Le stesse considerazioni si possono estendere al caso in cui siano disponibili dati storici di assenza di influenze sul DMIA in relazione alla sorgente in esame.

Nel caso il criterio semplificato non risponda alle peculiarità del luogo di lavoro, è necessario procedere ad una valutazione specifica, seguendo i due approcci, clinico e non clinico, riportati nell'Allegato A della norma, anch'esso di carattere normativo.

Indipendentemente dal percorso seguito, il processo di valutazione del rischio si conclude con l'individuazione delle aree di accesso (continuativo/transitorio) o di interdizione per il lavoratore. Un eventuale esito di questo processo potrebbe pertanto anche comportare la modifica della mansione lavorativa. Approfondimenti sul tema sono reperibili nel contributo presentato nella edizione 2016 del dBA [19].

Da quanto esposto si evince come i limiti per la popolazione assumano rilevanza anche nei confronti dei lavoratori e sia necessario verificarne il rispetto per prevenire l'accesso accidentale ad aree di potenziale rischio per i soggetti con controindicazioni specifiche.

Da esperienze dirette risulta, come già evidenziato, che questo approccio non è ancora stato del tutto assimilato e non è infrequente riscontrare rapporti di valutazione che si limitano alla verifica del rispetto dei VA/VLE stabiliti dal D.lgs. 81/08 trascurando di identificare la distanza dalla sorgente alla quale sono rispettati i limiti per la popolazione.

6 RIFERIMENTI UTILI AI FINI DELL'IMPLEMENTAZIONE DEL D.LGS. 159/2016

Nei precedenti paragrafi sono state illustrate alcune difficoltà nell'applicazione del nuovo Capo IV per affrontare le quali si sta operando a livello istituzionale e di ricerca nella elaborazione di riferimenti tecnico/operativi.

La novità più rilevante in questo ambito è il previsto aggiornamento del documento del Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome in collaborazione con l'INAIL e l'ISS "*Indicazioni operative sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro*".

Il documento, alla cui revisione partecipano anche Enti nazionali di ricerca, rielabora e aggiorna alla luce delle disposizioni del nuovo Capo IV i quesiti sia di carattere generale che tecnico precedentemente formulati (http://www.portaleagentifisici.it/DOCUMENTI/FAQ_AFisici_web.pdf?lg=IT).

Sono affrontati infatti gli aspetti pertinenti gli effetti sulla salute che si vogliono prevenire (diretti e indiretti), la valutazione e gestione del rischio anche in riferimento ai soggetti sensibili, la sorveglianza sanitaria, la strumentazione e le metodiche operative per la misura dei CEM. Non mancano anche indicazioni sui requisiti da considerare in fase di acquisto di nuovi macchinari e attrezzature e sulle informazioni utili alla valutazione del rischio che i fabbricanti sono obbligati a fornire.

Il documento chiarisce anche la distinzione tra esposizioni di carattere professionale e non, argomento più volte dibattuto.

Nell'insieme l'intento è quello di fornire indicazioni utili anche ad operatori che hanno limitata esperienza sulla tematica.

Nella stessa direzione l'INAIL ha affidato due progetti di ricerca in collaborazione (BRIC) nell'ambito del Piano di Attività del Dipartimento DiMEILA. Il BRIC di cui è capofila il CNR- IFAC è mirato a sviluppare e raccogliere in una piattaforma web (chiamata "WebNir") una serie di strumenti operativi fruibili online a supporto della valutazione del rischio, anche in riferimento ai portatori di DMIA, di utilizzo chiaro e immediato, relativamente a differenti situazioni espositive. Dettagli più approfonditi sono reperibili nella relazione dedicata [20].

L'obiettivo generale dell'altro progetto, di cui è capofila l'ISS, è l'elaborazione di indicazioni operative specifiche a supporto del datore di lavoro e del medico competente nella gestione delle condizioni di sovraesposizione previste dal Capo IV.

A tale scopo saranno approfondite le conoscenze sugli effetti che possono essere indotti da superamenti dei VLE per gli effetti sensoriali e sanitari, e saranno indagate possibili conseguenze per la salute e la sicurezza del lavoratore (anche in relazione alla ripetuta comparsa di sintomi transitori) e condizioni individuali che potrebbero indurre una maggiore suscettibilità.

Si ricorda infine che da luglio 2017 è presente sul PAF una sessione FAQ i cui contenuti sono stati illustrati nella edizione 2017 del convegno dBA (http://www.portaleagentifisici.it/faq_explorer.php). Tale sessione è in continuo aggiornamento anche in riferimento agli esiti dei progetti sopra descritti. In particolare tale sessione ospiterà anche il summenzionato documento "*Indicazioni operative sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro*".

Le attività illustrate sono in linea con quanto stabilito all'articolo 28 comma 3-ter del D.lgs. 81/2008 "*l'INAIL, anche in collaborazione con le aziende sanitarie locali per il tramite del Coordinamento Tecnico delle Regioni e i soggetti di cui all'articolo 2, comma 1, lettera e), rende disponibili al datore di lavoro strumenti tecnici e specialistici per la riduzione dei livelli di rischio*".

7 CONCLUSIONI

La relazione illustra le criticità introdotte dal nuovo Capo IV del Titolo VIII e le difficoltà interpretative più frequentemente manifestate nella sua implementazione. In particolare sono stati descritti i regimi di flessibilità e deroga sottolineando che entrambi gli approcci non dovranno determinare una diminuzione del livello di protezione dei lavoratori, mantenendosi inalterati tutti gli obblighi a carico del datore di lavoro previsti dalla normativa. Per il regime di deroga è stato evidenziato come a tutt'oggi tale opzione risulti una mera possibilità astratta e quindi al momento di fatto non attuabile, non essendo stato ancora pubblicato il decreto previsto per la richiesta di autorizzazione ai Ministeri competenti. A fronte delle difficoltà sono stati però anche illustrati i riferimenti operativi, già disponibili o in corso di sviluppo, su cui si sta lavorando a livello nazionale per supportare concretamente i datori di lavoro.

CREDITI

Il presente lavoro si è avvalso del supporto finanziario fornito dall'INAIL nell'ambito del progetto a Bando Bric-2016, Programma 6, Tematica 40.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Decreto Legislativo 1° agosto 2016, n.159. Attuazione della 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) e che abroga la direttiva 2004/40/CE. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana Serie generale - n.192, agosto 2016.
- [2] Direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 26 giugno 2013 sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della Direttiva 89/391/CEE) e che abroga la Direttiva 2004/40/CE. G.U. UE L179: 1-21.
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields. Health Physics, Vol. 96(4), pp. 504-514, 2009.
- [4] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Physics Vol. 99(6), pp. 818-836, 2010.
- [5] CEI EN 60601-2-33 - "Apparecchi elettromedicali - Parte 2: Prescrizioni particolari relative alla sicurezza fondamentale e alle prestazioni essenziali di apparecchi a risonanza magnetica per diagnostica medica", 2011.

- [6] Direttiva 93/42/CEE del Consiglio, del 14 giugno 1993 concernente dispositivi medici. G. U. UE L 169 del 12/07/1993.
- [7] D.Andreuccetti, G.M.Contessa, R.Falsaperla, R.Lodato, R.Pinto, N.Zoppetti and P.Rossi: "Weighted-peak assessment of occupational exposure due to MRI gradient fields and movements in a nonhomogeneous static magnetic field". *Medical Physics* (ISSN 0094-2405), Vol.40, N.1, January 2013, 011910 (10 pages); <http://dx.doi.org/10.1118/1.4771933>;
- [8] R.Pinto, N.Zoppetti, C.Merla, R.Lodato, R.Falsaperla, V.Lopresto, G.M.Contessa and D.Andreuccetti: "The weighted-peak method in time and frequency domain: an operative application to the analysis on MRI gradient signals". Abstract collection of the Joint Meeting of the Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association (BioEM2013), Thessaloniki (Greece), 10-14 June 2013, pp.539-541, ISBN 978-16-2748-901-0 (extended abstract).
- [9] R.Falsaperla, D.Andreuccetti, G.M.Contessa, R.Lodato, V.Lopresto, C.Merla, R.Pinto, P.Rossi and N.Zoppetti: "Occupational exposure to electromagnetic fields in MRI facilities: a case study in Italy". Abstract collection of the 31st International Congress on Occupational Health, Seoul COEX Convention Center (Korea), 31 May - 5 June 2015.
- [10] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to electric fields induced by movement of the human body in a static magnetic field and by time-varying magnetic fields below 1 Hz. *Health Physics*, Vol. 106 (3), pp. 418-424, 2014.
- [11] EN 50499 - "Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici", 2008.
- [12] Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici. Reperibile all'indirizzo: http://www.portaleagentifisici.it/fo_campi_elettromagnetici_documentazione.php?lg=IT
- [13] EN50527-1:2010. Procedure for the assessment of the exposure to electromagnetic fields of workers bearing active implantable medical devices. Part 1: General.
- [14] EN50527-2-1:2011. Procedure for the assessment of the exposure to electromagnetic fields of workers bearing active implantable medical devices Part 2-1: Specific assessment for workers with cardiac pacemakers.
- [15] EN45502-1:2015. Implants for surgery - Active implantable medical devices - Part 1: General requirements for safety, marking and for information to be provided by the manufacturer

The logo for dBA2018 features a stylized 'd' with horizontal lines above it, followed by a colon and the letters 'A2018' in a bold, sans-serif font.

- [16] EN45502-2-1:2003. Active implantable medical devices Part 2: Particular requirements for active implantable medical devices intended to treat bradyarrhythmia (cardiac pacemakers).
- [17] EN45502-2-2:2008. Active implantable medical devices. Particular requirements for active implantable medical devices intended to treat tachyarrhythmia (includes implantable defibrillators).
- [18] EN 45502-2-3:2010. Active implantable medical devices - Part 2-3: Particular requirements for cochlear and auditory brainstem implant systems.
- [19] Rosaria Falsaperla, Eugenio Mattei: “Valutazione del rischio per i portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (DMIA). Atti del Convegno Nazionale dBA Incontri 2016 “Campi Elettromagnetici nei luoghi di lavoro. Legislazione, Valutazione, Tutela”, Bologna, 21 ottobre 2016.
- [20] Daniele Andreuccetti, Moreno Comelli, Simona D’Agostino, Rosaria Falsaperla, Nicola Zopetti: “Sviluppo ed utilizzo di uno strumento web per l’elaborazione delle misure di esposizione al campo magnetico di bassa frequenza e la determinazione dell’indice di picco ponderato”. Atti del Convegno Nazionale dBA 2018 “I rischi fisici nei luoghi di lavoro”, Bologna, 17 ottobre 2018.

The logo features a stylized lowercase 'd' with horizontal lines above it, followed by a hyphen and an uppercase 'A', and the year '2018' to the right.

I rischi fisici nei luoghi di lavoro

SVILUPPO ED UTILIZZO DI UNO STRUMENTO WEB PER L'ELABORAZIONE DELLE MISURE DI ESPOSIZIONE AL CAMPO MAGNETICO DI BASSA FREQUENZA E LA DETERMINAZIONE DELL'INDICE DI PICCO PONDERATO

Daniele Andreuccetti (1), Moreno Comelli (1), Simona D'Agostino (2), Rosaria Falsaperla (2), Nicola Zoppetti (1)

(1) IFAC-CNR, via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

(2) INAIL-DiMEILA, via Fontana Candida 1, 00078 Monte Porzio C. (RM)

1 – INTRODUZIONE

Nel giugno 2017 - nell'ambito di una ricerca in collaborazione affidata da INAIL all'IFAC - ha preso l'avvio un progetto mirato a sviluppare e raccogliere in una piattaforma web (chiamata "WebNir") una serie di strumenti operativi, pensati per dare supporto agli operatori della prevenzione pubblici e privati, nell'attività di valutazione e riduzione del rischio da esposizione ai campi elettromagnetici (CEM) e alle radiazioni ottiche artificiali (ROA). Sulla piattaforma (posta all'indirizzo <http://webnir.ifac.cnr.it>) sono stati inseriti numerosi contenuti pertinenti la normativa protezionistica e le sorgenti CEM e sono stati resi disponibili, pur se in forma di prototipo e quindi suscettibili di perfezionamenti, alcuni applicativi web. Uno di questi consente di elaborare le misure di induzione magnetica relative all'esposizione ai campi di gradiente in risonanza magnetica.

In questo lavoro viene mostrato un esempio di utilizzo di quest'ultima applicazione, in relazione ai dati acquisiti nel corso di una campagna di misure eseguita congiuntamente dall'IFAC e dall'INAIL con la collaborazione di un'unità operativa ENEA e del personale della struttura ospitante.

2 – MISURA DEI CAMPI DI GRADIENTE IN RISONANZA MAGNETICA

L'IFAC e l'INAIL hanno una lunga esperienza in tema di valutazione dell'esposizione occupazionale ai campi elettromagnetici negli impianti di diagnostica per immagini a risonanza magnetica (MRI), maturata a partire dal 2008 in una serie di progetti di ricerca in comune. Nell'ambito di questi progetti, sono state svolte numerose campagne di misura finalizzate alla valutazione dell'esposizione degli operatori sanitari, con la collaborazione di una unità operativa ENEA e il supporto dei fisici sanitari e dei tecnici di radiologia delle strutture ospedaliere coinvolte, in cui erano in funzione tomografi da 1.5 T, 3 T e 7 T.

Nel caso dei campi magnetici di gradiente, sono state prese in considerazione sessioni di esame con le "sequenze" di uso più comune di volta in volta indicate dagli operatori. Il campo è stato rilevato in punti di particolare interesse all'interno della sala-magnete, utilizzando una catena di misura sviluppata *ad hoc* (Figura 1), comprendente una sonda Narda ELT-400, un acquisitore-digitalizzatore Agilent U2531A e un personal computer con un programma di gestione dedicato, sviluppato presso l'ENEA e realizzato in ambiente LabVIEW.

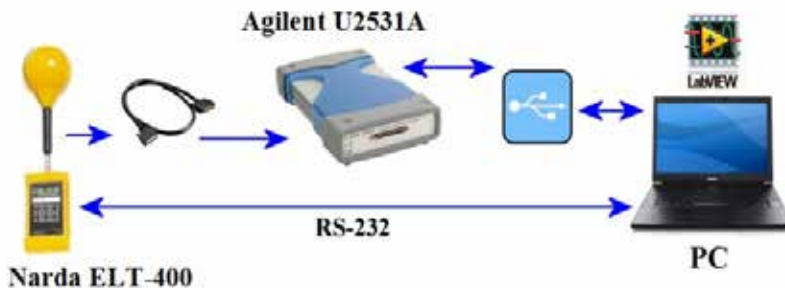


Figura 1 – Catena strumentale per la misura dei campi di gradiente in MRI.

La catena strumentale, la procedura operativa e alcuni dei risultati delle campagne di misura sono stati oggetto di precedenti pubblicazioni [1,2,3,4]. In questo lavoro i dati di campo magnetico di gradiente acquisiti durante una campagna di misura su un tomografo da 7 T sono stati elaborati allo scopo di validare uno specifico strumento web sviluppato presso l'IFAC e pubblicato sulla piattaforma WebNir, verificandone al contempo la praticità d'uso dell'interfaccia utente e l'accettabilità dei tempi di caricamento dei dati e di calcolo dei parametri radioprotezionistici.

3 – PIATTAFORMA WEBNIR

La piattaforma WebNir è articolata in tre sezioni, di cui una (“Sezione pubblica”) è ad accesso libero, mentre l’accesso alle altre (dedicate alla gestione del progetto e allo sviluppo delle applicazioni) è controllato tramite credenziali. La sezione pubblica si articola a sua volta in tre aree tematiche, rispettivamente dedicate ai campi elettromagnetici (CEM), alle radiazioni ottiche artificiali (ROA) e alle problematiche dei dispositivi medici impiantabili attivi (DMIA).

L’area CEM dà accesso agli strumenti web per la valutazione dell’esposizione, che possono essere selezionati sia ricercandoli per tipologia di strumento, sia passando attraverso un elenco strutturato di sorgenti occupazionali di campi elettromagnetici, per ciascuna delle quali sono indicati gli strumenti applicabili.

Sono attualmente disponibili, sotto forma di prototipi perfettibili ma completamente operativi, gli strumenti web che consentono di:

- disporre di procedure di intervento standardizzate per alcune classi di sorgenti occupazionali di CEM;
- analizzare le normative del settore, visualizzare l’andamento dei relativi valori limite in funzione della frequenza e calcolarne il valore esatto ad una frequenza specificata;
- riportare in grafico e confrontare tra loro gli andamenti in funzione della frequenza di due o più limiti normativi, relativi a grandezze omogenee;
- determinare la distanza di rispetto da una sorgente CEM tramite interpolazione dei dati misurati lungo una linea retta, a distanze progressivamente crescenti;
- elaborare una sequenza di misure di campo magnetico percepito nel caso di movimento di un soggetto in un campo magnetostatico e determinare i pertinenti indici radioprotezionistici;
- analizzare nel dominio del tempo una forma d’onda a frequenza bassa o intermedia opportunamente campionata e calcolare gli indici di picco ponderato relativi alle normative applicabili.

Tutti questi strumenti dispongono di un’interfaccia utente realizzata per mezzo di una pagina web, mentre il carico computazionale è suddiviso tra il computer utilizzato dall’utente e la piattaforma server che distribuisce le applicazioni.

4 – APPLICATIVO PER IL CALCOLO DELL’INDICE DI PICCO PONDERATO

In questo lavoro, lo strumento della piattaforma WebNir che implementa il metodo del picco ponderato nel dominio del tempo è stato applicato alle misure di campo magnetico di gradiente in MRI.

Com'è noto, il metodo del picco ponderato è adatto alla elaborazione delle forme d'onda complesse, ovvero il cui spettro contiene contributi a varie frequenze, come avviene appunto per i campi di gradiente. Esso consiste nel calcolare un indice di esposizione (che nel seguito indicheremo con la sigla I_{WP} dall'inglese *weighted peak*) attraverso una elaborazione che tiene conto sia delle ampiezze dei contributi spettrali presenti nel segnale considerato (rapportate ai valori di riferimento normativi alle frequenze corrispondenti), sia delle rispettive fasi. Un valore di questo indice inferiore a 1 – o 100% su base percentuale – indica conformità con la normativa presa a riferimento.

L'applicazione attualmente disponibile si adatta solo allo specifico formato di file-dati prodotto dalla catena hardware e software descritta al par. 2; tuttavia, ne è in corso di sviluppo una versione più avanzata, nella quale il formato accettato viene il più possibile generalizzato.

L'applicazione consente di selezionare dal computer dell'utente i file-dati costituenti la misura (Figura 28), eventualmente disporli nella giusta sequenza mediante un semplice trascinamento tramite mouse, e inviarli al server per l'elaborazione. L'utente deve anche specificare il tipo di sensore collegato alla sonda ELT-400 (da 3 o da 100 cm²), l'impostazione di quest'ultima e la frequenza di campionamento utilizzata.

L'interfaccia utente dispone di una barra dinamica di avanzamento del caricamento dei dati sul server, utile per visualizzare lo stato dell'operazione in caso di *upload* di file di dimensioni considerevoli.

La procedura software lato server riceve i file di dati e li unisce in un'unica sequenza ordinata di campioni vettoriali, che vengono successivamente analizzati nel dominio del tempo – sulla base dei parametri operativi specificati – per calcolare l'ampiezza efficace e di picco del campo magnetico e determinare gli indici di picco ponderato relativi alle normative seguenti.

- Raccomandazione Europea 1999/519/CE [5] (limiti corrispondenti alle Linee Guida ICNIRP-1998 per la popolazione [6]).
- Direttiva Europea 2004/40/CE [7] (limiti corrispondenti alle Linee Guida ICNIRP-1998 per i lavoratori [6]).
- Valori di Azione inferiori introdotti dal D.Lgs. 159/2016 nel range 1 Hz-10 MHz [8] (corrispondenti ai livelli di riferimento delle Linee Guida ICNIRP-2010 per i lavoratori [9]).
- Valori di Azione superiori introdotti dal D.Lgs. 159/2016 nel range 1 Hz-10 MHz [8].

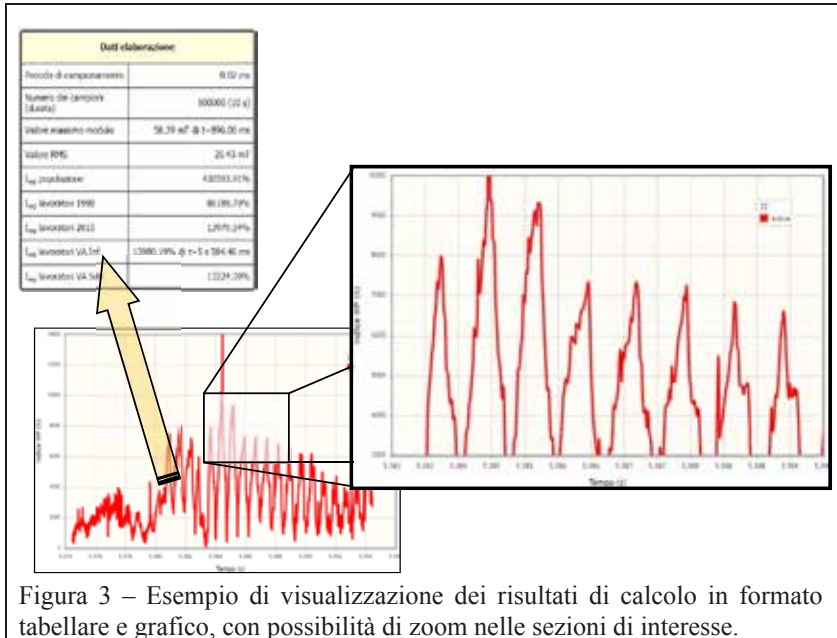
L'applicazione produce anche un grafico, in cui viene rappresentato l'andamento in funzione del tempo dell'indice riferito ai succitati valori di azione inferiori, in un intorno dell'istante in cui tale indice raggiunge il suo valore massimo. Un esempio dei risultati forniti è mostrato in Figura 29.

d-A2018

The screenshot displays the configuration interface for the Narda ELT-400 instrument. It is divided into several sections:

- Narda ELT-400 con sonda da 100 cm²**: Contains four radio button options for measurement modes: Mode FS 320 μ T Range Low, Mode FS 320 μ T Range High, Mode FS 80 mT Range Low, and Mode FS 80 mT Range High.
- Narda ELT-400 con sonda da 3 cm²**: Contains four radio button options, with "Mode FS 80 mT Range High" selected.
- Frequenza di campionamento**: A control with a text input field containing "50" and a dropdown menu set to "kHz".
- File dati**: A file manager area showing a list of ten .txt files named "PuntoA_X0Y0Z1_1.txt" through "10.txt". Below the list, it states "Dimensione totale dei file caricati: 33 MB".
- Buttons**: Three buttons at the bottom: "Elabora" (with a calculator icon), "Reset" (with a refresh icon), and "Salva PNG" (with a save icon).
- Progress Bar**: A blue progress bar at the bottom of the interface.
- Status**: Text at the very bottom reads "Caricati 26.54 MB su 34.74 MB in 2.32 s (76% completato)".

Figura 2 – Interfaccia per la selezione delle impostazioni della catena strumentale e caricamento dei file di dati.



5 – IL GATEWAY VERSO PYTHON

Le applicazioni implementate sulla piattaforma WebNir necessitano di eseguire elaborazioni matematiche complesse. Per questo motivo, si è adottato Python come linguaggio di programmazione lato server, in modo da sfruttarne i vantaggi in termini di rapidità di sviluppo del codice, efficienza computazionale e disponibilità di estensioni progettate per l'utilizzo in ambito scientifico (si pensi ad esempio ai moduli NumPy e SciPy).

Per garantire l'interoperabilità tra ambiente web ed interprete Python si è fatto ricorso all'interfaccia standard WSGI (Web Server Gateway Interface).

È stato inoltre messo a punto un protocollo standardizzato (denominato Gateway to Python, GW2Py) per lo scambio dei dati nelle due direzioni tra pagine web e procedure Python, pensato con lo scopo di garantire uniformità di approccio, portabilità, e flessibilità nella suddivisione del lavoro tra più sviluppatori e nella ripartizione del carico computazionale tra computer utente e piattaforma server.

Il protocollo GW2Py rende disponibili a una procedura Python i dati inseriti in una pagina HTML e trasmessi sulla rete con protocollo HTTP. La pagina HTML può eventualmente essere realizzata con procedure PHP ed essere supportata da un database e da funzioni Javascript.

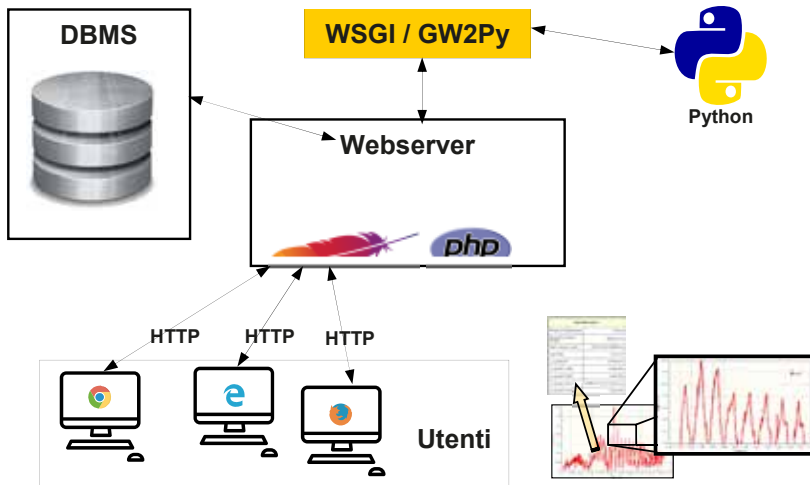


Figura 4 – Schema della struttura software della piattaforma WebNir e relazioni tra i vari moduli coinvolti.

Questo approccio consente sia di inviare al server dati di qualunque tipo inseriti in un classico “form” HTML (come valori alfanumerici scalari o vettoriali, oppure uno o più file di dati in modalità *upload*), sia di utilizzare procedure Javascript per costruire dinamicamente il set di dati da inviare, in base alle operazioni dell’utente e senza avvalersi della tradizionale struttura del “form”. I dati vengono inviati ad una specifica “funzione operativa” all’interno di un modulo Python, che si occuperà dell’elaborazione e della restituzione dei risultati.

L’interfaccia di ritorno (da Python ad HTML/Javascript) provvede ad elaborare i dati forniti dalla “funzione operativa” e produrre i risultati da mostrare all’utente. Piuttosto che generare direttamente sul server il codice HTML comprensivo delle immagini, si è preferito adottare un approccio secondo il quale i dati sono restituiti dal server sempre come stringa alfanumerica JSON (JavaScript Object Notation, un semplice formato per lo scambio di dati). Nel computer dell’utente, questa stringa viene controllata, decodificata e infine utilizzata per preparare e mostrare all’operatore i risultati dell’elaborazione eseguita. Da essa si ricavano infatti tutti gli oggetti che popolano la pagina web mostrata all’utente: i valori numerici relativi ai risultati del calcolo (sotto forma di dati singoli o tabelle) e i grafici vettoriali con cui l’utente può eventualmente interagire.

In Figura 30 viene illustrata schematicamente la struttura software della piattaforma WebNir, con le relazioni tra i moduli impiegati.

6 – IL SISTEMA DI GENERAZIONE DEI GRAFICI

Una delle necessità che si sono presentate nel corso del progetto è stata la produzione di grafici con cui documentare i risultati delle elaborazioni scientifiche prodotte dalle applicazioni realizzate.

Dopo aver analizzato varie alternative (generazione lato server o sul computer dell'utente, formato vettoriale o bitmap, quantità di opzioni rese disponibili dalla libreria utilizzata), la scelta è caduta su jqPlot, un *plugin* Javascript basato sul *framework* jQuery (ampiamente utilizzato per la realizzazione di tutte le interfacce della piattaforma WebNir). Si tratta di una libreria *open source*, che fornisce un'ampia categoria di opzioni e supporta una vasta gamma di tipologie di grafico, delegandone interamente la generazione al computer utente. Questo aspetto è particolarmente importante se associato ad ulteriori considerazioni: i grafici prodotti sono di tipo vettoriale e l'utente ha la possibilità di interagire con essi (ad esempio disabilitando alcune delle serie visualizzate, spostando la legenda, interrogando il grafico tramite uno spostamento del cursore del mouse sugli oggetti in esso presenti, effettuando uno zoom) senza dover attendere una risposta da parte del server, in quanto tutti i dati sono già disponibili localmente.

Inoltre, trattandosi di una libreria Javascript, è stato possibile definire un approccio standardizzato tramite il quale, fornendo un oggetto Javascript ad una funzione appositamente creata, questa genera automaticamente una serie di grafici nella pagina web di destinazione. In questo modo, tutti i programmi che eseguono le elaborazioni e vogliono produrre un grafico, devono solo preparare ed inviare l'opportuno argomento alla funzione suddetta.



Figura 5 – Utilità di esportazione dei grafici in formato PNG, per diversi grafici presenti nella stessa pagina.

Un'ulteriore utilità sviluppata in quest'ambito è quella che permette di automatizzare l'esportazione in formato PNG di tutti i grafici presenti in una pagina. In Figura 31 viene mostrata la finestra di esportazione che si apre quando l'utente lancia l'esecuzione della procedura di esportazione. Oltre alle immagini, si noti la generazione automatizzata di grafici di tipo diverso.

7 – RISULTATI

L'applicazione per il calcolo dell'indice I_{WP} descritta al par. 4 è stata utilizzata per l'elaborazione dei dati di campo magnetico di gradiente acquisiti nel corso di una campagna di misure effettuata presso la Fondazione Imago 7 di Calambrone (Pisa), dove è presente un tomografo a corpo intero da 7 T General Electric Discovery MR950.

Le misure sono state effettuate in varie posizioni all'interno della sala magnetica, sia nei punti dove è effettivamente possibile che un operatore sanitario stazioni durante alcune procedure mediche, sia in punti rappresentativi di livelli di esposizione elevati al di fuori del *bore*.

Tali posizioni sono identificate come segue.

d-A2018

- Punto A - a destra del lettino paziente guardando verso il tomografo: 50 cm di distanza dal piano frontale del tomografo, 70 cm dall'asse mediano del lettino, due altezze dal pavimento, 120 e 170 cm.
- Punto B - a sinistra del lettino paziente guardando verso il tomografo: stesse coordinate del punto A.
- Punto C - sopra il lettino paziente: 50 cm dal piano frontale del tomografo, altezza 110 cm dal pavimento.

Per le misure è stata impiegata la sonda ELT-400 con sensore da 100 cm², con i seguenti parametri operativi: modalità FS 320 μ T – Range Low (per il punto A) e High (per il punto C), frequenza di taglio di 30 Hz. La frequenza di campionamento adottata è stata di 50000 campioni al secondo, acquisendo segmenti temporali di 10 ÷ 20 s, con differenti configurazioni per il tomografo (“sequenze”), quali a titolo di esempio EPI01 (*EPI Assiale Gradient 128x128, 48 fette, asse T2, TR 3000ms*); DWI02 (*Diffusion Weighted Imaging Assiale 128x128, 64 fette, TR 8100 ms, B 1000, asse T2*).

I risultati delle elaborazioni hanno mostrato indici di picco ponderato molto bassi in tutte le prove realizzate, anche considerando gli scenari espositivi peggiori (*worst case*) in corrispondenza di sequenze estremamente veloci. Tutte le misure effettuate nel punto A (68 acquisizioni) hanno presentato valori dell'indice inferiori all'1%. Valori più elevati, ma comunque inferiori al 20%, sono stati calcolati nella posizione di misura C (13 acquisizioni). I bassi valori degli indici dipendono verosimilmente dalla tecnologia impiegata nei tomografi da 7 T, caratterizzati da un *bore* molto lungo, che comporta un sostanziale confinamento dei campi magnetici di gradiente al suo interno.

L'esposizione in dettaglio di tutti i risultati della campagna esula dagli scopi del presente lavoro, indirizzato alla verifica delle potenzialità dell'applicazione sviluppata.

La prima considerazione che si trae dal suo utilizzo riguarda i tempi di calcolo, che permettono di elaborare rapidamente una consistente quantità di dati. Anche la restituzione dei risultati è molto efficace, essendo strutturata in grafici e tabelle riepilogative delle elaborazioni. Nella Figura 6 è presentato un esempio dell'andamento nel tempo dell'indice di picco ponderato I_{WP} relativo ad una misura effettuata nel Punto A utilizzando come limiti i VA inferiori introdotti dal D.Lgs.159/2016.

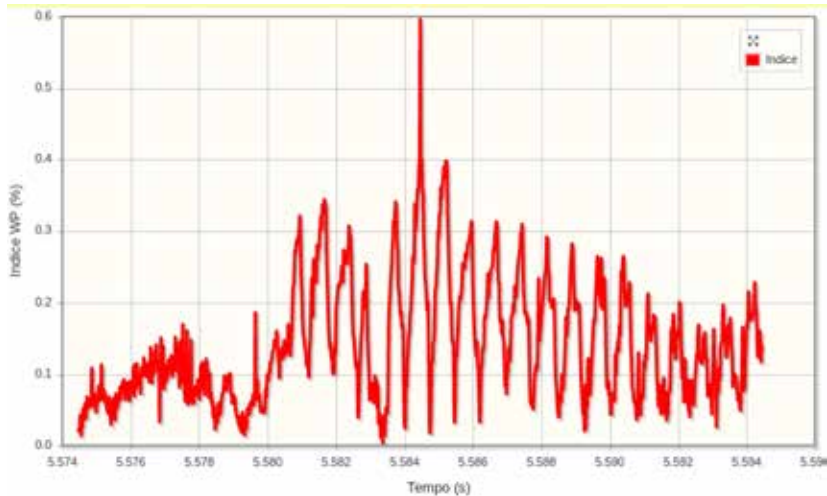


Figura 6 – Andamento nel tempo dell'indice di picco ponderato.

<i>Periodo di campionamento</i>	<i>0.02 ms</i>
<i>Numero dei campioni (durata)</i>	<i>500000 (10 s)</i>
<i>Valore massimo modulo</i>	<i>2.491 μT @ $t=0.9 s$</i>
<i>Valore RMS</i>	<i>0.9 μT</i>
<i>I_{WP} popolazione</i>	<i>18.37 %</i>
<i>I_{WP} lavoratori 1998</i>	<i>3.68 %</i>
<i>I_{WP} lavoratori 2010</i>	<i>0.60 %</i>
<i>I_{WP} lavoratori VA Inferiori</i>	<i>0.60% @ $t=5.584 s$</i>
<i>I_{WP} lavoratori VA Superiori</i>	<i>0.56%</i>

Tabella 4 – Riepilogo dei risultati

Il picco massimo rappresenta il valore di I_{WP} cercato, espresso in percentuale. Dal grafico si distingue in maniera ottimale sia il valore assunto dall'indice che l'istante in cui esso viene raggiunto.

Informazioni più approfondite, come già detto, sono fornite sotto forma di tabelle, di cui si riporta un esempio in Tabella 4.

Nell'insieme, da tutte le elaborazioni effettuate, sono emerse la semplicità di uso, l'efficienza e la versatilità dell'applicazione.

8 – CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

L'applicazione utilizzata, sebbene funzionante e già disponibile per l'uso, è comunque suscettibile di ulteriori sviluppi e perfezionamenti.



d=A2018

In particolare si sta progressivamente trasformando in uno strumento più generale, utilizzabile in modo interattivo per la determinazione dell'indice di picco ponderato nel dominio del tempo e nel dominio della frequenza, per un'ampia categoria di sorgenti di induzione magnetica (come ad esempio le saldatrici a punti e ad arco, e gli stimolatori magnetici transcranici); l'applicazione sarà in grado di adattarsi alla più ampia tipologia possibile di strumenti di misura e di forme d'onda campionate.

L'intenzione è fornire uno strumento operativo semplice che renda possibile, anche in mancanza di conoscenze specialistiche, eseguire valutazioni affidabili dell'esposizione con accuratezza sufficiente dando priorità alle sorgenti di esposizione più diffuse e di interesse protezionistico.

9 – CREDITI

Il presente lavoro si è avvalso del supporto finanziario fornito dall'INAIL nell'ambito del progetto a Bando Bric-2016, Programma 4, Tematica 30.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R.Lodato, S.Mancini, G.M.Contessa, V.Brugaletta, D.Andreuccetti, N.Zoppetti and P.Rossi: "Setup for gradients field measurement in MRI". Abstract collection of the X International Congress of the European Bioelectromagnetics Association (EBEA2011), Rome (Italy), 21-24 February 2011, and ISBN 978-88-8286-231-2 (extended abstract n.5154).
- [2] D.Andreuccetti, G.M.Contessa, R.Falsaperla, R.Lodato, R.Pinto, N.Zoppetti and P.Rossi: "Weighted-peak assessment of occupational exposure due to MRI gradient fields and movements in a nonhomogeneous static magnetic field". *Medical Physics* (ISSN 0094-2405), Vol.40, N.1, January 2013, 011910 (10 pages); <http://dx.doi.org/10.1118/1.4771933>;
- [3] R.Pinto, N.Zoppetti, C.Merla, R.Lodato, R.Falsaperla, V.Lopresto, G.M.Contessa and D.Andreuccetti: "The weighted-peak method in time and frequency domain: an operative application to the analysis on MRI gradient signals". Abstract collection of the Joint Meeting of the Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association (BioEM2013), Thessaloniki (Greece), 10-14 June 2013, pp.539-541, ISBN 978-16-2748-901-0 (extended abstract).
- [4] R.Falsaperla, D.Andreuccetti, G.M.Contessa, R.Lodato, V.Lopresto, C.Merla, R.Pinto, P.Rossi and N.Zoppetti: "Occupational exposure to electromagnetic fields in MRI facilities: a case study in Italy". Abstract collection of the 31st International Congress on Occupational Health, Seoul COEX Convention Center (Korea), 31 May - 5 June 2015.
- [5] Raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio europeo del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz. *Gazzetta ufficiale delle Comunità europee* L 199/59-70, 30.7.1999.
- [6] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics*, Vol.74, N.4, April 1998, pp.494-522.
- [7] Direttiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004 sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici). *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* L 184/1-9, 24.5.2004.
- [8] Decreto Legislativo 1° agosto 2016, n.159. Attuazione della 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) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.

**d=A2018**

Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana Serie generale - n.192, agosto 2016.

- [9] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Physics, Vol.99, N.6, December 2010, pp.818-836.



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DI UNA SCHERMATURA ELETTROMAGNETICA PER LA RIDUZIONE DELL'ESPOSIZIONE AI CEM EMESSI DA PUNTATRICI ELETTROMECCANICHE

Andrea Bogi (1), Nicola Stacchini (1), Iole Pinto (1), Rosaria Falsaperla (2), Giancarlo Burriesci (2), Francesco Picciolo (3), Marco Alveli (4), Sauro Paperini (4)

- (1) Azienda USL Toscana Sud Est -Laboratorio di Sanità Pubblica Siena
- (2) INAIL DiMEILA Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale
- (3) Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente Università degli Studi di Siena
- (4) G- Iron srl

INTRODUZIONE

La saldatura a punti è un metodo di saldatura a resistenza utilizzato per unire lastre metalliche sovrapposte o saldare bulloni. Le saldatrici a punti sono composte da due piccoli elettrodi cilindrici che serrano le componenti e applicano una corrente elevata per effettuare la saldatura. Da dati disponibili in letteratura [1,2] o pubblicati nella banca dati CEM del Portale Agenti Fisici [3] emerge che tale processo è in grado di esporre i lavoratori a valori di campo magnetico superiori ai Valori di Azione (VA) prescritti dalla vigente normativa (D.Lgs. 81/08 Titolo VIII Capo IV e s.m.i.).

Nell'ambito del presente studio vengono presentati i risultati preliminari dell'efficacia di un prototipo di schermatura elettromagnetica specificamente realizzata per saldatrici a punti [4] per la riduzione dell'esposizione dei lavoratori ai campi magnetici emessi. Nel lavoro si presentano i risultati ottenuti su due saldatrici da banco.

METODICHE DI MISURA

Le emissioni di campo magnetico a radiofrequenza sono state misurate nell'intervallo di frequenza da 5Hz a 400 kHz ed i risultati (tabelle 2,3) sono espressi in termini di valore di un indice di esposizione (IWP) calcolato rispetto al VA inferiore stabilito dal D.Lgs. 81/08 e rispetto ai livelli di riferimento per la popolazione generale indicati dalla Raccomandazione 1999/519/CE [9]. L'indice di esposizione (IWP) è stato valutato applicando il metodo del picco ponderato (Weighted Peak) che costituisce la metrica di valutazione appropriata per i segnali complessi di campo elettrico e magnetico quali quelli di interesse nel caso in esame [7,8]. I punti di misura sono stati individuati sia ai fini di caratterizzare l'esposizione degli operatori esposti (zone in prossimità della sorgente) sia per individuare la distanza di rispetto per la popolazione generale, ovvero la distanza dalla sorgente che garantisce il rispetto dei valori di riferimento per la popolazione generale [9]. La valutazione di tale-distanza si rende necessaria per definire una zona ad accesso regolamentato - da delimitare con opportuna segnaletica - al fine di impedire che lavoratori con possibili controindicazioni all'esposizione tutelati, salvo casi particolari, dal rispetto delle prescrizioni per la popolazione generale, accedano accidentalmente all'area. Delimitare la zona ad accesso regolamentato consente inoltre di fornire una appropriata formazione ai lavoratori in relazione ai criteri e modalità di accesso all'area stessa nonché alle modalità di lavoro al suo interno, come prescritto dalla vigente normativa [2].

L'esposizione dei lavoratori addetti ai macchinari è stata valutata in particolare in corrispondenza del corpo dell'operatore: cranio, torace, bacino, arti, come illustrato nello schema di misura figura 2.

In tabella 1 si riportano le principali caratteristiche tecniche dei due apparati valutati

In figura 1 e 2 si mostrano le schermature installate sugli stessi apparati.

STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata per le misure dei campi a radiofrequenza è la seguente:

Rivelatore marca MICRORAD modello NHT310

- con sonda di campo elettrico con range da 5Hz 400 KHz - Marca MICRORAD modello PROBE 11E
- con sonda di campo magnetico con range da 5Hz 400 KHz - Marca MICRORAD modello PROBE 30B

Rivelatore campo elettrico e magnetico arca Narda modello EHP 50 G

Rivelatore campo magnetico marca Narda modello ELT 400

d-A2018

Le metodiche di misura adottate sono conformi a quanto prescritto dalla normativa tecnica di riferimento [5,6].



n.				
	1 - Puntatrice da banco		2 - Puntatrice da banco	
Anno costruzione	1999		1987	
Tensione di Alimentazione:	380 V – 50 Hz		380V - 50 Hz	
Potenza	nominale al duty cycle del 50%	100 kVA	convenzionale al duty cycle del 50%	20 kVA
	massima di saldatura	406 kVA	massima di saldatura	43 kVA
Corrente	massima secondaria di Corto Circuito	60 kA	massima secondaria di Corto Circuito	13,2 kA
Impiego	Saldatura Bulloni 6x15 e dadi M6		Accoppiamento di 2 lastre di lamiera h 2 mm	

Tabella 1 - caratteristiche delle puntatrici oggetto di valutazione



Fig. 1 Puntatrice 1 schermata



Fig. 2 –Puntatrice 2 schermata

RISULTATI

Dalle misurazioni effettuate si evince che i campi magnetici emessi dalle puntatrici sono maggiormente intensi lungo la direzione laterale alle puntatrici stesse. È pertanto indispensabile che gli operatori durante l'utilizzo dei macchinari si posizionino frontalmente ad essi, lungo la direzione in cui i campi dispersi risultano essere di minore entità.

Le schermature oggetto di valutazione sono risultate efficaci per l'abbattimento dei campi dispersi. Le tabelle 2 e 3 mostrano il confronto tra i risultati delle emissioni di campi magnetici ottenuti in assenza ed in presenza delle schermature.

Dalle tabelle si evince che le schermature offrono un abbattimento medio dell'esposizione di circa il 30%.

Si noti che nel caso della puntatrice 2 (tabella 3) l'abbattimento raggiunge circa l'80% nelle posizioni occupate dalla testa e dall'addome dell'operatore; ciò dimostra che l'attenuazione fornita dalle schermature dipende fortemente dalla geometria della puntatrice e delle lastre schermanti.

Puntatrice 1					con schermatura	senza schermatura	Attenuazione
n	Distanza (cm)	Posizione misura	Indice valutazione	Lavorazione	Valore rilevato indice esposizione	Valore rilevato indice esposizione	
1	50	Lateral e avanti	popolazione	fissaggio vite M6	7,6	11,8	36%
2	50	Lateral e dietro	popolazione		6,89	10,5	34%
3	50	Lateral e avanti	lavoratori VA inferiore	fissaggio dato M8	0,35	0,5	30%
4	50	Lateral e dietro	lavoratori VA inferiore		0,33	0,42	21%
5	130	Fronte	popolazione		0,27	0,3	10%
6	70	Testa operatore	popolazione		1,1	1,14	4%
7	50	Addome	lavoratori VA inferiore		0,06	0,08	25%

Tabella 2 - Confronto dei livelli di campo magnetico disperso dalla puntatrice 1 con e senza la schermatura

Puntatrice 2					con schermatura	senza schermatura	Attenuazione
n.	Distanza (cm)	Posizione misura	Indice valutazione	Lavorazione	Valore rilevato indice esposizione	Valore rilevato indice esposizione	
8	50	Lateral e avanti	popolazione	fissaggio vite M6	5,8	9,7	40%
9	50	Lateral e dietro	popolazione		5,7	7,5	24%
10	50	Lateral e avanti	lavoratori VA inferiore	fissaggio dado M8	0,4	0,57	30%
11	50	Lateral e dietro	lavoratori VA inferiore		0,4	0,51	22%
12	50	Addome	popolazione		0,26	1,48	82%
13	70	Testa operatore	popolazione		0,4	1,1	64%

Tabella 3 - Confronto dei livelli di campo magnetico disperso dalla puntatrice 2, con e senza la schermatura

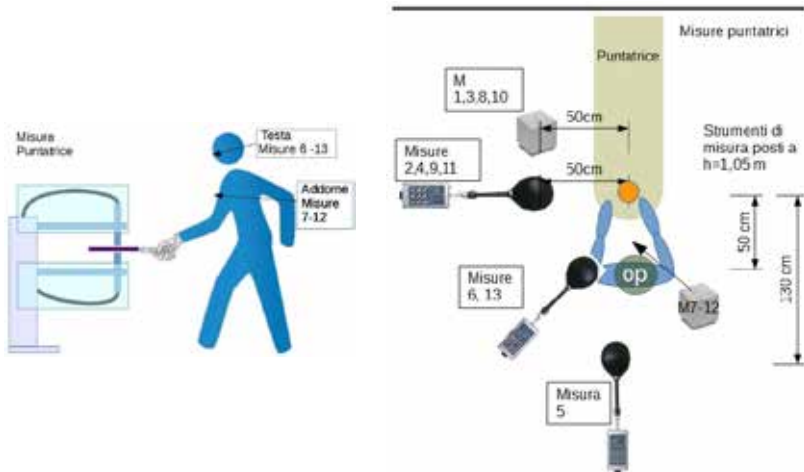


Fig. 3 - schema di misura puntatrici con e senza schermature

CONCLUSIONI

I risultati preliminari dello studio dimostrano che è possibile ridurre considerevolmente l'esposizione occupazionale ai campi magnetici prodotti dalle puntatrici mediante l'installazione di schermature elettromagnetiche progettate e realizzate *ad hoc*, quali quelle in esame.

Dalle misurazioni effettuate emerge che entrambe le puntatrici nella configurazione schermata producono un livello di campo magnetico disperso inferiore ai Valori di Azione inferiori per i lavoratori nella posizione normalmente occupata dagli operatori. I valori di riferimento per la popolazione generale [9] sono rispettati lungo la direzione laterale ad una distanza pari a circa 150 cm dalla puntatrice 1 ed a 130 cm dalla puntatrice 2, mentre lungo la direzione frontale le distanze di rispetto sono pari a 100 cm sia per entrambi gli apparati.

L'attenuazione fornita dalle schermature dipende fortemente dalla geometria della puntatrice e delle lastre schermanti, pertanto è possibile ottimizzare la progettazione di nuovi apparati schermati con l'obiettivo di ridurre al minimo l'esposizione dei lavoratori e l'estensione delle distanze necessarie per il rispetto dei limiti per la popolazione generale [9].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Geoff Melton, Rob Shaw Electromagnetic Fields (EMF) in the welding environment Health and Safety Executive Report RR1018 (2014) disponibile on line dal sito <http://www.hse.gov.uk>
- [2] Commissione Europea – Guida non vincolante di buone prassi per l’attuazione della direttiva 2013/35/UE relative ai campi elettromagnetici.(2014)
- [3] http://www.portaleagentifisici.it/fo_campi_elettromagnetici_list_macchinari_avanzata.php?lg=IT&page=0
- [4] <http://www.g-iron.it>
- [5] CENELEC EN 50444 - Norma di base per la valutazione dell’esposizione umana ai campi elettromagnetici prodotti dalle apparecchiature per la saldatura ad arco e processi affini, prima edizione, maggio 2008.
- [6] CENELEC EN 50445 - Norma per famiglia di prodotti per dimostrare la conformità delle apparecchiature per la saldatura ad arco e processi affini ai limiti di base relativi all’esposizione umana ai campi elettromagnetici (0 Hz- 300 GHz).
- [7] ICNIRP Guidelines: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics, Vol. 74, N 4, April 1998.
- [8] ICNIRP Guidelines: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (1 Hz to 100 KHz), Health Physics, Vol. 99, N 6, December 2010
- [9] Raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio dell’Unione Europea. Raccomandazione del Consiglio del 12 Luglio 1999 relativa alla limitazione dell’esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz.

ERGONOMIA ED ACUSTICA NELLA DIDATTICA MUSICALE

Raffaele Mariconte (1), Claudia Giliberti (1), Fabio Lo Castro (2), Sergio Iarossi (2), Lucia Longo (3), Maria Patrizia Orlando (3)

(1) INAIL-Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici, Roma

(2) CNR-INSEAN Sezione di Acustica e Sensoristica O.M. Corbino, Roma

(3) Dipartimento Organi di Senso – Università Sapienza, Roma

INTRODUZIONE

Un ambiente di lavoro progettato senza seguire i principi dell'ergonomia può influenzare la produttività, la sicurezza, il comfort, la concentrazione, la soddisfazione e il morale dei lavoratori, generando potenziali conseguenze negative sulla salute e sicurezza, riducendo le prestazioni lavorative ed accrescendo il disagio [1], [2]. Fattori ergonomici significativi includono la corretta progettazione e l'età degli edifici, l'organizzazione dei layout, l'allestimento della postazione di lavoro, il design e la qualità delle attrezzature, l'organizzazione dello spazio disponibile, la temperatura, la ventilazione, l'illuminazione, il rumore, le vibrazioni, le radiazioni e la qualità dell'aria.

Nella didattica musicale, i docenti e gli studenti sono potenzialmente a rischio di esposizione al rumore, dato che si esercitano quotidianamente, spesso per molti anni consecutivi, in ambienti rumorosi con livelli di pressione sonora compresi tra 86 dB (A) e 99 dB (A) e con valori massimi dell'ordine di 105 dB (A) [3], [4]. Queste condizioni possono generare un grave impatto sulla salute fisica e sul benessere psicologico del musicista, causando patologie al sistema uditivo e all'apparato vocale, discomfort acustico (che causa irritazione e stress) e persino danni acuti al sistema uditivo [5], [6], [7].

Tipici livelli di rumore e di picco per tipologia di musicista sono riportati nella Tabella 1 [8]. Essi forniscono un'indicazione della varietà di livelli a cui i singoli musicisti sono esposti per specifico strumento. È dimostrato che i musicisti hanno, rispetto alla popolazione generale, un tasso di rischio di 1,45 per la perdita dell'udito, di 3,61 per la perdita dell'udito causata dall'esposizione professionale al rumore (NIHL – Noise Induced Hearing Loss) e di 1,57 per l'acufene [9].

Negli studenti, è stata riscontrata una prevalenza di NIHL almeno in un orecchio nel 33% ÷ 50% dei soggetti esaminati, mentre nell'11,5% di tutti i soggetti esaminati è stato rilevato un NIHL di tipo bilaterale [3].

Il rischio di danno all'udito dipende dal livello sonoro, dal tempo di esposizione e dall'ambiente specifico. Di conseguenza, l'esposizione a livelli sonori elevati per molte ore al giorno comporta un rischio simile all'esposizione a livelli sonori ancora più elevati per un periodo più breve al giorno. Per l'esposizione a lungo termine, al fine di stabilire standard di protezione, sono generalmente considerati periodi di 8 ore al giorno o l'esposizione sonora settimanale (8 ore al giorno per 5 giorni alla settimana).

Nell'UE sono stati introdotti nuovi livelli più restrittivi con la direttiva 2003/10/CE sui requisiti minimi di sicurezza e di salute relativi all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (rumore). La normativa raccomanda tre livelli di protezione sul posto di lavoro, a seconda del livello di rumorosità equivalente per un giorno lavorativo di 8 ore o del livello di pressione sonora di picco ponderato C: 1) meno di 80 dB (A) o 135 dB_{Cpeak}, in cui i datori di lavoro devono mettere a disposizione i dispositivi individuali di protezione dell'udito e al di sotto di questo limite, si presume che il rischio per l'udito sia trascurabile; 2) meno di 85 dB (A) o 137 dB_{Cpeak} in cui la protezione dei lavoratori è obbligatoria; 3) 87 dB (A) o 140 dB_{Cpeak} sono i valori limite di esposizione massimi, che non devono mai essere superati.

In Italia, il Testo unico sulla sicurezza nei luoghi di lavoro, (d. lgs. 81/08) ha recepito la Direttiva Europea e con l'articolo n. 198 obbliga ad effettuare la valutazione dell'esposizione al rumore per gli ambienti di intrattenimento, nel settore della musica e dei call center.



Noise source	dB(A)	Peak dB(C)
Single musicians		
Violin/viola (near left ear)	85-105	116
Violin/viola	80-90*	104
Cello	80-104*	112
Acoustic bass	70-94*	98
Clarinet	68-82*	112
Oboe	74-102*	116
Saxophone	75-110*	113
Flute	92-105*	109
Flute	98-114	118
Piccolo	96-112*	120
Piccolo (near right ear)	102-118*	126
French horn	92-104*	107
Trombone	90-106*	109
Trumpet	88-108*	113
Harp	90	111
Timpani and bass drum	74-94*	106
Percussion (high-hat near left ear)	68-94	125
Percussion	90-105	123-134
Singer	70-85	94
Soprano	105-110	118
Choir	86	No data
Normal piano practice	60-90*	105
Loud piano	70-105*	110
Keyboards (electric)	60-110*	118
Severall musicians		
Chamber music (classical)	70-92*	99
Symphonic music	86-102*	120-137
* measured at 3 m from source		

Tabella 1: livelli rappresentativi di rumore nel settore musicale (tratto dal documento HSE - Sound advice. Control of noise at work in music and entertainment)

Inoltre, nella didattica musicale, la progettazione acustica delle strutture gioca un ruolo importante nella valutazione del rischio; infatti, il cattivo isolamento acustico delle aule, il livello sonoro emesso dagli strumenti musicali o vocali, l'alto livello di rumore di fondo e un tempo di riverbero inadeguato, sono i fattori che possono compromettere per studenti e docenti l'apprendimento e le performances e possono causare patologie al sistema uditivo e all'apparato vocale, oltre al disagio acustico.

Gli standard di progettazione per gli ambienti della didattica musicale generalmente specificano i requisiti minimi accettabili per i parametri acustici; sfortunatamente, questi standard possono differire a livello regionale, nazionale e internazionale.

Il quadro normativo nazionale per i requisiti minimi nella costruzione di aule per la didattica musicale comprende un regolamento risalente al 1997 [10], che recepisce la legge 447/95 [11] e uno più recente di carattere regionale [12].

In particolare, il quadro normativo stabilisce dei limiti per i seguenti parametri: R'_w che è l'indice del potere fonoisolante apparente di una partizione e misura la capacità di limitare il passaggio del rumore aereo; $D_{2m,nTw}$ è l'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverbero e rappresenta la capacità di una partizione a ridurre il rumore aereo dall'esterno all'interno; L_{Aeq} è il livello di rumore di fondo e T_r il tempo di riverbero che rappresenta la persistenza del suono in una stanza dopo che lo stimolo sonoro è terminato (Tabella 2).

Tutti i parametri elencati nella tabella 2 sono meno restrittivi di quelli riportati in diversi standard tecnici o regolamenti internazionali [13-19]. Ad esempio, diversi standard internazionali raccomandano un tempo di riverbero molto inferiore a 1 s (circa 0,6 s), un rumore di fondo inferiore a 35 dB(A) e valori più elevati per gli indici di isolamento.

Infine, bisogna anche considerare che suonare uno strumento e cantare sono esercizi muscolari statici e faticosi, molto impegnativi per il corpo. Musicisti e cantanti dovrebbero avere una buona conoscenza del proprio corpo, delle articolazioni e dei muscoli, e dovrebbero usare una postura naturale di base che causi il minimo sforzo possibile. Gli apparati vocale e uditivo sono strumenti necessari per i musicisti professionisti, quindi il modo migliore per prendersene cura è essere consapevoli dei potenziali rischi e prevenirli.

Il presente lavoro mira a valutare l'ambiente della didattica musicale, stimando il potenziale rischio per docenti e studenti di un conservatorio, identificando le criticità usando strumenti quantitativi e qualitativi (misurazioni e questionari), implementando misure appropriate per prevenire o minimizzare il rischio.

Parametro	Valore	Riferimento normativo
Indice del potere fonoisolante apparente R'_w tra due aule adiacenti	≥ 40 dB	D.M. 18/12/1975
Indice del potere fonoisolante apparente R'_w tra due aule sovrapposte	≥ 42 dB	D.M. 18/12/1975
Indice di valutazione del livello di rumore di calpestio L'_{nw} tra due aule sovrapposte	≤ 68 dB	D.M. 18/12/1975
Tempo di riverberazione T_r per aule	$\leq 1,2$ s	D.M. 18/12/1975
Indice del potere fonoisolante apparente R'_w tra due aule adiacenti	≥ 50 dB	D.P.C.M. 5/12/1997
Indice di valutazione del livello di rumore di calpestio L'_{nw} tra due aule sovrapposte	≤ 58 dB	D.P.C.M. 5/12/1997
Indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione $D_{2m, n T_w}$	≥ 48 dB	D.P.C.M. 5/12/1997
Indice del potere fonoisolante apparente R'_w per pareti divisorie di aule musicali rumorose	≥ 62 dB	Decreto del Presidente della Provincia di Bolzano 7 luglio 2008, n. 26
Indice del potere fonoisolante apparente R'_w per pareti divisorie di aule musicali non particolarmente rumorose	≥ 53 dB	Decreto del Presidente della Provincia di Bolzano 7 luglio 2008, n. 26
Indice del potere fonoisolante apparente R'_w per corridoi, uffici e aule non musicali	≥ 47 dB	Decreto del Presidente della Provincia di Bolzano 7 luglio 2008, n. 26

Tabella 2: quadro sinottico dei principali parametri di acustica architettonica per le aule musicali nel quadro normativo nazionale

MATERIALI E METODI

Sono state eseguite campagne di misura relative al rumore di fondo analizzato in base ai parametri psicoacustici della “sound quality” e dei livelli di esposizione al rumore, valutazioni mediche (analisi della voce in relazione alla postura, esami audiologici e valutazioni audiometriche), questionari in relazione alla durata delle lezioni, al numero medio degli studenti, a fattori extralavorativi, all'esposizione al rumore, ecc. Tutte le indagini hanno avuto la finalità di evidenziare le criticità relative al disagio ergonomico presso un conservatorio nazionale.

Per quanto riguarda l'esposizione al rumore, sono stati esaminati 129 soggetti tra docenti e studenti, eseguendo la valutazione secondo lo standard ISO 9612 [20].

La ISO 9612 individua tre strategie di misurazione per la determinazione dell'esposizione al rumore sui luoghi di lavoro: 1) misurazioni basate sui compiti: il lavoro svolto durante il giorno viene analizzato e suddiviso in una serie di compiti rappresentativi e per ciascuna singola attività viene misurato il livello equivalente di pressione sonora 2) misurazioni basate sulle mansioni: un numero di campioni casuali del livello di pressione sonora sono misurati durante l'esecuzione di particolari mansioni; 3) misurazione sull'intera giornata lavorativa: il livello di pressione sonora viene misurato ininterrottamente sull'intera giornata lavorativa.

Dopo l'analisi della giornata tipo, sono state eseguite misurazioni basate sui compiti, raggruppando docenti e studenti nei seguenti gruppi omogenei di esposizione al rumore: per solisti (Arpa, Basso tuba, Voce, Voce barocca, Repertorio vocale barocco, Chitarra, Clarinetto, Clavicembalo e tastiere storiche, Contrabbasso, Corno, Fagotto, Fisarmonica, Flauto, Flauto traverso, Liuto, Musica elettronica, Oboe, Organo, Pianoforte, Sassofono, Percussione, Tromba, Trombone – trombone basso, Viola, Viola da gamba, Violino, Violino barocco, Violoncello); per ensembles (accompagnamento al pianoforte, ensemble di strumenti a fiato, ensemble di strumenti a corde ad arco, musica da camera, strumenti per banda, pratica orchestrale, musica corale); per nessuno strumento (Uffici, Teoria, Uscieri, Laboratorio di liuteria).

A seguito delle misurazioni del livello di pressione sonora, per ognuno dei gruppi omogenei esaminati è stato calcolato il livello di esposizione giornaliero al rumore ($L_{EX,8h}$).

Per la valutazione del comfort acustico, è stato approntato uno specifico questionario per acquisire una valutazione del giudizio soggettivo sul suono percepito, classificandolo come inaccettabile, disturbante o accettabile in relazione all'attività che si sta svolgendo. Inoltre, i dati oggettivi fisici e psicofisici del rumore interferente sono stati ottenuti acquisendo degli opportuni campioni audio che sono stati analizzati attraverso le metriche della “sound quality”, ampiamente impiegate nella progettazione di prodotti

industriali e nel settore automobilistico, in termini dei parametri di loudness, sharpness, roughness e fluctuation strength [21].

La percezione del comfort acustico è stata valutata attraverso la somministrazione del questionario a 10 insegnanti e 25 studenti. Il questionario consisteva in una serie di domande iniziali personali (sesso, età, fumatore, consumo di droghe ecc.), domande relative alla disciplina musicale e strumento utilizzato, al numero di ore di lezione e di esercitazione giornaliera e al numero medio di studenti in un'aula. Il questionario continuava con 12 domande sulla percezione qualitativa del livello di rumore nell'ambiente didattico. Gli intervistati potevano esprimere la possibile presenza di disagio acustico barrando con una croce all'interno di una scala graduata da 1 (nessun disagio) a 5 (alto disagio). Il questionario si concludeva con domande sull'abitudine ad usare cuffie e auricolari per fare telefonate e ascoltare musica, sulla presenza o assenza di problemi di udito e l'eventuale utilizzo di apparecchi acustici e sulla natura del disturbo da rumore percepito nei negli ambienti di lavoro e di vita.

Per analizzare i disturbi vocali dei cantanti, è stato utilizzato il "Voice Handicap Index" (VHI), un questionario per quantificare l'impatto funzionale, fisico ed emotivo di un disturbo della voce sulla qualità della vita di un paziente. Esso acquisisce la valutazione soggettiva del paziente con una serie di domande al fine di quantificare i livelli di disabilità e handicap. La versione originale del VHI è stata introdotta da Jacobson et al. [22] e consiste in 30 domande finalizzate ad un'autovalutazione della gravità del disturbo vocale come percepito dal soggetto.

Il VHI è utilizzato in numerosi studi come indicatore per la ricerca di disturbi della voce. Adattamenti interculturali, traduzioni e successive validazioni sono state improntate per diverse lingue; VHI specifici per cantanti sono stati introdotti al fine di soddisfare le esigenze speciali di sottogruppi particolari di cantanti: SVHI (singer voice handicap index), MSHI (modern singer handicap index), CSHI (classic singer handicap index). Per la valutazione oggettiva della voce, è stato utilizzato un software multiparametrico che ha permesso l'analisi di parametri specifici quali Jitter Percent; Shim - Shimmer Percent; NHR - Noise - to - Harmonic Ratio e VTI - Voice Turbulence Index e la spettrografia a banda larga [23].

Inoltre, tutti i cantanti partecipanti sono stati sottoposti a visita medica con fibrolaringoscopia. Per ogni singolo cantante è stata campionata l'emissione cantata e sostenuta della vocale 'a' sia in posizione eretta che in piedi o seduti nell'atto di suonare lo specifico strumento. L'analisi posturale, eseguita simultaneamente, ha permesso di valutare visivamente i soggetti, al fine di stabilire la loro reale posizione nello spazio rispetto ad una posizione ideale.

Lo studio è stato condotto raccogliendo 20 campioni per 17 soggetti, di cui 7 uomini e 10 donne. La differenza tra il numero di campioni e il numero di

sogetti è dovuta al fatto che 3 dei cantanti analizzati erano in grado di suonare entrambi gli strumenti (piano e chitarra acustica). Ciò ha permesso sia di aumentare il numero di campioni, sia di confrontare le diverse variazioni dei parametri sullo stesso soggetto nelle seguenti condizioni: senza strumento, con il pianoforte e con la chitarra.

Infine, sono state eseguite valutazioni mediche su 65 musicisti incluso un esame otorinolaringoiatrico e una valutazione con test audiometrici soggettivi e oggettivi. Nell'audiometria soggettiva è sempre richiesta la collaborazione del soggetto e comprende: il test audiometrico tonale liminare che si basa sulla ricerca della soglia uditiva per i toni puri emessi dall'audiometro, inviati per via aerea e per via ossea; il test audiometrico tonale sopraliminare che permette di rivelare particolari fenomeni uditivi, solitamente patologici, a valori di intensità di stimolazione che si trovano a livelli sopraliminari o anche a valori di intensità prossimi alla soglia di disagio e dolore; l'acufenometria che è un test diagnostico non invasivo consistente nella misurazione della frequenza e dell'intensità di un acufene; la valutazione della discriminazione delle frequenze, per determinare se un paziente è in grado di riconoscere due stimoli erogati sequenzialmente separati l'uno dall'altro. L'audiometria oggettiva non richiede la partecipazione del paziente perché le risposte agli stimoli sono indipendenti dalla sua volontà e consiste in: esame impedenzometrico che è un esame diagnostico audiologico obiettivo che consente di valutare lo stato anatomico-funzionale del sistema timpanico (timpanometria) e dell'arco riflesso cocleo-stapediale (riflessometria) misurando la resistenza che incontra la propagazione del suono nel passare attraverso l'orecchio medio (impedenza acustica); otoemissioni acustiche: rilevamento dei segnali acustici generati dalle cellule ciliate esterne, come espressione dei normali meccanismi attivi all'interno della coclea; prodotti di distorsione delle otoemissioni, evocati da due toni posti all'ingresso della coclea, che all'uscita possono produrre componenti non presenti all'ingresso o più semplicemente modifiche dei segnali inviati; ABR (potenziali evocati uditivi) in grado di rilevare i potenziali elettrici provenienti dal tronco cerebrale in risposta ad una stimolazione acustica calibrata in intensità.

RISULTATI

Sui 129 soggetti analizzati, l'81% rientra nella classe di rischio bassa ($L_{EX,8h} \leq 80$ dB(A)), il 15% nella classe di rischio media ($80 < L_{EX,8h} \leq 85$ dB(A)), e il 4% nella classe di rischio alta ($85 < L_{EX,8h} \leq 87$ dB(A)) (Tabella 3).

Classe di rischio	Gruppi acusticamente omogenei
Bassa	Arpa, Chitarra, Clavicembalo E Tastiere Storiche, Contrabbasso,

	Liuto, Musica Elettronica, Organo, Viola, Viola Da Gamba, Violoncello, Accompagnamento Pianistico, Musica D'insieme Per Strumenti Ad Arco, Insegnamento Teorico, Uffici
Media	Oboe, Pianoforte, Violino, Musica di insieme per flauto
Alta	Canto, Strumenti a percussione, Musica da Camera

Tabella 3: Classi di rischio per gruppi acusticamente omogenei

Come si evince dalla tabella 3, nella classe di rischio media rientrano i gruppi omogenei di esposizione al rumore di Oboe, Pianoforte, Violino, Musica di insieme per flauto, mentre i gruppi omogenei di Canto, Strumenti a percussione e Musica da Camera, rientrano nella classe di rischio alta.

Un'analisi a campione riguardante l'isolamento acustico tra due aule, il rumore di fondo e il tempo di riverbero, ha mostrato che i valori non sono del tutto adeguati per la destinazione d'uso delle stesse ($T_r = 1,2$ s, $R'_w = 49$ dB e $L_{Aeq} = 42$ dB (A) a finestre chiuse e 52 dB (A) a finestre aperte).

I risultati complessivi delle misurazioni dei livelli di rumore di fondo, eseguite in 16 aule, sono mostrati in Figura 1. Essi, suddivisi in classi di ampiezza 5 dB, variano da 35 dB (A) a 60 dB (A), con un'occorrenza maggiore nella classe dei 50-55 dB (A).

Inoltre, dai questionari è emersa la percezione di un forte discomfort sia tra gli insegnanti che tra gli studenti (rispettivamente il 60% e il 33% dei soggetti intervistati, Figura 2). I risultati mostrano che tra il gruppo di studenti il 36% utilizzava strumenti a fiato, il 30% strumenti a corda, il 18% strumenti a percussione e il restante 16% utilizzava la voce. Il gruppo di età prominente variava da 18 a 24 anni. Tra il gruppo di insegnanti, il 40% insegna strumenti a fiato, il 20% percussioni, il 20% strumenti a corda del e il restante 20% canto. La fascia d'età è quasi totalmente compresa tra 45 e 54 anni (80%), mentre solo il 20% apparteneva alla fascia 65-70 anni. Il livello medio di discomfort percepito dagli studenti si attesta su valori medio-alti. In particolare, gli studenti di strumenti a percussione sono risultati più suscettibili allo stress acustico, dovuto dai livelli di pressione sonora emessi dagli strumenti specifici, seguiti dagli studenti di strumenti a fiato (flauto) e dagli studenti di strumenti ad arco (chitarra classica, basso elettrico, pianoforte).

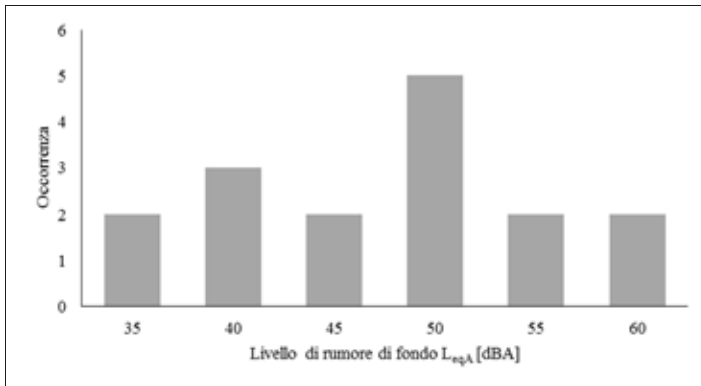


Figura 1: Distribuzione per classi di 5 dB dei livelli del rumore di fondo

Gli studenti concordano all'unanimità che un ambiente rumoroso influenza la concentrazione e le prestazioni; il 66% considera l'aula troppo rumorosa, circa il 50% occasionalmente lamenta acufeni, il 60% considera eccessivo il rumore proveniente dalle aule adiacenti, seguito dal rumore proveniente dall'esterno (25%) e dal riverbero della stanza stessa (15%).

Tra i docenti, oltre l'80% considera l'ambiente di lavoro troppo rumoroso. Di conseguenza, essi sono costretti ad alzare il tono medio della voce, con conseguente affaticamento vocale (surmenàge). I docenti soffrono ancora di più per l'inadeguato isolamento acustico tra le aule: la totalità degli intervistati, infatti lo considera insufficiente. Allo stesso modo, lamentano l'eccessivo riverbero della stanza, presente nell'80% delle risposte fornite.

Per quanto riguarda l'analisi della voce, su 20 campioni di cantanti esaminati, 5 erano pianisti e 15 chitarristi. Nel gruppo dei pianisti, non sono state rilevate variazioni significative della voce nello spettrogramma e nei parametri esaminati, né cambiamenti significativi nella postura che potrebbero influenzare l'emissione vocale.

Per i chitarristi, tuttavia, i cambiamenti posturali corrispondono a modifiche nell'emissione vocale; infatti, per 12 soggetti in cui lo spettrogramma è risultato modificato, sono state riconosciute le seguenti alterazioni posturali nell'atto di suonare lo strumento: 8 rotazioni della colonna vertebrale a sinistra, 5 posizioni della testa in avanti, 5 posizioni della testa rivolta a sinistra e 5 posizioni di spalle sollevate.

Inoltre, è stato riscontrato un livello di significatività insufficiente dei parametri esaminati, eccetto il VTI che aumentava significativamente in 11 chitarristi su 15, con un tasso di variazione medio di circa il 23%.

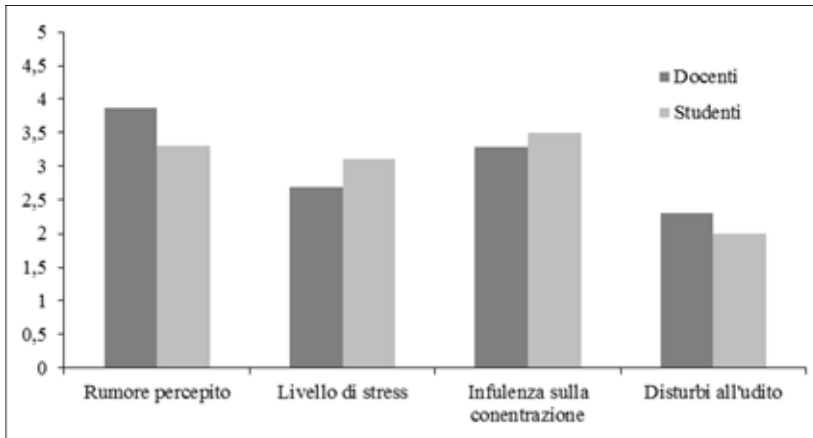


Figura 2: Valori medi delle risposte al questionario sulla percezione del rumore

La spettrografia a banda larga per i chitarristi mostra un generale indebolimento dell'energia delle formanti in 12 soggetti nell'atto di suonare la chitarra: 7 spettrogrammi mostrano una perdita di energia nelle formanti oltre 4000 Hz e 2 spettrogrammi nelle formanti tra 2000 Hz - 3000 Hz, quindi si può dedurre che suonare la chitarra durante il canto porta a: maggiore lentezza della chiusura glottale (closing rate) dimostrabile con l'aumento del valore VTI, diminuzione della potenza di penetranza correlata alla diminuzione di energia delle formanti; modifica del timbro vocale soprattutto quando l'alterazione posturale consiste nella rotazione della colonna verso sinistra, nonché una correlazione generica tra postura richiesta dallo strumento musicale e l'alterazione vocale.

I risultati della valutazione medica eseguita su 65 musicisti con test audiometrici soggettivi e oggettivi, mostrano che il 55% di essi presenta disturbi dell'udito senza ipoacusia, di cui: il 20% solo distorsione della loudness e pitch, il 10% solo distorsione, il 10% soffre di acufene con iperacusia, il 5% presenta acufene senza iperacusia, il 10% solo iperacusia, mentre i sintomi combinati riguardano il 45% dei musicisti. Inoltre il 40% dei musicisti mostra una perdita uditiva neurosensoriale cocleare con recruitment, di cui: il 20% solo affaticamento patologico, il 10% presenta distorsione del time e pitch, il 40% presenta acufeni e iperacusia ed il 30% sintomi combinati. Infine, solo il 5% dei musicisti mostra disturbi dell'equilibrio con o senza ipoacusia.

CONCLUSIONI

Dall'analisi dei risultati emerge che devono essere messe in atto azioni specifiche sui gruppi omogenei di esposizione al rumore appartenenti alle classi di rischio media ed alta, al fine di minimizzare il rischio di malattie professionali legate all'organo dell'udito. Questo obiettivo può essere raggiunto sia riducendo il tempo di esposizione, sia riducendo il livello sonoro indossando opportuni dispositivi di protezione individuale e migliorando l'acustica degli ambienti (tempo di riverbero e isolamento acustico). Queste azioni potrebbero inoltre portare a una migliore percezione della qualità acustica dell'ambiente, attualmente non adeguata, come confermato dai risultati dei questionari. Inoltre, questo miglioramento potrebbe apportare benefici anche all'affaticamento vocale dei cantanti. La dosimetria dello sforzo vocale potrebbe essere una tecnica efficace per quantificare l'affaticamento vocale, ma al momento, sfortunatamente, valori di riferimento per la valutazione non sono ancora stati standardizzati. Lo studio evidenzia che postura e voce sono strettamente correlate e quindi la loro analisi congiunta consente di individuare possibili soluzioni per porre rimedio alle malattie professionali legate allo sforzo vocale.

Un'efficace prevenzione può essere raggiunta anche attraverso un'adeguata formazione e informazione del personale docente e degli studenti, con l'obiettivo di aumentare la consapevolezza dei potenziali rischi uditivi, degli effetti extra-uditivi e delle malattie del tratto vocale. Una postura corretta e una ristrutturazione acustica mirata delle aule potrebbero migliorare il comfort e le performances del musicista. Solo, quindi, un approccio integrato apporterebbe vantaggi significativi ai musicisti, oltre a ottimizzare i costi degli interventi acustici.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Queensland Government <http://education.qld.gov.au/health/>
- [2] Gutnick, L. <http://commons.emich.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1150&context=theses>
- [3] Isaac M.J., McBroom D.H., Nguyen S.A., and Halstead L.A. Prevalence of Hearing Loss in Teachers of Singing and Voice Students, *Journal of Voice*, 31, (3), (2017)
- [4] Olson A.D., Gooding L.F., Shikoh F., Graf J. Hearing Health in College Instrumental Musicians and Prevention of Hearing Loss. *Med Probl Perform* 31(1), 29-36, (2016)
- [5] Cooper, C.L., Dewe P., & O'Driscoll M. *Organizational Stress: A review and critique of theory, research, and applications*. Thousand Oaks: Sage (2001)
- [6] Cantley LF, Galusha D, Cullen MR, Dixon-Ernst C, Rabinowitz PM, Neitzel RL. Association between ambient noise exposure, hearing acuity, and risk of acute occupational injury. *Scand J Work Environ Health.*, 41:75–83 (2015)
- [7] Yoon J., Hong J., Roh J., Dose - response relationship between noise exposure and the risk of occupational injury, *Noise & Health*, 17 (74), 43-47 (2015)
- [8] Sound advice. *Control of noise at work in music and entertainment*, Health and Safety Executive, 2008
- [9] Parra L., Torres M., Lloret J., Campos A. and Bosh I., Assisted Protection Headphone Proposal to Prevent Chronic Exposure to Percussion Instruments on Musicians, *Journal of Healthcare Engineering. J Healthc. Eng.* 2018 Feb 8
- [10] D.P.C.M. 5/12/1997 Requisiti acustici passivi degli edifici
- [11] Legge 26 ottobre 1995, n. 447, Legge quadro sull'inquinamento acustico
- [12] Decreto del Presidente della Provincia di Bolzano n. 26 del 7 Luglio 2008
- [13] ISO 3382-1: "Acoustics - Measurement of acoustic parameters of environments - Part 1: Showrooms"
- [14] UNI 11367:2010 Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera
- [15] UNI 11532-1:2018 Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati – Metodi di progettazione e tecniche di valutazione – Parte 1: Requisiti generali
- [16] Circolare Ministeriale del 22 Maggio 1967: "Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici"; D.M. 18 Dicembre 1975 - "Norme tecniche aggiornate relative alla edilizia

scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica"

- [17] ANSI S12.60-2002 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, And Guidelines For Schools, 2002
- [18] Building Bulletin 93 Acoustic design of schools - performance standards, UK, 2014; Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement JO. 28/05/2003
- [19] DIN 18041:2016-03: Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung (Acoustic quality in rooms- Specifications and instructions for the room acoustic design)
- [20] UNI EN ISO 9612 Acustica - Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro - Metodo tecnico progettuale
- [21] <https://www.salford.ac.uk/research/sirc/research-groups/acoustics/psychoacoustics/sound-quality-making-products-sound-better>
- [22] B. Jacobson, et al., "The voice handicap index (VHI): development and validation," J. Speech-Lang. Path., vol. 6, pp. 66-70, 1997
- [23] <http://audiologistjobandnotes.blogspot.it/2012/01/mdvp-parameters-explaining-by.html>



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

**RISULTATI PRELIMINARI DEL PROGETTO BRIC INAIL:
TECNICHE DI VALUTAZIONE DELLA DOSE AL CRISTALLINO
PER I LAVORATORI ESPOSTI ALLE RADIAZIONI IONIZZANTI
IN CAMPO MEDICO, MODELLIZZAZIONE DEI RELATIVI
EFFETTI BIOLOGICI E STRATEGIE DI RIDUZIONE DEL
RISCHIO RADIOINDOTTO**

Claudia Giliberti(1), Raffaella Marconi(2), Daniela D'Alessio(2), Vicente Bruzzaniti(2), Mauro Iori(3), Federica Fioroni(3), Marco Bertolini(3), Antonella Sgura(4), Ion Udroi(4), Antonella Rosi(5), Sveva Grande(5), Alessandra Palma(5), Marco Sumini(6), Lidia Strigari(2)

- (1) INAIL-Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici, Roma
- (2) Istituto Nazionale Tumori Regina Elena (IRE-IFO), Laboratorio di Fisica Medica e Sistemi Esperti, Roma
- (3) Azienda Ospedaliera Arcispedale S. Maria Nuova, Servizio di Fisica Medica, Reggio Emilia
- (4) Dipartimento di Scienze, Università degli Studi Roma Tre
- (5) Centro Nazionale per le Tecnologie Innovative in Sanità Pubblica, Istituto Superiore di Sanità, Roma
- (6) Centro Interdipartimentale "L. Galvani" per Studi Integrati di Bioinformatica, Biofisica e Biocomplexità – CIG, Alma Mater Studiorum Università di Bologna

INTRODUZIONE

La valutazione della dose al cristallino ha assunto per i lavoratori esposti alle radiazioni ionizzanti una notevole rilevanza, in quanto in studi recenti è stata evidenziata una radiosensibilità del cristallino più elevata di quanto precedentemente stimato [1]. In particolare si è osservata una maggiore incidenza di complicanze oculari (principalmente l'insorgenza della cataratta causata dalla opacizzazione del cristallino) associate ad esposizioni protratte alle radiazioni ionizzanti. Alla luce dei suddetti risultati, l'International Commission on Radiological Protection, nel documento ICRP 103 [2], ha rivisto le soglie di induzione degli effetti deterministici, raccomandando un limite annuale di dose equivalente per le esposizioni lavorative del cristallino di 20 mSv, come media su periodi di 5 anni, con un limite superiore di 50

mSv in un singolo anno, mentre l'ICRP 85 [3] individuava come limite annuale per il cristallino 150 mSv.

Il nuovo ICRP suggerisce altresì un monitoraggio puntuale della dose assorbita dal cristallino per i lavoratori coinvolti in procedure ad alta dose. Tali nuove soglie sono state inserite nella Direttiva 2013/59 Euratom che sarà recepita a breve a livello nazionale. Con la riduzione del limite di dose equivalente al cristallino per un lavoratore esposto, soprattutto se suscettibile di ricevere alti valori di dose, un'accurata valutazione della dose ricevuta diventa critica: per le difficoltà di determinare operativamente l'equivalente di dose personale Hp(3); per la variabilità individuale nella posizione e nella dimensione del cristallino che incrementa l'incertezza sulla stima dosimetrica; per la variabilità delle dosi al cristallino legata al tipo di procedura svolta ad esempio in campo angiografico (quali ad esempio la chirurgia vascolare, cardiologia interventistica e radiologia interventistica, ecc.) [4].

Nonostante i numerosi dati di letteratura sull'argomento [5,6], la ricerca e l'innovazione tecnologica in campo sanitario stanno incrementando l'introduzione di nuove metodiche, procedure o pratiche complesse che necessitano di apparecchi radiologici portatili o sistemi angiografici robotizzati, di nuovi radioisotopi per diagnostica e terapia medico-nucleare o di terapie radianti ipo-frazionate erogate con acceleratori di alta energia (≥ 10 MV) ad alto rateo di dose. Queste nuove procedure e/o tecnologie, sempre più presenti negli istituti di ricovero e cura a carattere scientifico (IRCCS), come pure nei policlinici universitari, richiedono specifici approfondimenti e valutazioni radioprotezionistiche al fine di consentire agli operatori di lavorare con il minor rischio di esposizione alle radiazioni.

Un importante contributo al miglioramento delle conoscenze sugli effetti delle dosi al cristallino può arrivare dalle potenzialità offerte dai codici Monte Carlo avanzati che consentono di simulare sempre più accuratamente gli scenari di esposizione, migliorando per un dato lavoratore la stima della dose al cristallino e individuando le condizioni lavorative ed i dispositivi di protezione individuale più idonei a minimizzare il rischio di esposizione [7,8].

Proprio queste problematiche sono oggetto del Progetto BRIC INAIL 2016: "Tecniche di valutazione della dose al cristallino per i lavoratori esposti alle radiazioni ionizzanti in campo medico, modellizzazione dei relativi effetti biologici e strategie di riduzione del rischio radioindotto". Si tratta di un progetto biennale (2017-2018) che coinvolge due IRCCS (Roma e Reggio Emilia), due Università (Roma 3 e Bologna), l'Istituto Superiore di Sanità e l'INAIL e prevede come capofila l'IRCCS Istituto Nazionale Tumori Regina Elena (IRE-IFO).

Il progetto è articolato in 7 obiettivi:

- 1) Individuazione degli operatori esposti a radiazioni ionizzanti che ricevono i valori più significativi di dose e quantificazione dei parametri relativi alle procedure radiologiche effettuate.
- 2) Valutazione delle dosi al cristallino per le procedure lavorative individuate dall'obiettivo 1, tenendo conto dei dispositivi di protezione individuale (DPI) utilizzati.
- 3) Valutazione delle stime di dose al cristallino dei lavoratori esposti utilizzando un sistema di calcolo Monte Carlo e tenendo conto della relativa variabilità morfologica (dimensioni/profondità della sede del cristallino) e lavorativa.
- 4) Monitoraggio tomografico corneale dei lavoratori per i quali è stata valutata la possibilità di ricevere alte dosi al cristallino.
- 5) Sviluppo di un database web-based con i dati dosimetrici per diverse procedure e per diverse tipologie di lavoratore.
- 6) Messa a punto ed esecuzione di setup di esposizioni in vitro su cellule LEC (Lens Epithelial Cells) sottoposte a varie dosi e tipi di radiazione e realizzazione delle curve dose-effetto per vari *end-point*.
- 7) Definizione di indicazioni operative mirate alla mitigazione del rischio da esposizione dei lavoratori durante l'attuazione di pratiche radiologiche di radioterapia, radiologia interventistica e medicina nucleare che prevedono l'impiego di elevate dosi di radiazioni.

Lo studio è innovativo perché permetterà di quantificare le dosi al cristallino per le diverse tipologie di attività svolte in campo radiologico ed interventistico, nel campo della medicina nucleare con radioisotopi di recente introduzione nella pratica clinica o nel campo della radioterapia per gli operatori che si trovino ad operare nei pressi della testata attivata di un acceleratore con alte energie ed alti dose-rate.

In questo lavoro vengono presentati i principali risultati del progetto ottenuti al termine del primo anno dello studio.

MATERIALI E METODI

Il progetto intende monitorare e valutare la dose al cristallino per un gruppo individuato di lavoratori esposti dei due IRCSS, principalmente nei reparti di cardio-chirurgia, radiologia interventistica, medicina nucleare, la cui storia dosimetrica ha evidenziato negli ultimi 5 anni i valori di dose più elevati [Hp(10), Hp(3), Hp(0,07)], analizzando anche i dati presenti sui RIS/PACS integrati con i sistemi dosimetrici aziendali (come ad esempio GrayDetector, DoseWatch) e i dati raccolti effettuando interviste e utilizzando appositi questionari per individuare le prestazioni cliniche con utilizzo di sorgenti di radiazioni ionizzanti maggiormente ripetute e le posizioni dell'operatore rispetto alla sorgente radiante/paziente.

Oltre alle misure sperimentali, le stime di dose al cristallino dei lavoratori esposti verranno effettuate utilizzando un sistema di calcolo Monte Carlo

che tenga conto della variabilità morfologica in termini di dimensioni/profondità della sede del cristallino, basati su dati strumentali effettuati sui lavoratori. In particolare, lo studio utilizzerà l'esame tomografico corneale, che rappresenta un importante elemento innovativo in quanto si tratta di un esame non invasivo che analizza la forma e alcune caratteristiche ottiche e strutturali della cornea e del cristallino, misurando gli spessori, la trasparenza e la densità dei tessuti e la loro profondità.

Tale esame consente di quantificare per singolo operatore non solo la dose ricevuta ma anche l'eventuale effetto biologico (morfologico e funzionale) conseguente, permettendo di identificare le strategie di protezione più adeguate da porre in atto (ad es. l'uso di occhiali protettivi ancora più personalizzati). In dettaglio, lo studio intende pertanto effettuare un esame tomografico corneale come livello di riferimento base, per quantificare le caratteristiche morfologiche e funzionali dei cristallini di un opportuno campione di lavoratori che operano in zone ad alta dose. Il dato di riferimento sarà costituito dal primo monitoraggio sui primi lavoratori arruolati. L'esame verrà ripetuto dopo 12-18 mesi ed i risultati verranno confrontati con i precedenti.

La morfologia oculare dei lavoratori monitorati sarà esportata dalla macchina ed integrata nella simulazione Monte Carlo (su fantoccio antropomorfo e/o umano-antropomorfo) in modo da confrontare le dosi al cristallino ottenute con metodiche standard e personalizzate. Infine le simulazioni saranno confrontate con i rilievi dosimetrici ottenuti.

Questo lavoro ha anche come obiettivo l'uso del codice Monte Carlo per studiare l'interazione delle radiazioni, generate da apparecchiature radianti (ad esempio l'acceleratore TrueBeam) e/o da sorgenti radioattive, utilizzando fantocci antropomorfi con/senza gli occhiali di protezione e/o immagini anatomiche di pazienti/operatori.

Questi fantocci, scannerizzati con una CT o CBCT, consentiranno di stimare le dosi ricevute dagli occhi e/o dai cristallini opportunamente integrati al loro interno. L'IRCCS di Reggio Emilia ha inoltre chiesto ed ottenuto dal Comitato Etico il consenso ad utilizzare immagini anatomiche CT (immagini CT di encefali di operatori o pazienti di radioterapia) per la caratterizzazione del cristallino e ad effettuare ulteriori simulazioni con il Monte Carlo. Ciò consentirà di simulare la dose al cristallino introducendo alcuni parametri di stratificazione legati alla sua posizione spaziale (anche considerando la profondità della camera anteriore desunta dall'immagine tomografica corneale) all'interno dell'occhio e al suo volume.

Un ulteriore obiettivo del progetto è lo sviluppo di un database web-based in cui vengano inseriti i dati dosimetrici per diverse procedure e per diverse tipologie di lavoratore. Il database web-based conterrà l'identificativo del centro e del reparto, la tipologia dei lavoratori e delle attività a maggiore

rischio di esposizione, le dosi al cristallino registrate, il numero di trattamenti effettuati per anno.

Dal punto di vista biologico, il progetto intende effettuare esposizioni in vitro su cellule LEC sottoposte a varie dosi e tipi di radiazione; a tal fine sono state allestite colture cellulari di LEC in parallelo con colture di fibroblasti umani primari, che rappresentano un modello cellulare ampiamente utilizzato per studi di radiodosimetria biologica. Entrambe le linee cellulari sono state utilizzate per validare gli *endpoint* di: citotossicità, curve di crescita e test del Trypan blue, che consentono di analizzare la capacità delle cellule di dividersi, marcando per il conteggio le cellule morte; danno al DNA (test dei micronuclei, MN), standardizzato e riconosciuto per la valutazione del danno indotto al DNA; senescenza (test della beta-galattosidasi) che permette di colorare quelle cellule che presentano questo enzima a pH 6 e riconoscerle come senescenti.

L'analisi dei MN viene effettuata 24 ore dopo l'irraggiamento su cellule binucleate (BNC) che contengono cioè due nuclei (derivati dalla divisione cellulare) nel medesimo citoplasma; la citocalasina-B impedendo la citodieresi, cioè la divisione del citoplasma dopo la divisione nucleare, permette di ottenere BNC. Per le caratteristiche morfologiche delle cellule LEC, che non permettono di discriminare le cellule binucleate con la sola colorazione DAPI, è stata messa a punto una nuova metodologia di colorazione per il test del micronucleo, che combina la colorazione DAPI con l'Arancio di Acridina (per distinguere il citoplasma).

L'analisi della senescenza viene effettuata 5 giorni dopo l'irraggiamento, contando 300 cellule per campione e misurando la frequenza di cellule positive alla colorazione della beta-galattosidasi.

RISULTATI

In ogni IRCCS sono stati individuati i lavoratori che ricevono le dosi al cristallino più elevate e trattasi nello specifico di primi operatori di trattamenti e diagnosi con sistemi angiografici.

In particolare, nell'ambito dell'IRE-IFO, dai dati relativi ai carichi di lavoro, alle misure dosimetriche e ai dosimetri personali relativi agli anni 2014-2016, sono stati selezionati 20 lavoratori esposti, rappresentativi delle tipologie di attività a maggior rischio di esposizione. Di questi, 5 lavoratori hanno una lettura del dosimetro al corpo intero (misurata in Hp(10)) superiore ai 2 mSv/anno e comprendono principalmente radiologi interventisti, ortopedici e neurochirurghi. È stato anche individuato un gruppo campione di riferimento tra i lavoratori che ricevono dosaggi più bassi di 2 mSv/anno.

Allo stesso modo, nell'IRCSS Reggio Emilia sono stati selezionati circa 30 lavoratori esposti con lettura del dosimetro al corpo intero (misurata in Hp(10)) superiore ai 2 mSv/anno. È stato inoltre individuato un gruppo di

circa 15 lavoratori campione, da cui arruolare il gruppo di controllo, individuato tra i lavoratori classificati esposti, ma con letture dosimetriche (intese come medie storiche sugli ultimi 3 anni) inferiori al limite di sensibilità del dosimetro (ad esempio: TSRM o Radiologi non coinvolti in pratiche interventistiche).

Le valutazioni delle dosi al cristallino sono state effettuate tenendo in considerazione le informazioni desunte dal sistema informatico per quanto riguarda i carichi di lavoro e le posizioni degli operatori esposti selezionati nel gruppo di studio, anche in riferimento alla metodica di radioembolizzazione con Y-90 svolta nella sezione angiografica.

I risultati preliminari relativi alla distribuzione del range dosimetrico nel campione esposto hanno evidenziato la presenza di una distribuzione multimodale con un numero ristretto di lavoratori che ricevono dosi più elevate.

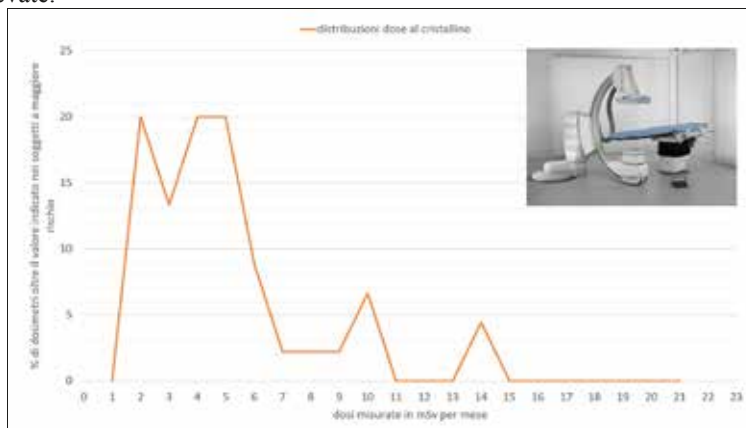


Figura 1: distribuzione normalizzata dell'esito dei dosimetri al cristallino per i lavoratori che ricevono potenzialmente alte dosi in un IRCCS

La figura 1, ottenuta per i lavoratori di uno dei due IRCCS, mette in luce la criticità del fenomeno, evidenziando che vi è un'alta probabilità di superare il limite di 20 mSv in assenza di ulteriori misure correttive.

L'attività di radiologia interventistica è monitorata con dosimetro a corpo intero sopra e sotto il camice, bracciale e dosimetro per cristallino. A titolo esemplificativo si riporta il grafico dell'andamento della dose al cristallino rispetto a quella al corpo intero desunta dalle dosimetrie (Figura 2). Tale andamento evidenzia che vi è una correlazione diretta tra la dose al cristallino e quella al corpo intero.

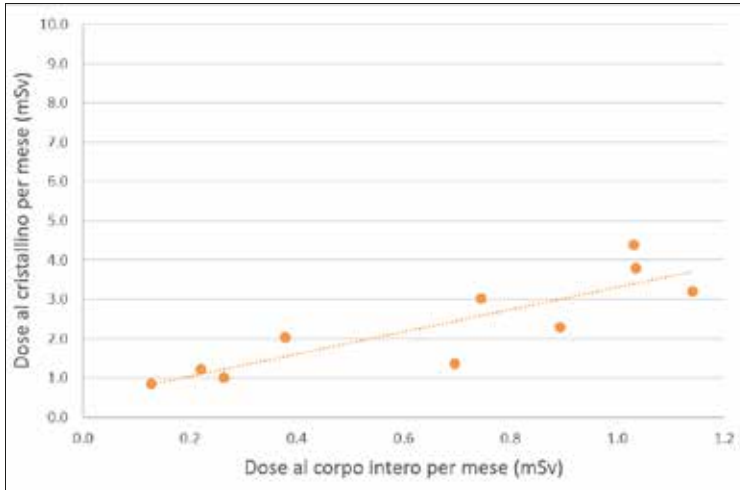


Figura 2: andamento della dose al cristallino rispetto a quella al corpo intero per i lavoratori che ricevono potenzialmente alte dosi in un IRCCS

Emerge da questo studio che la componente scatterata a basse energie può spiegare l'incremento del coefficiente di rischio atteso per l'insorgenza della cataratta. Tali dati sono suffragati dai primi risultati effettuati su cellule del cristallino in vitro.

Nelle stime di dose al cristallino per gli operatori si è tenuto in considerazione anche uno schermo di 2mm Pb equivalente, normalmente utilizzato nella pratica clinica.

Al fine dell'individuazione delle azioni correttive è stata presa in considerazione la disponibilità di nuovi telini schermanti monouso, che sono in grado di ridurre la dose al corpo intero e quindi al cristallino fino all'80-90%.

Lo studio si è focalizzato sulla caratterizzazione della dose e del dose-rate delle apparecchiature in esame. Ciò ha comportato l'integrazione delle misure consuete (previste nell'ambito dell'assicurazione di qualità) con misure ad hoc. In particolare sono state effettuate delle misure in corrispondenza del cristallino dell'operatore ed in presenza di materiale scatterante utilizzato per simulare un paziente. Il tipico spettro ottenuto in sala angiografica in corrispondenza del cristallino dell'operatore dimostra che la radiazione che emerge dal paziente ha una distribuzione continua con un'energia media molto più bassa di quella incidente sul paziente. Ciò comporta la necessità di indagare dal punto di vista biologico l'effetto della qualità della radiazione.

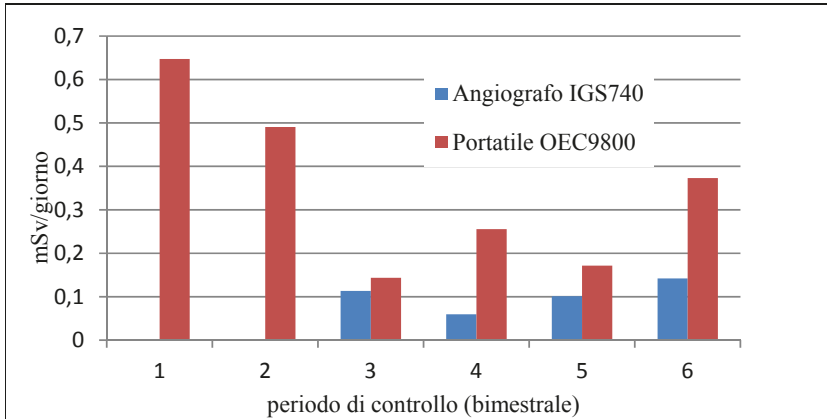


Figura 3: Dosimetria ambientale registrata dai dosimetri posti sull'arco a C e sul nuovo angiografo.

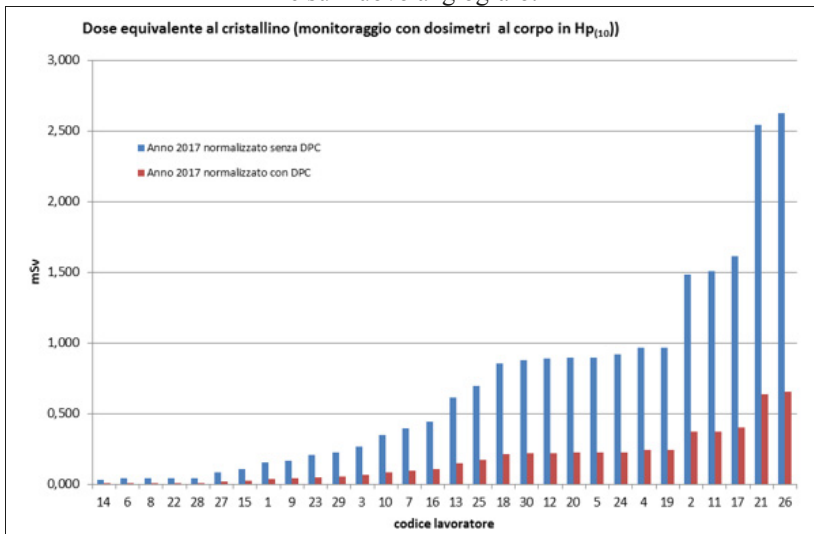


Figura 4: Dose cristallino stimata dalle misure registrate nel 2017 per un gruppo di operatori del Servizio di Gastroenterologia e Endoscopia digestiva, in presenza di dispositivi di protezione collettiva (rappresentati da bandelle applicate al lettino del paziente e da barriere pensili a soffitto, entrambi aventi una schermatura da 0.5 mm di Pb equivalente).

Sono state inoltre eseguite misure ad hoc anche su apparecchiature di nuova generazione, ovvero sull'angiografo GE Discovery IGS 740 dotato di detettore digitale e di ricostruzione 3D (CBCT).

Inoltre sono state effettuate delle valutazioni della dose al cristallino relativamente al personale del Servizio di Gastroenterologia e Endoscopia digestiva che lavora sia con questo apparecchio angiografico, che con un classico arco a C già in dotazione alla struttura.

Le dosi registrate nel corso degli ultimi due anni permettono di valutare la dose al cristallino degli operatori a seguito all'introduzione nella pratica clinica del nuovo apparecchio angiografico.

L'introduzione del nuovo apparecchio e l'adozione contestuale di ulteriori schemi mobili protettivi sul precedente arco a C hanno comportato una diminuzione della dose al cristallino pari al 50% confrontando due periodi simili in termini di carico di lavoro (Figura 4).

Relativamente agli acceleratori lineari, sono state valutate le modalità di maggiore esposizione degli operatori, per ciò che concerne il cristallino, nelle attività di posizionamento del paziente, qualora la testa dell'operatore si trovi vicino al sistema multileaf attivato dall'impiego dell'acceleratore stesso (nello specifico si fa riferimento al Varian Truebeam).

Relativamente alle sostanze radioattive, si è valutata l'opportunità di ipotizzare scenari di esposizione nell'ambito della normale attività lavorativa (ad es. preparazione di radiofarmaci per terapia tra cui radiofarmaci marcati con Y-90, I-131, Ra-223) o situazioni incidentali. In particolare, per quanto riguarda gli angiografi, è stato individuato un "range tipico di utilizzo" specificato in termini di tensione, numero di frame/s, corrente al tubo (mA) e filtrazione totale del fascio radiogeno.

Per quanto riguarda la simulazione Monte Carlo, sono state modellate differenti geometrie per simulare la testa di un operatore con o senza occhiali protettivi sia usando il modello voxel che quello mesh, al fine di realizzare un modello basato sul fantoccio Rando e su TAC di pazienti anonimizzati, da utilizzare per riprodurre scenari di esposizioni sia di normale operatività che in caso di emergenza mediante il codice MCNP (Monte Carlo N-Particle Transport Code).

I modelli numerici, che sono sia di tipo voxel (Figura 5, dimensione dei voxel pari a 1mm x 1mm x 1mm) sia di tipo a mesh non strutturate (Figura 6), provengono da scansioni TAC anonime.

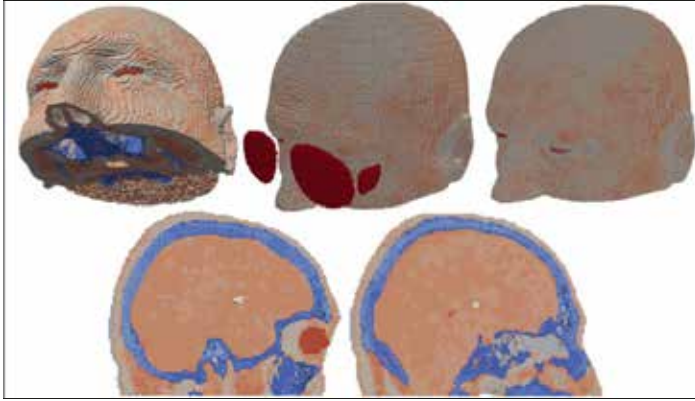


Figura 5: modello Voxel

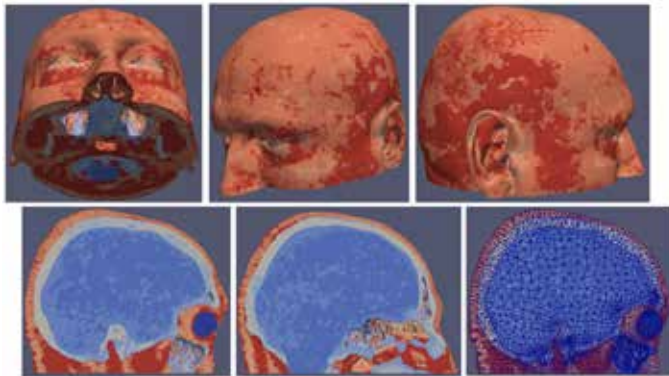


Figura 6: modello Mesh

I suddetti modelli sono stati utilizzati per simulare la contaminazione superficiale con una goccia di farmaco radioattivo che emette radiazioni α , β e γ , sulla pelle della guancia in prossimità dell'occhio o della guancia con o senza un occhiale protettivo.

La scala di colore dal giallo al rosso rappresenta la dose in mGy per unità di Bq corrispondente alla goccia di radiofarmaco contenente vari tipi di radioisotopi (I-131, Y-90, Tc-99m, Ra-223).

Tali simulazioni possono essere utilizzate per consolidare stime di dose in caso di emergenza per contaminazione dell'occhio, della guancia e dell'occhiale di un operatore tipo (Figura 7).

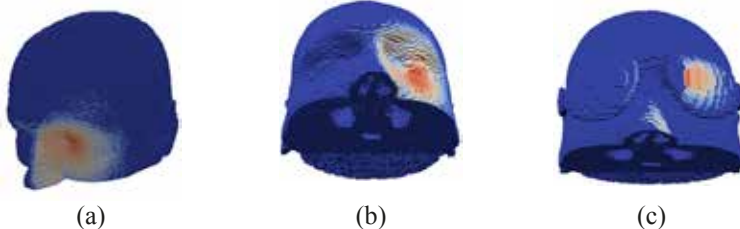


Figura 7: contaminazione con ^{131}I su un occhio (a), guancia (b) e occhiale (c) di un operatore tipo

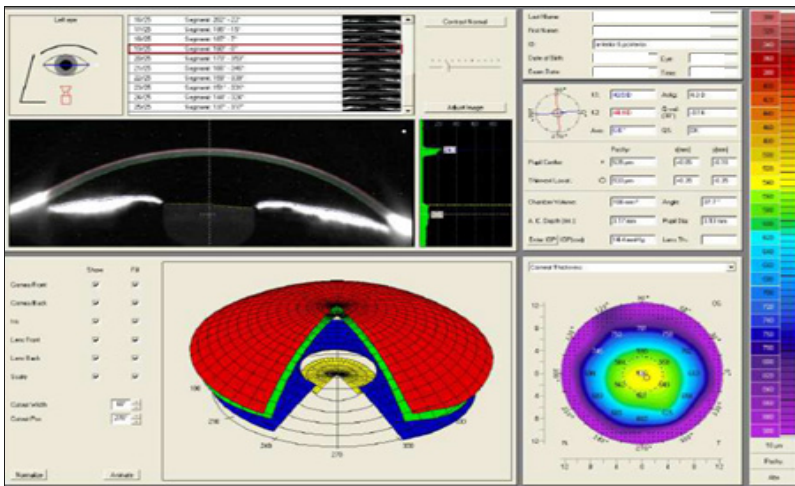


Figura 8: tomografo corneale: esame test di un primo gruppo di operatori arruolati nello studio prospettico approvato dal comitato etico

In Figura 8 si riporta l'immagine di un esame test ottenuto con il tomografo corneale (variabilità inter ed intra operatore, variabilità dei parametri di lettura del sistema in acquisizioni ripetute) di un primo gruppo di operatori arruolati nello studio prospettico approvato dal comitato etico.

Tale esame mostra la posizione della camera anteriore del cristallino e quindi la profondità e la forma della parte centrale dello stesso, che può essere utile per una più puntuale caratterizzazione e modellizzazione delle simulazioni Monte Carlo. Questi dati potranno essere utilizzati per calcolare i fattori correttivi per singolo operatore da applicare alle dosi misurate in modo da ottenere una stima della dose al cristallino operatore specifica.

Per quanto riguarda la valutazione degli effetti biologici dell'irraggiamento del cristallino per lavoratori esposti ad alte dosi, il modello biologico

consiste in colture di cellule epiteliali del cristallino (LEC). La prima fase di studio è consistita nella messa a punto del set-up di esposizione *in vitro* di tali cellule. I risultati ottenuti sono simili a quelli ottenuti (e attesi) con i fibroblasti: tale risultato indica che le cellule LEC rappresentano un adeguato modello *in vitro* per il presente studio degli effetti biologici sul cristallino dopo esposizione a diverse tipologie di radiazioni. In particolare, è stata riscontrata una sensibile inibizione della crescita nei campioni trattati, non dovuta a morte cellulare (la vitalità, misurata con il Trypan Blue, è infatti risultata pari al 90% sia nei campioni trattati che nei controlli), un significativo aumento del danno al DNA (test dei micronuclei) ed un aumento delle cellule senescenti. I fibroblasti sono risultati più sensibili per tutti e tre gli *end-points*; va tenuto conto, però, che le due linee cellulari differiscono sia per tipologia (le LEC sono trasformate, mentre i fibroblasti sono primari) che per origine (le LEC sono epiteliali, i fibroblasti mesenchimali).

Finora sono stati studiati gli effetti di due ratei di dose (0,28 e 0,55 Gy/min) di raggi X (170 kVp). Effetti sulla proliferazione e la senescenza sono stati riscontrati solamente ad alte dosi (1 e 2 Gy, rispettivamente, per i due ratei), alle quali, realisticamente, nessun operatore può venire esposto. Tramite il test dei micronuclei, invece, è stato rilevato un danno al DNA statisticamente significativo fin dalla dose più bassa (27,5 mGy). Tale risultato ha implicazioni importanti per la radioprotezione, visto l'appurato ruolo del danno al DNA come iniziatore dell'eziologia della cataratta.

I risultati biologici, oltre a rappresentare un controllo positivo che valida il modello in uso, verranno utilizzati nelle prossime fasi di studio con le alte dosi, che, insieme alle basse dosi di interesse protezionistico, permetteranno di costruire delle curve dose-effetto per i diversi *end-points*.

Tutti i risultati del progetto sono raccolti in un database dedicato che consente di popolare un sito web per ospitare i principali risultati dello studio. Per il database è stata realizzata la versione beta ed è in corso la validazione dello stesso e l'implementazione con i dati dosimetrici relativi ai due IRCSS per diverse procedure e tipologie di lavoratori. Il database è stato concepito e disegnato avvalendosi anche delle indicazioni e delle informazioni relative alle caratteristiche e parametri tecnici di rilievo desunti da un'attenta analisi della letteratura più recente disponibile in materia (ultimi dieci anni). I contenuti sono stati in parte raccolti e saranno pubblicati in modo da garantire la diffusione dei risultati previa pubblicazione scientifica.

È in corso la definizione di una review per effettuare una revisione critica sugli ultimi aggiornamenti in materia di dose al cristallino in campo medico che sarà sinteticamente riportata sia sulle raccomandazioni ISS che sul sito web dedicato.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Barnard SG, Ainsbury EA, Quinlan RA, Bouffler SD, “Radiation protection of the eye lens in medical workers--basis and impact of the ICRP recommendations,” *Br J Radiol.* 2016, 89(1060): 20151034
- [2] The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP* 2007
- [3] International Commission on Radiological Protection. Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures. ICRP Publication 85. *Ann. ICRP* 30 (2), 2000
- [4] Carinou E, Ferrari P, Bjelac OC, Gingaume M, Merce MS, O'Connor U, “Eye lens monitoring for interventional radiology personnel: dosimeters, calibration and practical aspects of Hp(3) monitoring. A 2015 review,” *J Radiol Prot.* 2015, 35: R17-34
- [5] Bruchmann I, Szermerski B, Behrens R, Geworski L, “Impact of radiation protection means on the dose to the lens of the eye while handling radionuclides in nuclear medicine,” *Z Med Phys.* 2016, 26:298-303. 7
- [6] Bertolini M, Benecchi G, Amici M, Piola A, Piccagli V, Giordano C, Nocetti L. Attenuation assessment of medical protective eyewear: the AVEN experience. *J Radiol Prot.* 2016;36(2):279-289 Epub 2016 Apr 28
- [7] Ferrari P, Becker F, Carinou E, Chumak V, Farah J, Jovanovic Z, Krstic D, Morgun A, Principi S, Teles P, “Monte Carlo study of the scattered radiation field near the eyes of the operator in interventional procedures,” *J Radiol Prot.* 2016, 36: 902-921
- [8] Hu P, Kong Y, Chen B, Liu Q, Zhuo W, Liu H, “Shielding Effect of Lead Glasses on Radiologists' Eye Lens Exposure in Interventional Procedures,” *Radiat Prot Dosimetry.* 2016 May 5

I rischi fisici nei luoghi di lavoro

CORRETTA ALIMENTAZIONE DEI LAVORATORI ESPOSTI AD AMBIENTI SEVERI CALDI.

Michele del Gaudio⁽¹⁾, **Daniela Freda**⁽²⁾, **Michele Di Stasio**⁽³⁾, **Maria Grazia Volpe**⁽³⁾

- (1) INAIL, Unità Operativa Territoriale di Avellino
- (2) INAIL, Dipartimento di Innovazioni Tecnologiche, Roma
- (3) CNR, Istituto di scienze dell'alimentazione, Avellino

PREMESSA

I lavoratori possono essere esposti a condizioni termiche severe calde se impegnati in cicli produttivi “a caldo” o, durante la stagione estiva, in attività all'esterno, con difficoltà oggettive legate alla stagionalità dei lavori, al turnover dei lavoratori stessi, ed ora anche alle difficoltà di comunicazione dovute all'ingresso nel mondo del lavoro agricolo di tanti lavoratori stranieri. Il rischio per la salute è principalmente legato agli effetti dell'innalzamento della temperatura corporea dei lavoratori o all'eccessiva perdita di liquidi, che possono provocare malesseri o possono essere addirittura fatali. La limitazione dei tempi di esposizione è normalmente la forma più efficace di prevenzione, ma ancor più efficace può essere l'adozione di uno stile di vita che permetta di mantenere una perfetta efficienza fisica ed il raggiungimento di un benessere che può migliorare complessivamente la prestazione lavorativa.

Il presente lavoro intende suggerire un programma dietetico con protocolli per stili di vita idonei ai lavoratori esposti a stress da esposizione ad ambienti di lavoro caldi. In particolare si prenderà in considerazione l'indice denominato PHS Predicted Heat Stress (UNI EN ISO 7933) [1] che calcola il tempo massimo di esposizione in base ai valori stimati di temperatura interna dell'organismo e in base alla perdita di liquidi. L'obiettivo finale è il

controllo e la riduzione dello stato di stress idrico dei lavoratori attraverso una dieta che ottimizzi e massimizzi la capacità di controllare lo stress, che preveda il consumo di alimenti e bevande ad elevata attività antiossidante, arricchite in molecole bioattive in micro e macro elementi e in vitamine in grado di apportare un sufficiente grado di idratazione.

In particolare sono stati individuati i seguenti step:

- a) analisi dei dati acquisiti e stima del rischio da stress calorico effettuata mediante l'indice di valutazione PHS (Predicted Heat Strain);
- b) Indicazione di diete ricche in componenti capaci di limitare gli effetti indotti da stress calorico;
- c) verifica in campo degli effetti della dieta adottata mediante la compilazione di idonei questionari;
- d) rilevamento dei consumi mediante diario alimentare;
- e) stesura e produzione di una semplice guida che evidenzi gli effetti benefici dell'utilizzo delle diete formulate.

A partire dalla caratterizzazione di ambienti di lavoro indoor ed outdoor, basandosi sulla adozione di corretti stili di vita e su una adeguata alimentazione, saranno fornite semplici regole per prevenire i malesseri provocati da abitudini e scelte alimentari sbagliate.

LA CLASSIFICAZIONE DEGLI AMBIENTI TERMICI

I luoghi di lavoro vengono classificati in base alle condizioni termiche in ambienti “moderati” ed ambienti “severi”. I primi sono caratterizzati da condizioni termiche in cui il soggetto è in grado di mantenere uno stato di benessere, perché gli scambi energetici con l'ambiente circostante sono ridotti; i secondi sono ambienti in cui le condizioni sono tali da favorire forti scambi energetici dal corpo umano verso l'ambiente e possono quindi costituire un rischio per la salute del lavoratore. Negli ambienti moderati si svolgono attività che non condizionano termicamente l'ambiente ed in cui è semplice raggiungere una condizione di confort. Tipici ambienti moderati sono gli uffici, le scuole, le attività commerciali, i capannoni destinati ad attività di logistica. Questi ambienti vengono anche definiti “moderabili” perché quando si raggiungono condizioni di discomfort ciò è normalmente dovuto a inefficienze strutturali ed è quindi sempre possibile adottare delle misure per ripristinare le condizioni ottimali. Quando invece l'ambiente è condizionato dal ciclo produttivo non sempre è possibile mettere in atto delle misure di prevenzione perché il prodotto potrebbe subire dei danni. Rientrano in questi casi anche gli ambienti di lavoro all'aperto in cui si possono raggiungere condizioni estreme durante le stagioni estive e invernali su cui è non è possibile agire. La severità delle condizioni può riguardare la temperatura dell'aria ma anche i valori di umidità relativa e temperatura radiante. In questo caso l'obiettivo deve essere la protezione della salute del lavoratore [2].

GLI AMBIENTI SEVERI CALDI.

Il corpo umano è dotato di un sistema di termoregolazione, i cui recettori sono ubicati nell'ipotalamo, e che in condizioni moderate è in grado di compensare modeste variazioni dei parametri termo-igrometrici ambientali. Quando è esposto a temperature elevate, il corpo cerca di eliminare il calore eccessivo regolando gli scambi energetici con l'esterno attraverso l'aumento della frequenza respiratoria, l'aumento del flusso sanguigno nei vasi periferici e l'attivazione della sudorazione. Quando questi meccanismi sono insufficienti la temperatura interna del corpo umano tende ad innalzarsi e nel tentativo di dissipare calore vengono ceduti molti liquidi verso l'esterno.

Quando l'umidità dell'aria è elevata il processo di evaporazione che completa la sudorazione può essere impedito.

Il corpo umano può subire dei danni se la temperatura interna raggiunge i 38°C o perde una quantità di acqua superiore al 3% del peso.

L'indice PHS (Predicted Heat Strain) illustrato nello Standard UNI EN ISO 7933 permette di stimare nel tempo l'innalzamento della temperatura corporea e la perdita di liquidi, evidenziando i casi in cui occorre limitare l'esposizione del lavoratore.

Per calcolare l'indice occorre misurare quattro parametri ambientali: (ta) temperatura dell'aria, (tg) temperatura di globo, (U.R.) umidità relative e (va) velocità dell'aria. È necessario, inoltre stimare l'impegno metabolico (M) e l'isolamento termico (I_c) del vestiario utilizzato.

Di seguito vengono riportate due situazioni lavorative analizzate mediante il calcolo dell'indice PHS. Utilizzando una centralina microclimatica sono stati misurati i valori di temperatura dell'aria (ta), temperatura di globo (tg), umidità relativa (Ur) e velocità dell'aria (va). Solo per determinare il valore di temperatura di globo la centralina è stata esposta direttamente alla radiazione solare mentre gli altri parametri sono stati rilevati all'ombra. Utilizzando il foglio di lavoro Excel Malchaire Analysis della Università di Louvain, [3]. Nei calcoli sono stati utilizzati un valore di isolamento del vestiario di 0,6 Clo corrispondente ad un abbigliamento tipico estivo (biancheria, pantalone, maglietta e scarpe) ed un impegno metabolico pari a 2 Met tipico di una attività manuale significativa.

1° CASO: CANTIERE EDILE ALL'APERTO.

Ora	Ta (°C)	Tg (°C)	RH (%)	Va (m/s)	PHS min.	Perdita liquidi g
08:22	26,98	39,03	49,12	0,15	480	2010,00
11:57	33,90	50,44	27,81	0,12	370	4290,00

15:28	36,81	51,00	30,48	0,85	330	5740,00
17:18	38,34	48,11	35,91	0,17	290	6100,00
19:40	31,80	38,14	54,53	0,14	480	2290,00
22:41	28,55	28,40	54,00	0,15	480	740,00

Tabella 1 – Dati climatici in un cantiere edile.

I dati sono stati misurati il 3 agosto 2017 in una giornata che le previsioni meteorologiche avevano previsto essere particolarmente critica. I valori di PHS calcolati hanno evidenziato la necessità di ridurre l'esposizione a partire dalla tarda mattinata fino al tardo pomeriggio. È evidente da quanto riportato nella colonna 7 della Tab. 1, che per i soggetti esposti, era stimata una notevole perdita di liquidi. I valori di umidità relativa misurati sono stati particolarmente elevati fino alle prime ore serali.

2° CASO: LAVORATORI ADDETTI ALLA MANUTENZIONE FORNI DI COTTURA PIASTRELLE

Ora	Ta (°C)	Tg (°C)	RH (%)	Va (m/s)	PHS min.	Perdita liquidi g
16:10	45,35	47,95	28,4	0,30	37	5420,00

Tabella 2 – Dati climatici in un capannone industriale per la produzione di piastrelle.

I dati sono stati misurati in un capannone nel mese di luglio 2004, quando all'esterno si misurava una temperatura di 34 °C ed una umidità relativa del 43 %. Si riporta un solo dato registrato nel primo pomeriggio rappresentativo delle condizioni più severe registrabili durante la giornata. Dato che la lavorazione si svolge costantemente durante le 24 ore la temperatura dell'aria subisce una variazione solo durante le ore serali, quando il capannone non è direttamente raggiunto dalla radiazione solare. La postazione di lavoro non prevedeva la presenza di personale se non in occasione di manutenzioni straordinarie come la sostituzione dei rulli refrattari.

ANALISI DEI DATI

I due casi esaminati sono rappresentativi di condizioni severe a cui possono essere esposti i lavoratori impegnati in attività all'aperto durante la stagione estiva ed in un capannone industriale in cui si svolge una attività che richiede produzione di calore. Nel primo caso esiste una variabilità crescente delle temperature con un picco nelle ore centrali, mentre il valore di umidità relativa ha raggiunto il picco massimo nelle ore serali. Il calcolo dell'indice

PHS ha evidenziato una condizione di stress con l'indicazione della necessità di ridurre il tempo di esposizione ma soprattutto ha indicato la perdita di una notevole quantità di liquidi.

Nel secondo caso è stata esaminata una postazione, in prossimità dei forni, in cui i lavoratori accedono occasionalmente per attività di manutenzione senza la sospensione dell'attività. Anche in questo caso è notevole la perdita di liquidi ed il tempo di esposizione massimo si riduce a 37 minuti, tempo che potrebbe non essere sufficiente a completare le attività di manutenzione.

I due casi sono emblematici delle condizioni di stress termico a cui sono sottoposti i lavoratori e l'indice PHS si rivela utile a prevedere i limiti temporali di esposizione prima dell'insorgere di danni per la salute e soprattutto della quantità di liquidi persi che è necessario reintegrare.



Foto 1 – Forni per la cottura di piastrelle.

ABITUDINI ALIMENTARI

Da interviste sul campo si è potuto stabilire che i lavoratori del cantiere seguono la seguente dieta:

Colazione: caffè, latte biscotti.

Pranzo: panino farcito con salumi e latticini, birra ed acqua, raramente un frutto.

Cena: pasta, carne o pesce, contorno di verdure, acqua e vino.

Nel caso dei lavoratori dell'industria i lavoratori usufruiscono durante l'orario di lavoro di un servizio mensa aziendale ed hanno quindi accesso ad un pranzo completo a scelta del lavoratore. La dieta risulta quindi più varia salvo preferenze specifiche dei lavoratori che possono preferire solo alcuni alimenti. I pasti consumati a casa sono simili a quelli dei lavoratori dell'edilizia.



Foto 2 -Lunch atop a skyscraper. Muratori all'ora di pranzo

CORRETTO STILE DI VITA

La promozione della salute nei luoghi di lavoro deve tener conto degli effetti sinergici sulla salute umana costituiti da rischi legati agli stili di vita, in particolare dell'alimentazione, dell'attività motoria, del fumo di sigarette e dei rischi professionali [4].

Stili nutrizionali, livelli di attività motoria e organizzazione del lavoro sono fattori su cui è possibile intervenire migliorando nel contempo la qualità del lavoro e la salute dei lavoratori. L'attuazione di specifici percorsi informativi nei luoghi di lavoro dovrebbero essere finalizzati ad individuare azioni efficaci che mettano in grado gli individui di attuare scelte salutari nelle realtà sociali in cui sono inseriti.

La possibilità di aumentare il consumo di composti ad alto contenuto di sostanze antiossidanti, quali quelle di tipo polifenolico, vitaminico, micro e macro elementi, fitosteroli, acidi grassi mono e polinsaturi, fibre solubili e insolubili, dovrebbe essere l'obiettivo nell'ambito di una dieta che ottimizza e massimizzi la capacità di contrasto dello stress ossidativo.

Il loro impiego, tuttavia, deve essere basato su una conoscenza di alcuni elementi fondamentali (per esempio le dosi ottimali, la modalità di somministrazione, la scelta e la combinazione degli alimenti atti a limitare i fenomeni di disidratazione e stress) per amplificarne al massimo l'interessante proprietà di controllo.

d-A2018

Possibili diete da adottare per lavoratori esposti a condizioni termiche severe se impegnati in cicli produttivi “a caldo” o, durante la stagione estiva, in attività all'esterno, dovrebbe basarsi sui seguenti punti fondamentali:

- Piatti pronti con caratteristiche funzionali fortificate e/o supplementate, ossia arricchendo i pasti di specifiche sostanze rispetto alla loro composizione di base e/o aggiungendone altre che non possiedono naturalmente, in modo tale che gli stessi possano mostrare benefici effetti su una o più funzioni dell'organismo e che riducano i rischi di dei lavoratori esposti a condizioni severe;
- Ampio uso di prodotti freschi, stagionali, soprattutto del settore ortofrutticolo, riducendo l'uso di alimenti molto trasformati spesso ricchi di sale;
- Utilizzo di oli caratterizzati da un elevato contenuto in acidi grassi monoinsaturi, in primis l'oleico, polinsaturi (PUFA), tra i quali alcuni acidi grassi essenziali come l'acido linoleico e α -linolenico che non possono essere sintetizzati dai mammiferi e devono essere introdotti attraverso la dieta;
- Introduzione di cereali con alto contenuto proteico (quinoa, amaranto, sorgo, miglio, grano saraceno, ecc.), semi vegetali (zucca, lino, chia, canapa, ecc.), prodotti vegetali naturalmente ricchi in componenti bioattive;
- Uso di legumi (fagioli neri, ceci, lenticchie ecc.) e di farine integrali ricche in fibre (segale, farro, canapa, ecc.);
- Consumo di frutta e verdura durante le pause;
- Bevande costituite da tè verde e/o succhi di frutta senza zuccheri aggiunti;
- Attraverso i distributori automatici, laddove esistenti, snack confezionati con basso contenuto calorico, a base di frutta secca (nocciole, noci, mandorle ecc.) e cioccolato fondente, cereali integrali, yogurt e/o preparati probiotici, insalate pronte all'uso.

Parallelamente anche la pratica regolare di attività motoria da parte dei dipendenti è perseguibile implementando azioni diverse nell'organizzazione e nelle scelte politiche dell'azienda, quali:

- uso delle scale e non dell'ascensore;
- organizzazione di eventi sportivi;
- esercizi fisici durante le pause;
- uso del pedometro/contapassi;
- convenzioni con palestre/piscine
- palestra all'interno dell'azienda, laddove possibile.

Il piano di sana alimentazione e adozione di stili di vita salutistici dovrebbero essere adeguatamente promossi anche attraverso la predisposizione e distribuzione di materiale informativo (brochure, brevi guide in formato sia cartaceo sia elettronico) per incoraggiare i lavoratori a

rivedere abitudini alimentari scorrette e ridurre le problematiche da lavoro severo.

CONCLUSIONI

Il lavoratore non sempre è consapevole che per svolgere la sua attività deve comportarsi esattamente come fa un atleta per prepararsi alla gara. Nella definizione “corretto stile di vita” si comprende il mantenimento dell’efficienza fisica e l’adozione di corrette abitudini alimentari. I lavoratori che svolgono la loro attività in ambienti particolari, come quelli con condizioni termiche severe, debbono essere più degli altri attenti al loro benessere fisico, che può fare la differenza in termini di prestazioni ma anche e soprattutto in termini di salute e sicurezza. Negli ultimi anni, molti datori di lavoro, hanno investito sempre di più nel miglioramento dei luoghi di lavoro e nella promozione di corretti stili di vita perché cominciano a capire che un lavoratore che “sta bene” lavora meglio ed è meno esposto ad infortuni [5].

Le campagne d’informazione e la possibilità di svolgere attività fisica nel luogo di lavoro sono sicuramente gli strumenti che meglio aiutano a diffondere la cultura della prevenzione. In molti casi bisogna vincere preconcetti maturati nel passato e che quindi si fa più fatica ad abbandonare. Il pasto del lavoratore è sempre stato visto come qualcosa di sostanzioso che deve fornire energia, nella scelta dei cibi si tende però a preferire quelli a maggior contenuto di grassi accompagnandoli spesso anche con bevande alcoliche. Sono frequenti casi di malori nei lavoratori che avevano assunto cibi e bevande inadeguati per le condizioni termo-igrometriche del sito lavorativo. Nel dettaglio, la promozione di una adeguata alimentazione per questa tipologia di lavoratori, potrebbe essere raggiunta implementando azioni diverse nella organizzazione e nelle scelte politiche dell’azienda, finalizzate a garantire la disponibilità di alimenti salutaris sul posto di lavoro poiché spesso gli alimenti proposti dalle mense aziendali e/o dai punti di ristoro esterni, oppure gli stessi pasti che i lavoratori si preparano a casa, sono spesso ricchi di calorie e con un’alta percentuale di grassi saturi, con troppo sale e inadeguati a contrastare lo stress ossidativo. I due esempi di attività lavorativa esaminati nel presente lavoro sono utili per capire che quando la scelta degli alimenti è affidata al lavoratore, occorre fare una accurata informazione affinché lo stesso acquisisca le nozioni fondamentali per conservare la sua salute e migliorare le sue prestazioni lavorative. Quando invece è disponibile un servizio di ristorazione collettiva è possibile indirizzare la scelta fornendo pasti equilibrati e mirati alle esigenze delle attività svolte avvalendosi magari anche delle indicazioni di esperti della nutrizione.

Per ridurre gli effetti di una esposizione dei lavoratori a condizioni termiche severe calde, il datore di lavoro può anche agire sull’organizzazione del



d=A2018

lavoro spostando le attività nelle ore più fresche della giornata, o adottando misure tecniche come l'adozione di schermi per proteggere i lavoratori dall'esposizione diretta alla radiazione solare [6]. Un valido aiuto per i datori di lavoro e dei lavoratori può essere la consultazione dei siti web specializzati per le previsioni meteorologiche, che utilizzando l'indice di calore (Heat Index) [2] segnalano il verificarsi di condizioni particolarmente stressanti e permettono di decidere quando svolgere i compiti più gravosi.

BIBLIOGRAFIA

[1] UNI EN ISO 7933:2005, Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile, UNI Milano 2005.

[2] M. del Gaudio. Rischio termico in luoghi di lavoro outdoor durante la stagione estiva. Atti dei VI Incontri Mediterranei di Igiene Industriale Bari 26 – 27 ottobre 2017.

[3] Malchaire J. et al., Criteria for estimating acceptable exposure times in hot working environments: a review ,Int. Arch. Occup. Environ Health 73: 215-220, (2000).

[4] David K. Williams Why You Should Fill Your Company With 'Athletes'
TOTAL WORKER HEALTH NIOSH
<https://www.cdc.gov/niosh/twh/totalhealth.html>.

[5] M. del Gaudio. “Datore di Benessere” atti 30° Congresso AIDII. Maranello 26-28 giugno 2013. 459-464.

[6] del Gaudio M., Working in the shadow Ital. J. Occup. Environ. Hyg., 76 – 80, 4(2), 2013.



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

PIANO DI GESTIONE INTEGRATA DEL RUMORE DI CANTIERE (PGRUM) – CASO DI STUDIO: DEMOLIZIONE DI UN FABBRICATO

Papa Augusto (1), Addonizio Pasquale (1)

(1) INAIL UOT CVR di Napoli, via nuova Poggioreale, Napoli

INTRODUZIONE

Il piano di gestione integrata del rumore di cantiere (PGRUM) è un documento redatto da un *Tecnico Competente in acustica ambientale*, per conto dell'appaltatore/Committente che ne valuta e approva i contenuti.

Esso illustra l'analisi dei diversi ambiti dell'impatto da rumore e definisce come tutto il processo di gestione del rumore verrà eseguito, monitorato e controllato.

Redigere il PGRUM significa definire, preparare, integrare e coordinare tutte le informazioni e le azioni provenienti dai vari ambiti, per creare un unico documento, coerente ed omogeneo.

L'impresa deve mettere in atto le azioni previste e produrre i parametri di miglioramento continuo individuati nel piano, attuando, se necessario, le procedure di allerta/allarme, al superamento dei valori di riferimento.

È necessario controllare l'attuazione del PGRUM, tenendo traccia dell'effettivo svolgimento di tutto quanto previsto, e verificando di volta in volta, il miglioramento continuo attraverso il valore dei parametri acustici ottenuti dal monitoraggio.

Essenziale è anche saper gestire in modo adeguato le eventuali modifiche a quanto pianificato, e chiudere l'intera gestione dell'impatto di cantiere, facendo sintesi di quanto svolto e raccogliendo le *lezioni* apprese da esso.

LA REDAZIONE DEL PGRUM

Il PGRUM deve raccogliere le analisi di diversi ambiti e le relative pianificazioni delle attività e deve contenere le seguenti informazioni:

Classificazione acustica e ricettori più esposti;

1. Indagini di clima acustico e valutazioni previsionali di impatto acustico per richiesta di deroga ai limiti Comunali;
2. Stazione e modalità di monitoraggio acustico del cantiere (posizionamento, parametri di misura e di allerta superamento soglie);
3. Altri ambiti (scelta dei macchinari meno rumorosi, attività di formazione degli operatori di cantiere, strategie di comunicazione, ecc.).

CASO DI STUDIO: DEMOLIZIONE DI UN FABBRICATO

Si vuole presentare a seguire un caso di studio relativo al PGRUM per l'attività di un cantiere che prevede la demolizione di un fabbricato adibito ad officina di carica accumulatori, presso il fianco nord della stazione ferroviaria centrale di Napoli.



Foto 1- Alcune fasi della demolizione

CLASSIFICAZIONE ACUSTICA E RICETTORI PIÙ ESPOSTI

Secondo il criterio della zonizzazione acustica, disposto dal DPCM 1 marzo 1991, il comune di Napoli ha suddiviso il territorio in classi acustiche, ciascuna soggetta a diverso limite di rumorosità. L'area interessata dai lavori, include R_1 , e risulta classificata in classe IV - aree di intensa attività umana: con limite 65 dBA, diurni e 55 dBA notturni. Il fronte edificato lungo il corso Meridionale di Napoli, a più diretto contatto con l'area di intervento interessata dall'opera è formato da edifici per attività terziarie di servizio al pubblico, ed edifici di pertinenza della stazione ferroviaria. L'intera area d'intervento costituisce luogo di transito per pedoni e punto nevralgico del traffico e dei flussi cittadini.



Fig. 1 - Particolare PZA Napoli zona centrale Tav. 3

La valutazione dei potenziali ricettori disturbati è stata estesa a:

- n. 32 edifici residenziali;
- n. 13 edifici per attrezzature alberghiere;
- n. 8 edifici di pertinenza ferroviaria;
- n. 9 edifici per attività terziaria di servizi al pubblico.

Essa infine ha portato ad individuare, come maggiormente esposto R_1 , un hotel (ex dopolavoro ferroviario dato in gestione a privati), distante soli 20 metri.

Qui si si andranno a riferire le dovute attività di tutela e controllo.



Fig.2 - Carta di localizzazione dei ricettori e posizione R_1



INDAGINI DI CLIMA ACUSTICO E VALUTAZIONI PREVISIONALI DI IMPATTO PER RICHIESTA DI DEROGA AI LIMITI

Il PGRUM deve contenere la valutazione di clima acustico del sito (misure ante opera) e la valutazione previsionale per le attività rumorose prodotte, in particolare, atta a presentare idonea richiesta in deroga ai limiti al Sindaco, quando la rumorosità prodotta comporti il superamento dei limiti previsti nella classificazione acustica Comunale.

È questo il caso in esame, ove dalla valutazione previsionale, considerando la rumorosità dei macchinari impiegati (martelli demolitori, flex grandi, seghe circolari ed escavatori), le attività da svolgere (demolizione fabbricato e fondazioni, scavi, trivellazione, ecc) e la posizione dei ricettori più vicini (20 metri), evidenziano il superamento dei limiti della classe IV.

Per il comune di Napoli, i valori da rispettare per la deroga in facciata al ricettore sono:

- $S_1 = LeA_{q_{TL}} = 70$ dBA (riferito all'orario di apertura cantiere);
- $S_2 = LeA_{q_{SM}} = 90$ dBA (riferito al tempo di funzionamento di una macchina o di una singola Operazione rumorosa).

STAZIONE, E MODALITÀ DI MONITORAGGIO ACUSTICO DEL CANTIERE

Viene approntata una idonea stazione fissa di monitoraggio, impiegata, per tutta l'intera durata del cantiere, per monitorare e allertare in caso di eventuali superamenti delle citate soglie S_1 e S_2 . La stazione è dotata di: cavo prolunga microfonica, microfono per esterni, schermo antivento, sistema antipiccezione, e kit anti umidità (posto all'innesto del preamplificatore).

La stazione è stata opportunamente posizionata, sulla direttrice sorgente ricettore (R_1), un hotel, come già detto, distante solo 20 metri, dal manufatto da demolire.

Il fonometro è stato posto all'interno di un armadietto in polipropilene e metallo, dotato di chiusura in PVC con chiave e lastra infrangibile trasparente per l'ispezione. La stazione è fissata, mediante saldatura, su un palo metallico, con il microfono posto ad un'altezza di 4 metri.

L'armadietto è stato dotato di ventola di aereazione e doppie prese di corrente ermetiche, con cavo prolunga microfonica di 10 metri (fig. 3).

Per i dati meteo climatici, necessari per la validazione delle misure, ci si è avvalsi della più vicina centralina, della rete ufficiale dell'ARPAC: "NA Ferrovia".

Nel PGRUM vanno indicate, oltre al punto di installazione della stazione di misura, la posizione dei ricettori e le attività rumorose che si sono susseguite nella giornata (es. porzioni di fabbricato da abbattere), sono riportati anche i parametri e le modalità di monitoraggio acustico del cantiere quali:

- I valori di riferimento o soglia, e le procedure di allerta/allarme;
- I parametri da registrare ed indicare nei report giornalieri e la periodicità di consegna.



Fig. 3 - Stazione di monitoraggio acustico

REPORT GIORNALIERI

Oltre al sistema di allerta per il superamento delle soglie, viene realizzato per ogni giornata uno specifico report, contenente la descrizione delle attività svolte, la tipologia ed il posizionamento dei macchinari.

La frequenza di rilascio dei report dipende dalla rumorosità delle lavorazioni previste, essa varia a partire da una settimana per le attività di demolizione, fino al trimestre, per le opere di finitura.

Viene riportato a seguire il grafico 1, che evidenzia il profilo temporale della rumorosità del cantiere, registrato nell'intervallo 6:30 - 19:30, questo intervallo include tutte le lavorazioni svolte, che generalmente iniziano intorno alle 7:30 e finiscono alle 18:00, il cantiere non svolge attività rumorose nel periodo di riferimento notturno e nei festivi (raramente il sabato mattina).

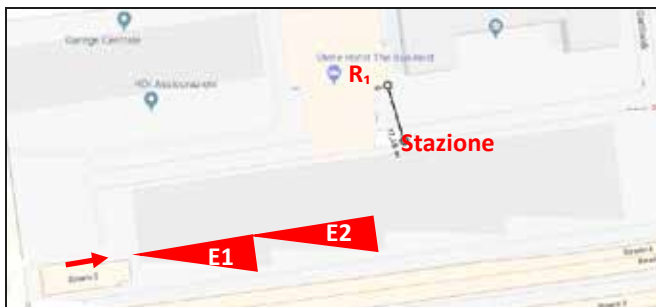


Fig. 4 - Porzioni di fabbricato demolite, ricettore e stazione di monitoraggio

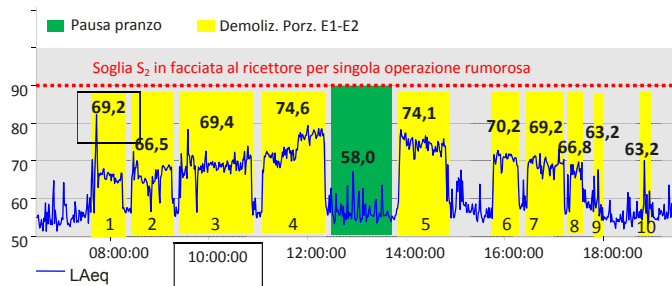


Grafico 1 –Report giornaliero fase demolizione- Time history Short LeAq (1 m)

I dati grafici vengono riportati anche in forma tabellare (tab. 1) al fine di conoscere nel dettaglio la durata degli eventi ed evidenziare con i dovuti correttivi (abbattimento dovuto alle barriere e alla distanza), il rispetto delle soglie in facciata al ricevitore R_1 .

I dati meteo climatici, necessari per la validazione delle misure, sono rilevati dalla vicina centralina NA Ferrovia dell'ARPAC. Le acquisizioni sono riportate come da tabella seguente, su base media oraria. In caso di pioggia o vento superiore ai 5 m/s, il rispettivo valore misurato viene sostituito dal valore medio giornaliero per la verifica del rispetto della soglia S_1 , relativa alla durata di apertura del cantiere.



Parametro	LAeq dBA Staz.e	Durata	Correttivo distanza R da Stazione (17 m)	Correz. Barriera perim.le	Soglie al ricettore
LeAq al ricettore riferito all'orario di apertura cantiere <u>Valore di soglia da rispettare: S₁=70 dBA</u>					
Evento complessivo	69,1	13:00	-4 dBA	- 5 dBA	< 70 dBA
LeAq al ricettore riferito al tempo di funzionamento di una macchina o di una singola Operazione rumorosa: Demolizione Porzioni E1-E2 del Fabbricato – <u>Valore si soglia da rispettare: S₂=90 dBA</u>					
Evento 1	69,2	0:40:	- 4 dBA	- 5 dBA	< 90 dBA
Evento 2	66,5	0:51:			< 90 dBA
Evento 3	69,4	1:29:			< 90 dBA
Evento 4	74,6	1:17:			< 90 dBA
Evento 5	74,1	1:05:			< 90 dBA
Evento 6	70,2	0:35:			< 90 dBA
Evento 7	69,2	0:47:			< 90 dBA
Evento 8	66,8	0:20:			< 90 dBA
Evento 9	63,2	0:06:			< 90 dBA
Evento 10	63,2	0:06:			< 90 dBA

Tab. 1 –Report giornaliero fase demolizione- tabella verifica soglie S₁/S₂

Orario	Direzione vento	Velocità Vento m/s	Pressione aria hPa	Pioggia mm	Temp. Aria°C	Umidità relativa %
07.00	225	1,27	1003,64	0	22,41	69,16
08.00	220	1,8	1003,94	0	23,72	65,63
09.00	211	2,02	1004,19	0	24,35	63,71
10.00	212	2,37	1004,49	0	24,82	58,65
11.00	214	2,6	1004,51	0	25,46	56,33
12.00	212	2,81	1004,65	0	26,29	55,72
13.00	214	3,09	1004,54	0	26,73	53,98
14.00	214	2,89	1004,44	0	27,17	54,61
15.00	212	2,38	1004,18	0	28,39	47,98
16.00	243	1,61	1003,99	0	28,4	45,68
17.00	227	1,61	1003,95	0	28,78	43,94
18.00	149	1,31	1003,59	0	28,4	47,95
19.00	283	1,21	1003,9	0	26,26	54

Tab. 2 –Report giornaliero dati meteo climatici

ALRI AMBITI DEL PGRUM

Nel PGRUM deve essere riportata anche la valutazione inerente la scelta dei macchinari meno rumorosi, le intraprese attività di formazione degli operatori di cantiere, e quelle relative alla strategia di comunicazione pubblica.

LA SCELTA DEI MACCHINARI

La scelta dei macchinari meno rumorosi è l'azione di mitigazione del rischio rumore, più efficace, perché agisce direttamente sulla sorgente. I vantaggi si ottengono sia per l'ambiente di lavoro sia ai ricettori. Il PGRUM deve riportare una tabella con l'elencazione dei macchinari scelti e, per ciascuno di essi l'indicazione della marca, del modello, dell'anno di fabbricazione, dei valori di potenza acustica e del costo del nolo e acquisto.

d-A2018

Per confronto, la tabella deve riportare, per ciascuno di essi, analoghi macchinari, aventi gli stessi requisiti prestazionali minimi, con la stessa serie di informazioni.

A seguire un estratto della tabella per la scelta di acquisto di una motosega a catena.

Rif	Marca	Mod.	Pot.	Ann o	*Potenza Acustica L _{WA} (dB) ±K dB	Costo €
1 ✓	Husqvama	371 XP	3,9 Kw	1999	110	1.049
2	Jonsered	CS 2165	3,4 Kw	2004	114	955
Δ L _{WA}		Δ costo	* Valori ISO 7182 Acoustics -- Measurement at the operator's position of airborne noise emitted by chain saws			
-4 dB		93,4 €				
Costo per dB		23,23€				

La scelta, ovviamente, è ricaduta sulla motosega marca Husqvama 371 XP, data la vantaggiosa differenza in dB, rispetto alla minima differenza di costo. Una scelta di macchinari con differenza in dB svantaggiosa, deve essere adeguatamente giustificata all'interno della tabella (es. differenza di costo incompatibile con il budget di commessa, indisponibilità del macchinario alternativo per i giorni di operatività del cantiere, ecc.).

FORMAZIONE DEGLI OPERATORI

Per prevenire il rumore è fondamentale la formazione degli operatori, al fine di istruirli in merito alle situazioni o scelte operative che possono incidere negativamente sul rumore. L'appaltatore deve prevedere una serie di attività di formazione degli operatori, con incontri e materiale formativo e con piano di audit per accertare che quanto indicato sia effettivamente rispettato.

Per il caso di studio, la formazione è stata necessaria per dare le istruzioni, relative a quanto prescritto nell'art.12 delle norme di attuazione del piano di Zonizzazione del Comune di Napoli, per il rilascio dell'autorizzazione in deroga per cantieri edili, stradali ed assimilabili. Ed in particolare:

- Quali lavorazioni sono più rumorose e quali no, orari permessi;

- Definizione dei percorsi e degli orari ottimali per il movimento dei mezzi in ingresso e uscita dai cantieri;
- Corretto montaggio delle mitigazioni e degli impianti fissi (motocompressori, betoniere, gruppi elettrogeni, ecc) per la loro opportuna collocazione in modo da risultare schermati rispetto agli edifici residenziali circostanti;
- Gestione della reazione dei ricettori, nelle situazioni di maggiore impatto.

Relativamente a questo ambito, il PGRUM lo stesso riporta una tabella con:

- Le finalità della formazione;
- I soggetti coinvolti nella formazione: ruoli e responsabilità;
- Le ore previste di formazione per ciascun soggetto;
- I soggetti responsabili dell'erogazione dell'attività formativa, compresi i loro curriculum, le competenze e eventuali certificazioni acquisite;
- Un piano di audit in cantiere per accertare che le informazioni trasmesse vengano realmente rispettate;
- Eventuali azioni che diano visibilità a chi, fra gli operatori di cantiere, *ha fatto scelte o ha avuto intuizioni* che hanno permesso di ridurre il rumore di macchine o attività.

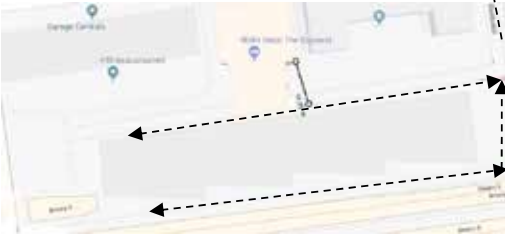
ESERCIZIO DI COMUNICAZIONE MINIMA DEL CANTIERE

Nella gestione del disturbo, generato dal cantiere, ai soggetti esposti, una corretta comunicazione assume considerevole importanza. Infatti, la conoscenza preventiva della tipologia di disturbo e della sua durata, può consentire una maggiore accettazione del disturbo stesso.

L'impresa deve prevedere l'esposizione di un cartello, in prossimità del cantiere e chiaramente visibile. Contenuto della comunicazione può essere qualsiasi ambito della gestione del rumore di cantiere: dalla stima previsionale ai rilievi, dalle mitigazioni alle strategie di miglioramento.

A seguire un esempio di cartello, impiegato nel caso di studio:

d-A2018

Progetto Definitivo (Del. CIPE 129/06)					
Oggetto dei lavori	Demolizione fabbricato OCA		Inizio Lavori	25 giugno 2018	
			Durata	6- mesi	
Appaltatore	Pincocostruzioni		Committente	Grandi Stazioni Spa	
Livelli di rumore massimo stimati	90 dBA	Le frecce indicano percorso carico/scarico macerie			
Distanza minima dai ricettori delle macchine rumorose	20 m	 <p>Il lato nord su corso meridionale risulta potenzialmente più disturbato.</p>			
Durata nel tempo dei livelli sonori massimi emessi dalle macchine, in relazione alle lavorazioni previste:					
Demolizione fabbricato OCA	1 mese 90 dBA	Bonifica bellica	2 mesi 80 dBA	Opere di finitura	3 mesi 75 dBA
Deroga limiti PZA prot. 4.03 dell'8 giugno 2018 Comune di Napoli					
Mail e cellulare per richieste informazioni lamentele@cantiere.it			345678901	Direttore dei lavori	Giuseppe di Paolo



CONCLUSIONI

Nel caso di studio, il PGRUM ha rappresentato un formidabile strumento per la pianificazione e gestione del rumore del cantiere. Infatti, la rumorosità del Cantiere è stata, prima di tutto, ridotta mediante un'adeguata formazione del personale, la scelta delle macchine e l'allestimento di apposite barriere, e poi monitorata e tenuta costantemente sotto controllo, allertando in caso di eventuali superamenti, gli addetti. Il risultato è quello di aver svolto una attività ad elevato impatto acustico, nel centro della città, quale la demolizione di un fabbricato, senza alcun conflitto e con un disagio ridotto per i ricettori esposti, grazie al loro coinvolgimento ed informazione, su tutti i principali ambiti del programma.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Testo definitivo UNI 11602830 – Acustica- Pianificazione e gestione del rumore di cantiere – Linee guida per il committente comprensive di istruzioni per l'appaltatore, 2018
- [2] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Linee Guida per il monitoraggio del rumore derivante dai cantieri di grandi opere, Manuali e linee Guida 101/2013.



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

I RISCHI DA AGENTI FISICI NEL SETTORE DELLA PESCA. LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE E VIBRAZIONI NEL SETTORE PESCA NELLE MARINERIE PUGLIESI

Caradonna Luigi ⁽¹⁾, Cervellati Massimo ⁽¹⁾, Mario Tavolaro ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ INAIL, Direzione Regionale Puglia

INTRODUZIONE

Il settore della pesca rappresenta in Puglia una delle principali attività economiche del territorio coinvolgendo un numero di imbarcazioni che incide per circa il 13% dell'intera flotta peschereccia Nazionale e impegnando più di 6000 addetti. Attualmente, la sicurezza della navigazione a livello nazionale è regolata dal D.P.R. n. 435/91 "*Regolamento per la sicurezza della navigazione e della vita umana in mare*" e dai Decreti Legislativi 271/99, 298/99, 272/99 (situazioni di interfaccia barca-terra) relativi alla tutela della salute e sicurezza dei lavoratori marittimi a bordo delle navi mercantili e da pesca, in attesa della emanazione di disposizioni che coordinano la disciplina recata dal D.lgs. 81/2008 con il settore della navigazione.

Tale vuoto normativo, senza dubbio, potrebbe portare a delle criticità in termini di: valutazione del rischio, adozione delle misure di prevenzione e protezione, fabbisogni formativi, sorveglianza sanitaria oltre che di definizione (da parte dell'INAIL) di tecnopatie rischio-correlate per il settore della pesca.

Quindi, l'INAIL (Direzione Regionale Puglia) ed Osservatorio Nazionale della Pesca (ONP) hanno dato vita al *Progetto Pesca Sicura*. Tale iniziativa, estesa alle principali marinerie della Regione Puglia, ha previsto nella sua articolazione la caratterizzazione, di diversi fattori di rischio sia di natura

infortunistica che tecnopatica fra cui il rischio relativo all'esposizione a rumore e vibrazioni a bordo delle imbarcazioni.

Le ipoacusie da rumore rappresentano una quota pari al 5% rispetto a tutte le patologie indennizzate dall'INAIL.

La principale fonte di rischio da rumore, a bordo delle imbarcazioni, è rappresentata dall'apparato di propulsione che garantisce la funzionalità in continuo di tutte le apparecchiature di bordo.

Inoltre, per tutto il tempo di permanenza a bordo nave, si realizza una esposizione continuativa al rumore che rappresenta un ulteriore fattore di rischio: infatti, una esposizione di 24 ore a 85 dB(A) corrisponde ad una esposizione di 8 ore a 90 dB(A) (1).

L'esposizione a vibrazioni, altro agente di rischio considerato, può essere causa di patologie e disturbi a carico del rachide presenti con maggior frequenza tra addetti al settore, anche se l'individuazione di modelli biomeccanici idonei alla definizione di criteri di valutazione del rischio non sono completamente esaustivi (2). L'esposizione a vibrazioni, anche se risultasse inferiore ai livelli di azione indicati dal D.lgs. 81/08, possono comunque costituire dei co-fattori di rischio muscolo-scheletrico per l'assunzione di posture incongrue e tensione muscolare forzata durante gli spostamenti e la movimentazione dei carichi (standard ISO 2631 - appendici C, D).

MATERIALI E METODI

Le indagini sono state condotte su imbarcazioni da pesca appartenenti alla marineria di Bari, Mola di Bari e Monopoli la cui tipologia di pesca effettuata era quella dello *strascico con divergenti*. I pescherecci, coinvolti in tali indagini, presentavano una stazza lorda minore di 20 TSL, una lunghezza minore di 24 metri e, tranne uno realizzato in metallo, erano costruiti tutti con scafi e ponti in legno.

L'esame del materiale multimediale (foto e filmati) e le informazioni raccolte sulle operazioni svolte a bordo hanno permesso di individuare nell'intero ciclo di lavorazione sei macrofasi che sono cicliche fra loro nel corso dell'intera battuta di pesca (fig. 1).

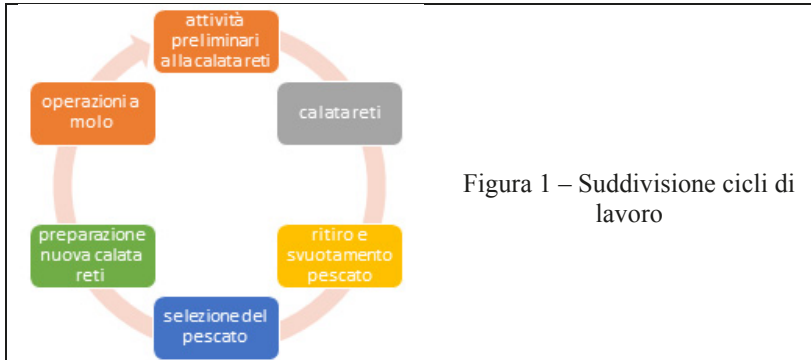


Figura 1 – Suddivisione cicli di lavoro

In tabella 1 sono riportate le varie tipologie di impegno lavorativo distribuito nell'arco dell'intera settimana.

<i>settimanale</i>	24 ore al giorno e per 5 giorni la settimana, (dalla mezzanotte della domenica alla mezzanotte del giovedì). Attività distribuite su turni di 4 ore di lavoro e 4 ore di riposo nell'arco delle 24 ore
<i>bi-giornaliero</i>	48 ore
<i>giornaliero</i>	per circa 16 ore

Tabella I – Orario di lavoro a bordo nave

Strumentazione utilizzata

Per le misure di rumore e vibrazioni al corpo intero, eseguite a bordo nave, è stata adoperata la seguente strumentazione di misura.

Per il rumore è stato utilizzato un analizzatore multicanale Svantek Modello 948, completo di microfono, preamplificatore, e software acquisizione/elaborazione Svan PC.

Per le vibrazioni al sistema corpo intero è stato analizzato un analizzatore multicanale Svantek Modello 948, completo di accelerometro triassiale Bruel & Kjaer 4322 per misure al corpo intero e software acquisizione/elaborazione Svan PC.

Per le misure di rumore si è fatto riferimento alle norme UNI 9432 ed alla UNI EN ISO 9612, mentre per le vibrazioni al sistema corpo intero è stata utilizzata la norma UNI ISO 2631-1.

Indagini svolte a bordo nave

Le misurazioni fonometriche sono state effettuate sia durante le fasi di navigazione che durante le attività di pesca incluse anche le fasi propedeutiche a tali attività. I rilievi sono stati eseguiti in varie zone delle imbarcazioni quali il ponte di poppa, la zona centrale del ponte, la sala macchine, l'interno della cabina di comando, la sala mensa/cucina e la zona

riposo delle cuccette nelle quali venivano svolte specifiche attività lavorative.

Le misurazioni delle vibrazioni al sistema corpo intero sono state effettuate, anch'esse, sia durante la normale navigazione per il raggiungimento della zona di pesca che per le attività di pesca compreso anche quelle complementari e propedeutiche ad esse. Anche in questo caso, i rilievi sono stati eseguiti in varie zone delle imbarcazioni quali il ponte di poppa, la zona centrale del ponte, la sala macchine, l'interno della cabina di comando, la sala mensa/cucina e la zona riposo delle cuccette.

Nella cabina di comando la misurazione delle vibrazioni al sistema corpo intero è stata eseguita durante l'attività di rientro in porto, sia in corrispondenza del sedile (ove presente) che sul pavimento della cabina.

Le postazioni e le attività individuate per le rilevazioni strumentali delle misure di rumore e delle vibrazioni al sistema corpo intero sono state concordate in fase di intervista al personale operante acquisendo anche i tempi di adibizione per ogni fase/attività lavorativa (tabella II).

Pos	Attività	Postazione di misura
1	Preparazione (attività propedeutica all'uscita dal porto)	Verricello
2	Uscita dal porto	Verricello
3	Traino reti	Verricello (sportello vano motore aperto)
4	Traino reti	Verricello (sportello vano motore chiuso)
5	Rientro in porto	Cabina di comando
6	Rientro in porto	Verricello e ponte scoperto
7	Traino reti	Ponte scoperto
8	Salpaggio reti	Verricello
9	Salpaggio reti	Cuccetta
10	Salpaggio reti	Vano motore

Tabella II – attività e postazioni di misura

RISULTATI

Nelle tabelle seguenti (Tabelle III e IV) si riportano, per ciascuna imbarcazione oggetto di misurazioni di rumore e vibrazioni al sistema corpo intero e per ciascuna mansione e postazione di misura, i valori di $L_{eq}(A)$ e di $A_w(\max)$ misurati con i relativi tempi di esposizione e valori di esposizione calcolati ($L_{EX,W}$ per il rumore e $A(8)$ per le vibrazioni al sistema corpo intero).



I livelli di esposizione settimanale al rumore ($L_{EX,W}$) individuati sono per la mansione di “*addetto pesca*” superiori al valore limite (87 dBA) e per la mansione di “*timoniere*” sono compresi fra il valore inferiore (80 dBA) e superiore di azione (85 dBA) (Tab.III).

In fase di misurazione di rumore e vibrazioni al sistema corpo intero, sono stati acquisiti anche i valori in frequenza. In particolare, per quanto riguarda il rumore, i valori sono stati acquisiti in bande di 1/3 di ottava da 20 Hz a 20000 Hz, il cui range corrisponde all’intervallo di udibilità dell’orecchio umano; per le vibrazioni al sistema corpo intero, i valori considerati sono quelli compresi nell’intervallo di frequenze da 0,5 Hz a 80 Hz. in accordo con la norma UNI ISO 2631-1 per la valutazione della salute e del benessere dei lavoratori.

Attività /postazione di misura	BARI/01			BARI/02			MOLA/04			MOLA/05			MONOPOLI/06		
	Leq(dBA)	Texp domenica (m)	Texp feriali (m)	Leq(dBA)	Texp domenica (m)	Texp feriali (m)	Leq(dBA)	Texp domenica (m)	Texp feriali (m)	Leq(dBA)	Texp domenica (m)	Texp feriali (m)	Leq(dBA)	Texp domenica (m)	Texp feriali (m)
1	83,2	10	10	84,0	10	10	80,8	10	10	77,2	10	10	78,6	10	10
2	85,9	60	30	93,9	60	30	86,8	60	30	83,3	60	30	85,2	60	30
3	88,8	200	180	92,3	200	180	88,7	200	180	88,2	200	180	92,1	200	180
4	85,3	-	-	88,8	-	-	85,7	-	-	84,7	-	-	84,0	-	-
5	81,7	-	-	81,2	-	-	79,0	-	-	78,8	-	-	79,4	-	-
6	84,2	60	30	86,5	60	30	87,2	60	30	86,5	60	30	85,0	60	30
7	90,6	270	260	88,9	270	260	82,4	270	260	84,8	270	260	85,3	270	260
8	85,0	120	120	85,8	120	120	85,7	120	120	84,4	120	120	87,2	120	120
9	76,8	120	90	78,8	120	90	77,6	120	90	74,2	120	90	70,5	120	90
10	106,3	-	-	109,7	-	-	108,1	-	-	106,3	-	-	107,4	-	-
$L_{EX,W}$ (dBA)	89,3			90,3			87,5			87,3			89,9		

Tabella III - esposizione al rumore – MANSIONE ADDETTO PESCA

I livelli di esposizione a vibrazione al corpo intero [A(8)] sia per la mansione di “*addetto pesca*” che per quella di “*timoniere*” sono inferiori al valore di azione ($0,5 \text{ m/s}^2$) (Tab.IV).

Attività postazioni e di misura	BARI/01		BARI/02		MOLA/04		MOLA/05		MONOPOLI/06	
	Aw(max)	T exp max ricorrente (m)	Aw(max)	T exp max ricorrente (m)	Aw(max)	T exp max ricorrente (m)	Aw(max)	T exp max ricorrente (m)	Aw (max)	T exp max ricorrente (m)
1	0,25	10	0,25	10	0,07	10	0,15	10	0,22	10
2	0,33	60	0,32	60	0,18	60	0,18	60	0,08	60
3	0,35	20	0,07	20	0,11	20	0,32	20	0,10	200
4	0,15	-	0,07	-	0,13	-	0,23	-	0,15	-
6	0,25	60	0,28	60	0,25	-	0,21	-	0,35	-
7	0,34	27	0,07	27	0,23	-	0,11	-	0,12	-
8	0,24	12	0,08	12	0,11	12	0,43	12	0,41	120
9	0,27	12	0,35	12	0,27	12	0,20	12	0,10	120
A(8) (m/s²)	0,41		0,25		0,26		0,34		0,27	

Tabella IV - esposizione alle vibrazioni al corpo intero – MANSIONE
ADDETTO PESCA

L'analisi in frequenza di rumore e vibrazioni per pescherecci analizzati e relativa alla specifica fase di uscita dal porto ritenuta rappresentativa delle varie situazioni a bordo nave è rappresentata rispettivamente nei grafici 1 e 2.

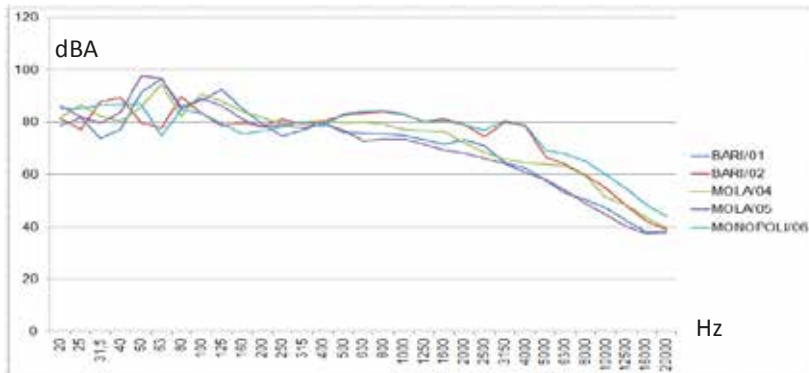


Grafico 1 - Analisi in frequenza del rumore (20Hz-20000Hz) rilevati durante la fase di "uscita dal porto"

Dal grafico 1 si evince che i valori di rumore più elevati sono concentrati intorno ai 63 Hz. Tale frequenza è imputabile al funzionamento del motore ed in particolare al suo regime di rotazione; si nota inoltre un sensibile decadimento dei livelli di rumore tra gli 800 ed i 20000 Hz.

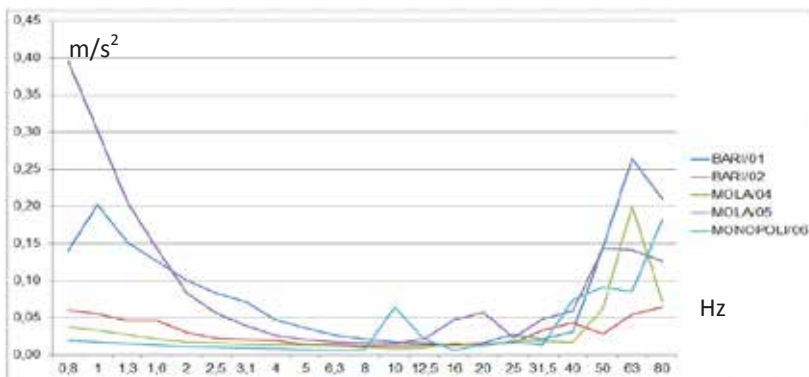


Grafico 2 - Analisi in frequenza delle vibrazioni al sistema corpo intero (0.8 Hz – 80 Hz) rilevati durante la fase "uscita dal porto"

Dal grafico 2 si evince come i valori più importanti delle vibrazioni trasmesse al sistema corpo intero siano concentrati intorno a 0,8 Hz ed a 63 Hz. Quelle alla bassa frequenza di 0,8 Hz sono imputabili al moto ondoso, mentre quelle alla frequenza di 63 Hz, sono imputabili al funzionamento del motore ed in particolare al suo regime di rotazione.

Esposizione a rumore con componenti in bassa frequenza

Come è possibile evidenziare nel grafico 1 e nelle tabelle 1, 2 e 3, i valori di rumore più elevati sono concentrati intorno alla frequenza di 63 Hz. Tale frequenza è imputabile al funzionamento del motore ed in particolare al suo regime di rotazione; si nota inoltre un sensibile decadimento dei livelli di rumore tra gli 800 ed i 20000 Hz.

Frequenze	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125
BARI/01	77,3	77,1	73,3	79,7	92,3	97,2	84,7	84,9	89,4
BARI/02	68,5	79,8	81,5	78,3	97,7	85,9	83,8	93,1	85,0
MOLA/04	78,4	78,3	73,4	93,8	89,0	85,4	83,4	80,7	82,4
MOLA/05	79,5	68,3	76,5	75,0	81,4	104,9	94,3	88,2	81,3
MONOPOLI/06	72,2	83,3	79,0	84,2	84,3	85,3	81,9	82,9	79,8
MOLFETTA/08	92,6	86,9	73	78,3	87	88,5	88,5	85,2	85,9
MOLFETTA/09	75,8	78,8	82,7	80,6	80,6	81,9	77	88,2	86,2
TARANTO/12	72,6	72,9	74,5	83,5	87,1	91,7	84,1	81,5	76,1

Tabella V - Traino reti/ponte scoperto

Frequenze	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125
BARI/01	60,5	62,5	78,0	78,6	76,1	85,2	74,8	76,3	71,9
BARI/02	76,4	76,3	88,4	83,0	79,5	80,9	79,9	79,9	73,3
MOLA/04	67,7	69,7	74,4	73,5	76,6	90,0	88,9	89,1	79,6
MOLA/05	72,0	70,7	84,2	92,5	80,7	79,5	85,3	79,4	78,2
MONOPOLI/06	68,3	74,9	93,2	82,7	71,5	66,2	72,1	72,9	67,8
MOLFETTA/08	90,6	98	82,9	87,4	87,5	87,1	91,9	87,9	85,2
MOLFETTA/09	75	78,5	80,7	78,9	79,7	78,9	81,8	94,5	80,4
TARANTO/10	60,3	65,7	88,6	80	77,9	78,6	72,8	75,7	75,5
TARANTO/12	77,9	78,6	77,6	78,5	88,9	87,9	84,7	85,3	83,2

Tabella VI – Attività di preparazione/verricello



Frequenze	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125
BARI/01	76,1	71,2	71,5	84,2	87,3	93,1	82,4	79,9	80,1
BARI/02	66,0	81,1	77,8	68,9	78,2	79,6	89,5	87,0	84,8
MOLA/04	79,3	76,0	79,2	76,0	85,6	91,5	85,7	91,5	84,0
MOLA/05	75,5	79,9	93,3	90,8	78,7	80,2	81,8	77,9	76,9
MONOPOLI/06	72,8	87,7	96,9	81,8	72,9	70,9	70,8	73,5	68,7
MOLFETTA/08	86,8	89,5	87,5	86,6	91,3	89,3	88,6	84	81,2
MOLFETTA/09	86,9	88,3	88	80,7	80,9	73,7	75,4	77,8	74,7
TARANTO/10	NO								

Tabella VII –Salpaggio reti/cucetta

Le componenti a bassa frequenza, associate ad una costante esposizione al rumore, potrebbero dar luogo ad effetti lesivi a carico non solo dell'apparato cocleo-vestibolare, ma anche dell'apparato cardiaco, vascolare e gastrico oltre che a disturbi del sonno (effetti extra-uditivi).

Quindi il rischio rumore, nella pesca, si esprime:

1. Per patologie “**cosiddette occupazionali**” come l'ipoacusia da rumore caratterizzata da diretta estrinsecazione sull'organo bersaglio con alta plausibilità biologica e con effetti deterministici dosi dipendenti e relazione lineare;
2. Con effetti e danni sulla salute che si estrinsecano verso le “**patologie lavoro correlate multifattoriali**” prive di precise stigmate biologiche come le patologie cardiovascolari, dell'apparato digerente, ed alterazioni della sfera psichica oltre che a disturbi del sonno per la componente sulle basse frequenze.

Per quanto attiene le patologie vascolari e tra queste soprattutto l'ipertensione, i meccanismi patogenetici vengono ricondotti a processi di vasocostrizione ed a interferenza dell'asse ipotalamo ipofisario con aumento dell'incremento di cortisolo e catecolamine e maggiore attivazione della soglia di allarme.

La plausibilità biologica è decisamente più bassa per le patologie gastroenteriche come gastriti, esofagiti e duodenite dove il meccanismo patogenetico è rappresentato da un maggiore stimolo sulle cellule della parete gastriche nella produzione di acido cloridrico, anche se l'esposizione a rumore produce un aumento della secrezione salivare e gastrica (3)

Attraverso la somministrazione di questionari su di un campione di 70 operatori con una età media di 49 anni ed un'anzianità lavorativa media di 28 anni ed appartenenti alle marinerie coinvolte nel progetto INAIL/ONP, denominato “Pesca Sicura”, sono state raccolte informazioni sulla percezione del rischio lavorativo e sulla autopercezione delle condizioni di salute. L'analisi dei questionari ha evidenziato che dopo le patologie osteoarticolari (42%) la seconda patologia dichiarata è quella riconducibile a

patologie cardio-vascolari ed ipertensive (18% il totale di cui il 7% attribuibile ad ipertensione) come riportato nel grafico III.

Da quanto sopra esposto se venissero effettuate le indagini fonometriche anche in bande frequenza si potrebbe determinare sia una più accurata valutazione della esposizione a rischio rumore sia una più accurata adozione di misure di protezione attraverso l'individuazione di otoprotettori che vadano ad agire in maniera selettiva sulle componenti di rumore in bassa frequenza, ad esempio, attraverso l'utilizzazione della scelta dell'otoprotettore con il metodo Salvendy, 2012 (4).

La percezione dello stato di salute dei lavoratori, raccolta attraverso la somministrazione dei questionari, rileva quindi la presenza di patologie che in letteratura scientifica sono messe in relazione alla esposizione a rumore in bassa frequenza (3, 5). Questo dato risente, sicuramente, delle limitazioni legate alla esiguità del campione esaminato ed alla percezione soggettiva delle condizioni di salute per cui potrebbe rivestire particolare importanza, più che per l'associazione agli effetti extrauditivi, per una individuazione di un protocollo di sorveglianza sanitaria.

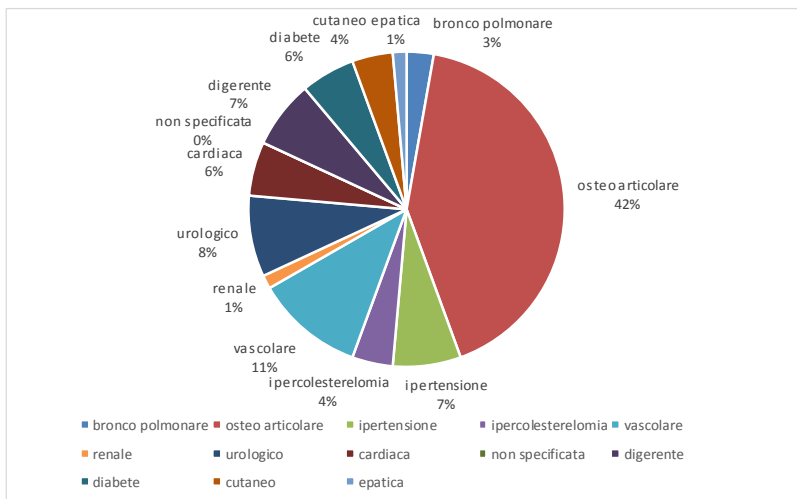


Grafico 3 – Autopercezione dello stato di salute

CONCLUSIONI

Le indagini di esposizione a rumore e vibrazioni sono state effettuate su imbarcazioni che svolgono la loro attività di pesca nell'Adriatico Meridionale con uscite in mare di durata variabile da cinque giorni consecutivi a due giorni oppure di un solo giorno, per cui l'esposizione al

rumore ed alle vibrazioni può durare in maniera consecutiva dalle 24/die alle 16 ore/die.

I livelli di esposizione al rumore emersi, come stabiliti dal D.lgs. 81/08, sono stati superiori al valore limite di $L_{ex,8}$ 87 dB(A) per la mansione di addetto pesca, mentre compresi tra i due valori di azione, $L_{ex,8}$ 80 dB(A) (valore inferiore di azione) e $L_{ex,8}$ 85 dB(A) (valore superiore di azione) per la mansione di timoniere.

Altresì, è stato registrato che il rumore, a cui sono esposti gli operatori a bordo nave, è costituito da componenti tonali in bassa frequenza (< 2000 Hz) in contrapposizione a quello che solitamente viene misurato nelle attività industriali (6, 7).

Quindi, oltre che considerare l'esposizione al rumore solo da un punto di vista "quantitativo", qualitativamente, le componenti a bassa frequenza associate ad una costante esposizione al rumore, potrebbero dar luogo ad effetti lesivi a carico non solo dell'apparato cocleo-vestibolare, ma anche dell'apparato cardiaco, vascolare e gastrico oltre che a disturbi del sonno (effetti extra-uditivi).

I lavoratori marittimi sono più suscettibili all'insorgenza di ipoacusia (maggiormente rappresentata nella categoria specifica) anche a causa di patologie infiammatorie ed infettive delle prime vie aeree e dei seni nasali conseguenti a fattori macroclimatici (umidità, vento e temperature basse) ovvero di patologie del distretto cardiocircolatorio (vasculopatie periferiche ed ipertensione arteriosa che rappresentano sicure co-morbilità nel determinismo del danno uditivo).

I valori di esposizione giornalieri A(8) alle vibrazioni al sistema corpo intero, per ogni peschereccio esaminato e per ciascuna mansione eseguita a bordo, sono risultati tutti inferiori al valore di azione di $0,5 \text{ m/s}^2$ stabilito dal D.lgs. 81/08. Inoltre, è stato rilevato che le frequenze più elevate delle vibrazioni misurate nei diversi pescherecci e nelle diverse postazioni di misura sono mediamente concentrate negli intorni degli 1-2 Hz, 80 Hz e 800 Hz. Si precisa che la norma UNI EN ISO 2631-1 "Valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse al corpo intero" considera, quale intervallo di frequenze da attenzionare per la tutela della salute e del benessere dei lavoratori, quelle comprese nell'intervallo 0.5-80 Hz, in quanto la sensibilità dell'uomo alle vibrazioni, al di sopra di tale intervallo, diminuisce drasticamente all'aumentare della frequenza.

I risultati sono paragonabili con i dati di letteratura che riportano livelli di vibrazioni misurati su pescherecci in relazione alle condizioni del mare e delle differenti tipologie di imbarcazione e postazioni di lavoro (8).

Sui pescherecci, sia durante l'attività lavorativa che quella negli ambienti di vita, si ha una continua esposizione alle vibrazioni. Anche se queste non superano il valore limite 0,5 A (8) previsto dal D.Lgs. 81/08, ciò provoca una continua tensione muscolo-tendinea e l'assunzione di posture incongrue



d=A2018

per il mantenimento dell'equilibrio durante la movimentazione dei carichi e gli spostamenti a bordo nave. Questo determina su tutti i distretti articolari e soprattutto a livello dei dischi intervertebrali un aumento delle forze di compressione (9, 10).

Premesso che sia opportuno estendere le indagini ad un campione di imbarcazioni maggiori anche attrezzate con armamenti diversi di pesca, questi primi dati possono essere considerati un primo valido contributo per la valutazione di questi rischi specifici a bordo nave, per l'adozione di idonee misure di prevenzione e protezione, per l'INAIL nella correlazione tra tecnopatie e rischi lavorativi e per i medici competenti l'adozione di adeguati protocolli di sorveglianza sanitaria. Sviluppi futuri potranno consistere nell'individuazione di idonee soluzioni tecniche da poter adottare in fase di ristrutturazione/manutenzione dell'imbarcazione stessa come anche in fase progettuale al fine di ridurre il rischio da rumore e vibrazioni associate alle attività di pesca.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Jegaden D. Noise. Textbook of Maritime Medicine, second edition 2013. Norwegian Centre for Maritime Medicine, 2013.
- [2]. ISO 2631-1 (1997) “Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Parte 1: General requirements”.
- [3]. Albera R., Bin I., Cena M., Dagna F., Giordano P., Sammartano A.. Gli effetti extra-uditivi del rumore. *G Ital Med Lav Erg* 2011; 33:3, 345-347.
- [4]. Salvendy, G.. Handbook of Human Factors and Ergonomics. John Wiley & Sons, New Jersey, 1752 pp. , 2012.
- [5]. Tomei G., Anzani M.F., Casale T., Tomei Fa., Piccoli F., Cerratti D, Paolucci M., Filippelli C., Fioravanti M., Tomei Fr.. Effetti extrauditivi del rumore. *G Ital Med Lav Erg*; 31:1, 37-48, 2009.
- [6]. Peretti A., Nataletti P., Bonfiglio P., Di Bisceglie A.P.. Rumore nei battelli da pesca. *G Ital Med Lav Erg*; 35:4, 215-218, 2013.
- [7]. Reinhold K., Kalle S. and Paju J.. Exposure to high or low frequency noise at workplaces: differences between assessment, health complaints and implementation of adequate personal protective equipment. *Agronomy Research*; 12(3), 895–906, 2014.
- [8]. Pinto I., Stacchini N.. Il rischio vibrazioni nelle attività marittime e portuali. *G Ital Med Lav Erg*; 35:4, 211-214, 2013.
- [9]. Törner M, Blide G, Eriksson H, Kadefors R, Petersén I. Musculoskeletal symptoms as related to working conditions among Swedish professional fishermen. *Applied Ergonomics*; 19 (3):191-201, 1988.
- [10]. Törner M, Almstrom C, Kadefors R, Karlsson R. Working on a moving surface - a biomechanical analysis of musculoskeletal load due to ship motions in combinations with work. *Ergonomics*; 37(2): 345-62, 1994.



I rischi fisici nei luoghi di lavoro

ANALISI DEGLI INTERVENTI DI VIGILANZA DELLE ASL DELLE REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA IN MATERIA DI RISCHIO RUMORE E VIBRAZIONI, NEI COMPARTI A MAGGIOR RISCHIO

Silvia Goldoni (1), Nino Della Vecchia (1), Antonio Santarpia (1), Silvana Gatti (2), Marco Gatti (2), Francesco Demontis (2), Alessandra Figini (2)

(1) Azienda USL di Modena – Dipartimento di Sanità Pubblica – S.P.S.A.L.

(2) ASL 4 Sistema Sanitario Regione Liguria (ex ASL 4 Chiavarese) – Dipartimento di Prevenzione – S.C. P.S.A.L

1. PREMESSA

La lotta agli infortuni e alle malattie professionali è un impegno prioritario che l'Italia è chiamata a perseguire nell'ambito delle strategie comunitarie. Come evidenziato anche dal Piano Nazionale della Prevenzione 2014-2108, in Italia si è assistito alla diminuzione del numero complessivo degli infortuni, a fronte di un incremento delle denunce di sospette malattie professionali. Tale aumento non è attribuibile al peggioramento delle condizioni lavorative (al contrario il contesto economico si va sempre più ammodernando in termini di sicurezza del lavoro), ma può essere ricondotto agli effetti di campagne di sensibilizzazione e accrescimento della consapevolezza dei rischi lavorativi, di adeguamenti normativi e di azioni di vigilanza. In proposito, il sistema istituzionale delineato dal “testo unico” attribuisce alle amministrazioni pubbliche (Regioni e Ministeri, con l'apporto dell'INAIL) le attività in materia di salute e sicurezza sul lavoro. L'obiettivo è innanzitutto quello di rendere maggiormente efficace l'azione pubblica per il miglioramento dei livelli di tutela dei lavoratori: tale azione



non è meramente sanzionatoria e repressiva, piuttosto rappresenta uno strumento per la costruzione di conoscenza e di una moderna cultura della prevenzione e della sicurezza, condivisa all'interno degli ambienti di lavoro nel comune interesse dei lavoratori e delle imprese. La programmazione e la realizzazione delle attività di prevenzione su base territoriale, tiene conto sia delle indicazioni strategiche contenute negli atti di indirizzo nazionali, che dei bisogni emergenti dai singoli territori regionali; oltre ad esigenze di conoscenza, di programmazione e di pianificazione, non si può prescindere dalla valutazione dell'efficacia delle stesse attività di prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali.

Nell'ambito del Bando Ricerche in Collaborazione (BRiC) - Piano Attività di Ricerca 2016-2018, le Regioni Emilia Romagna, Toscana e Liguria, unitamente all'Università degli Studi di Bologna – Facoltà di Ingegneria – Dipartimento di Ingegneria Industriale – Area Fisica Tecnica, hanno presentato un progetto che si pone come obiettivo la valutazione della efficacia dell'attività ispettiva condotta dagli organi di vigilanza preposti, anche al fine di proporre metodologie uniformi di conduzione dell'attività ispettiva e di strumenti di conoscenza e prevenzione in materia di rumore e vibrazioni, da rendere disponibili inoltre alle parti sociali.

Il progetto è articolato in varie fasi, la prima delle quali consiste nel censimento di:

- interventi ispettivi condotti in materia di rischio rumore e rischio vibrazioni da parte delle aziende USL coinvolte, e relativi verbali di prescrizione e di disposizione rilasciati;
- interventi di bonifica attuati dalle aziende.

In seconda battuta il progetto prevede la valutazione dell'impatto degli interventi ispettivi censiti in termini di:

- riduzione dei livelli di esposizione dei lavoratori a rumore e a vibrazioni (anche attraverso la esecuzione di misure da parte delle ASL coinvolte);
- riduzione del numero di lavoratori esposti a rumore e vibrazione;
- peggioramento delle condizioni di salute dei lavoratori (nuovi casi di ipoacusia o altre sindromi collegabili alle vibrazioni);
- nuove denunce di malattie professionali collegabili a esposizione a rumore o vibrazioni;
- costi sostenuti dalle aziende per interventi di bonifica.

La prima fase del progetto è essenziale al fine di definire uno strumento che dia criteri di vigilanza uniformi agli operatori addetti, utilizzabile anche da parte delle imprese per l'autovalutazione; il censimento è utile inoltre ai fini della programmazione di nuovi interventi di vigilanza nei comparti a maggior rischio.



2. MATERIALI E METODI

Nella prima parte del progetto è stato effettuato un censimento di tutti gli interventi di vigilanza in materia di rischio rumore e vibrazioni e dei relativi atti prescrittivi e dispositivi.

Le fonti informative utilizzate per il censimento e la valutazione dei suddetti interventi ispettivi sono le seguenti:

- Sistemi informativi ed archivi delle aziende USL coinvolte,
- Verbali di prescrizione e di disposizione rilasciati dagli Ufficiali di Polizia Giudiziaria,
- Dati derivanti da campagne di misure di rumore e di vibrazioni nelle aziende oggetto di vigilanza,
- Documenti di valutazione del rischio da agenti fisici (rumore e vibrazione) acquisiti presso le aziende,
- Dati derivanti dagli allegati 3B e dalle denunce di malattie professionali.

Per quanto riguarda la Regione Emilia Romagna, ai fini del censimento previsto dal progetto BRIC, sono state coinvolte tutte le Aziende USL, con i seguenti risultati:

- Modena e Bologna hanno partecipato al progetto effettuando il censimento degli interventi ispettivi in materia di rischi fisici eseguiti tra il 2007 e il 2016;
- le AUSL di Ferrara, Parma e Piacenza hanno risposto che da circa un decennio non vengono effettuati interventi di vigilanza in materia di rischi fisici programmati nell'ambito di specifici piani di vigilanza;
- le altre AUSL non hanno risposto.

Per quanto riguarda la Regione Liguria, ai fini del censimento previsto dal progetto BRIC, sono state coinvolte tutte le Aziende USL, con i seguenti risultati:

- ASL 4 Chiavarese ha partecipato al progetto effettuando il censimento degli interventi ispettivi in materia di rischi fisici;
- ASL 1 Imperiese ha risposto fornendo i risultati relativi a solo due interventi ispettivi;
- ASL 3 Genovese e ASL 5 Spezzina non dispongono dell'informazione circa le attività di vigilanza e controllo relative agli agenti fisici, per vari motivi legati al sistema di archiviazione e gestione dell'attività ispettiva;
- ASL 2 Savonese non ha risposto.

Di seguito sono descritte le modalità del censimento distinte tra:

- AUSL di Modena e AUSL di Bologna per la Regione Emilia Romagna;
- ASL 4 Chiavarese per la Regione Liguria.



2.1 AUSL DI MODENA

CENSIMENTO DEI DATI DELL'ATTIVITÀ DI VIGILANZA IN MATERIA DI RUMORE E VIBRAZIONI.

La gestione di tutti i dati relativa all'attività ispettiva della provincia di Modena viene gestita da un programma gestionale denominato "GASP", in cui ciascun operatore inserisce i dati inerenti l'attività di vigilanza. In particolare nell'applicativo vengono registrati sia i dati delle ditte oggetto di ispezione che l'oggetto dell'intervento, ovvero vigilanza in edilizia piuttosto che in materia di agenti chimici o agenti fisici ecc.

La registrazione dei dati nell'applicativo è finalizzata anche alla rendicontazione annuale alla Regione dell'attività svolta dal Servizio PSAL. Fino all'anno 2012 l'applicativo utilizzato per la registrazione della attività di vigilanza è GASP, mentre a partire dal 2013 è stata introdotta una versione avanzata dell'applicativo denominata GASP NEXT, con la quale sono stati modificati alcuni parametri di registrazione dei dati.

Ovviamente nel nuovo database GASP NEXT sono stati trasferiti i dati contenuti nel precedente database di GASP.

Il reperimento di dati "uniformi" necessari per il censimento ha comportato alcune difficoltà poiché:

1. c'è stato il passaggio da un sistema di registrazione (GASP) ad un altro (GASP NEXT) che ha comportato la rendicontazione di informazioni diverse (in linea generale più complete con l'applicativo GASP NEXT);
2. negli anni è stata modificata la pianificazione della attività di vigilanza dello SPSAL in materia di rischi fisici, con la conseguente diversa denominazione dei piani di vigilanza specifici: in particolare dal 2007 fino al 2013 erano identificati il Piano *Rumore Aziende ad Elevato Rischio* ed il Piano *Vibrazioni*, mentre dal 2014 esiste un unico Piano *Rischi Fisici* nell'ambito del quale, per distinguere la tipologia di agente fisico controllato, l'operatore deve inserire nel database l'informazione *controllo rumore* oppure *controllo vibrazioni*, ecc. Tuttavia non sempre gli operatori hanno registrato in modo completo le informazioni, in particolare è stata spesso omessa l'indicazione del tipo controllo effettuato, per cui esiste un numero significativo di ispezioni registrate sul Piano *Rischi Fisici* per le quali non è possibile dedurre dal database quale agente fisico è stato controllato.

Al fine di poter ripetere la ricerca dei dati sono state codificate le modalità di estrazione per i due periodi 2007-2013 e 2013-2016.



2.1.1 CENSIMENTO MALATTIE PROFESSIONALI CONNESSE A ESPOSIZIONE A RUMORE E VIBRAZIONI.

Per quanto attiene le malattie professionali, sono stati utilizzati i dati in possesso dei Servizi di Prevenzione Sicurezza Ambienti di Lavoro (SPSAL) dell'Azienda USL di Modena. La fonte dei dati presentati è costituita dalle denunce delle MP, redatte ai sensi dell'art. 139 del DPR 1124/65, e dai referti di MP stilati ai sensi degli artt. 365 CP e 334 CPP, che tutti i medici sono tenuti ad inviare ai SPSAL competenti per territorio.

Queste segnalazioni alimentano un sistema informativo nazionale di rilevazione delle MP, attivato dal 2000 con la collaborazione di alcune Regioni e INAIL-Ricerca, per la raccolta e analisi dei dati denominato "MALPROF". La Regione Emilia Romagna (RER) dal 2005 ha aderito a tale sistema di sorveglianza nazionale dei danni da lavoro, oggetto di ricerca anche da parte del Centro Nazionale per la Prevenzione e il Controllo delle Malattie (CCM) e del Coordinamento delle Regioni ed inserito nel DPCM 17/12/2007.

Il sistema di sorveglianza MALPROF, complementare al sistema informativo INAIL, ha come principale obiettivo la registrazione delle patologie correlate al lavoro segnalate ai Servizi delle ASL, attribuendo il nesso di causa tra esposizione e malattia secondo criteri omogenei, e producendo informazioni utili alla prevenzione ed al controllo delle malattie professionali. Il monitoraggio e la descrizione delle malattie professionali segnalate permette, in base alle informazioni ricevute e alla conoscenza del territorio, di attribuire in modo attendibile un nesso di causalità con l'attività lavorativa.

2.1.2 CENSIMENTO DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA ATTUATI DALLE AZIENDE.

I dati inerenti numero e caratteristiche delle bonifiche attuate dalle aziende a seguito di intervento di vigilanza non sono facilmente reperibili, in quanto nessuno dei due database usati nell'ultimo decennio dall'Azienda USL di Modena ne prevede la registrazione; inoltre non essendo stata codificata sino ad ora una lista di controllo sulla vigilanza in tema di rumore, molti dei dati raccolti dagli ispettori sotto forma di appunti, sono a distanza di tempo difficilmente decifrabili.

Visto quanto sopra, per rendicontare i dati riguardanti le bonifiche si è dovuto quindi far ricorso sia alla memoria storica degli operatori che trattano o trattavano i rischi fisici, che all'analisi dell'archivio cartaceo ed informatico, con conseguente probabile sottostima del reale numero di bonifiche attuate.



2.2 AUSL DI BOLOGNA

CENSIMENTO DEI DATI DELL'ATTIVITÀ DI VIGILANZA IN MATERIA DI RUMORE E VIBRAZIONI.

La gestione di tutti i dati relativi all'attività ispettiva della AUSL di Bologna viene gestita da un programma denominato AVELCO nel quale ciascun operatore inserisce la propria attività a partire dal 2010. In precedenza veniva utilizzato un altro applicativo denominato ASPNET. In tali applicativi vengono registrati sia i dati delle ditte oggetto di ispezione che l'oggetto dell'intervento (sopralluogo ispettivo, procedimenti 758, malattie professionali etc.) ed il motivo dello stesso (piano, tipo di piano, domanda etc). Per gli anni 2007-2009 si sono utilizzate come fonti anche le schede SPSAL4 della relazione annuale inviata annualmente in regione.

2.2.1 CENSIMENTO MALATTIE PROFESSIONALI CONNESSE A ESPOSIZIONE A RUMORE E VIBRAZIONI.

Anche le segnalazioni/denunce di malattia professionale che pervengono al servizio vengono registrate sugli applicativi a partire dal 2010. Per gli anni precedenti i dati sono stati ricavati dalla scheda SPSAL 9 della relazione annuale inviata in Regione.

2.2.2 CENSIMENTO DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA ATTUATI DALLE AZIENDE.

Non sono disponibili dati per il periodo 2007-2016.

2.3 ASL 4 CHIAVARESE

CENSIMENTO DEI DATI DELL'ATTIVITÀ DI VIGILANZA IN MATERIA DI RUMORE E VIBRAZIONI.

La gestione dei dati relativi all'attività ispettiva dell'ASL4 – Sistema Sanitario Regione Liguria (ex “ASL 4 Chiavarese”) è realizzata in parte dalla banca dati informatica denominata “GIPSY” (Gestione Informatizzata Prevenzione Sicurezza versione y) a partire dall'anno 2000 dove gli operatori inseriscono i dati relativi all'attività del servizio.

Tale sistema comprende un'anagrafe delle ditte del territorio e i vari archivi di dettaglio (“pratiche”, sopralluoghi, infortuni, malattie professionali, sommarie informazioni, verbali di prescrizione, disposizione, diffida, verifica e illecito amministrativo, ecc.) tutti posti in relazione tra loro in modo da ricostruire in tempo reale la situazione di ogni intervento o ditta.

Dal 1980 al 2000 tutta l'attività è stata rendicontata con archivio cartaceo.

Nel corso degli anni il sistema è stato adattato al cambiamento delle normative e delle esigenze di gestione dell'attività modificando le modalità di accesso ai vari archivi (privilegi di accesso diversi in base alla tipologia di operatore), integrando alcuni settori in base a nuove competenze subentrate nel frattempo (per esempio la vigilanza sul settore estrattivo) e creando un



percorso semi automatizzato di estrazione dei dati da rendicontare alla Regione ed alla ASL stessa per il processo di Budget.

Al fine di reperire i dati necessari a questo progetto si è utilizzato tale sistema di estrazione dei dati procedendo a conteggiare poi solamente le parti di interesse per BRIC.

2.3.1 CENSIMENTO MALATTIE PROFESSIONALI CONNESSE A ESPOSIZIONE A RUMORE E VIBRAZIONI.

I dati sono estratti dai “Flussi informativi dell’INAIL” [2].

2.3.2 CENSIMENTO DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA ATTUATI DALLE AZIENDE.

Non sono disponibili dati per il periodo 2007-2016.

3. RISULTATI

Di seguito sono riportati gli esiti del censimento distinti tra:

- AUSL di Modena e AUSL di Bologna per la Regione Emilia Romagna;
- ASL 4 Chiavarese, Asl 1 Imperiese, Asl, 2 Savonese, Asl3 Genovese e Asl 5 Spezzina per la Regione Liguria.

3.1 AUSL DI MODENA

I risultati del censimento dei dati dell'attività di vigilanza in materia di rumore e vibrazioni condotta nel periodo 2007-2016 sono riportati nelle tabelle 1 – 2 – 3 sottostanti.

RUMORE			
Anno	N° Sopralluoghi	N° Verbali Di Prescrizione	N° Verbali Di Disposizione
2007	33	15	5
2008	42	13	6
2009	85	22	4
2010	73	16	4
2011	56	15	5
2012	43	14	7
2013	29	12	3
Totale	361	107	34
Media annua	51,57	15,28	4,85

Tabella 1 – Interventi ispettivi in materia di Rumore: sopralluoghi eseguiti e atti di prescrizione/disposizione periodo 2007-2013 (sistema informativo GASP)



VIBRAZIONI			
Anno	N° Sopralluoghi	N° Verbali Di Prescrizione	N° Verbali Di Disposizione
2007	31	13	2
2008	46	11	2
2009	50	7	3
2010	47	4	1
2011	29	5	8
2012	21	6	2
2013	24	5	2
Totale	248	51	20
Media annua	35,42	7,28	2,85

Tabella 2 – Interventi ispettivi in materia di Vibrazioni: sopralluoghi eseguiti e atti di prescrizione/disposizione periodo 2007-2013 (sistema informativo GASP).

RISCHI FISICI					
Anno	N° Soprall. rumore	N° Soprall. vibrazioni	N° Soprall. Altri rischi fisici	N° Verbali Di Disposizione	N° Verbali Di Prescrizione
2014	12	14	65	23	6
2015	23	10	31	13	3
2016	24	4	43	13	3
Totale	59	28	139	49	12
Media annua	19,66	9,33	46,33	16,33	4

Tabella 3 – Interventi ispettivi in materia di Rischi Fisici: sopralluoghi eseguiti e atti di prescrizione/disposizione periodo 2014-2016 (sistema informativo GASP NEXT).

Il censimento delle violazioni contestate con verbali di prescrizione in materia di rumore e vibrazioni è riportato nella tabella 4.



Si precisa che dal 2007 al 2013 è stato possibile suddividere le violazioni impartite nel caso di vigilanza sul piano rumore e sul piano vibrazioni, mentre dal 2014 non è stato possibile fare tale suddivisione in quanto il piano di vigilanza sui rischi fisici è unico. Di seguito la tabella 4 riporta i verbali di disposizione e prescrizione censiti.

Tabella 4 – Articoli violati nell’ambito degli interventi ispettivi eseguiti in materia di rumore e vibrazioni (sistemi informativi GASP e GASP NEXT).

ARTICOLI VIOLATI 2007	
RUMORE	VIBRAZIONI
D.Lgs. 626 art. 49 quinq. comma 4; D.Lgs. 626 art. 4 (contestato due volte); D.Lgs. 626 art. 32; D.Lgs. 626 art. 4 comma 4 lett a (contestato due volte); D.Lgs. 626 art. 4 comma 4 lett c; D.Lgs. 626 art. 11; D.Lgs. 626 art. 49 sexies; D.Lgs. 626 art. 35 comma 4; D.Lgs. 626 art. 4 comma 4 lett c (contestato due volte); D.Lgs. 626 art. 4 comma 5 lett b D.Lgs. 626 art. 4 comma 5 lett g; DPR 547 art. 267; DPR 547 art. 8; DPR 303 art. 20 comma 2;	D.Lgs. 626 art. 4 comma 11; D.Lgs. 626 art. 4 comma 4 lett a; D.Lgs. 626 art. 32; D.Lgs. 626 art. 4 comma 5 lett b; D.Lgs. 626 art. 4 comma 2; D.Lgs. 626 art. 35 comma 4; DPR 303 art. 20 comma 1 (contestato due volte); DPR 303 art. 9 comma 1; DPR 547 art. 8; DPR 520 art. 4 comma 1;
ARTICOLI VIOLATI 2008	
RUMORE	VIBRAZIONI
D.Lgs. 81 art. 34 comma 1; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 193 comma 1; D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett c; D.Lgs. 626 art. 35 comma 1; D.Lgs. 626 art. 32; D.Lgs. 626 art. 4 comma 2; D.Lgs. 626 art. 4 comma 11; DPR 520 art. 4 comma 1; DPR 303 art. 39;	D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett l; D.Lgs. 81 art. 92 comma 1 lett a; D.Lgs. 81 art. 17 comma 1 lett b; D.Lgs. 626 art. 4 comma 2; D.Lgs. 626 art. 49 quinquies; D.Lgs. 626 art. 49 sexies; D.Lgs. 626 art. 4 comma 2; DPR 520 art. 4 comma 1 (contestato tre volte);



DPR 303 art. 20 comma 1; DPR 547 art. 11;	
ARTICOLI VIOLATI 2009	
RUMORE	VIBRAZIONI
D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett a; D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett z (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 192 comma 2 (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 34 comma 1; D.Lgs. 81 art. 225; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett a; D.Lgs. 81 art. 29 comma 1; D.Lgs. 81 art. 17 comma 1 lett b (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 29 comma 1; D.Lgs. 81 art. 43 comma 1 lett e bis; D.Lgs. 81 art. 43 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 21 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 100 comma 3; D.Lgs. 81 art. 185; D.Lgs. 81 art. 34 comma 2;	D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lettera z; D.Lgs. 81 art. 202 comma 3; D.Lgs. 81 art. 237; D.Lgs. 81 art. 202 comma 1; D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett a; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1; D.Lgs. 81 art. 17 comma 1 lett a (contestato due volte);
ARTICOLI VIOLATI 2010	
RUMORE	VIBRAZIONI
D.Lgs. 81 art. 29 comma 3; D.Lgs. 81 art. 29 comma 1; D.Lgs. 81 art. 36 comma 1; D.Lgs. 81 art. 37 comma 1 (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett a D.Lgs. 81 art. 71 comma 1 (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett z (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 71 comma 4; D.Lgs. 81 art. 192 comma 2; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett e;	D.Lgs. 81 art. 202 comma 1; D.Lgs. 81 art. 71 comma 4; D.Lgs. 81 art. 29 comma 3;



D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett a (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett z; D.Lgs. 81 art. 26 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 28 comma 2 lett c; D.Lgs. 81 art. 29 comma 1; D.Lgs. 81 art. 36 comma 1; D.Lgs. 81 art. 223 comma 2; D.Lgs. 81 art. 225;	
ARTICOLI VIOLATI 2011	
RUMORE	VIBRAZIONI
D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett z; D.Lgs. 81 art. 29 comma 1 (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett g (contestato quattro volte); D.Lgs. 81 art. 71 comma 1 (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 29 comma 3 (contestato tre volte); D.Lgs. 81 art. 181 comma 2; D.Lgs. 81 art. 71 comma 4; (contestato tre volte); D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett d (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 37 comma 9; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett e; D.Lgs. 81 art. 43 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 192 comma 2; D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett z; D.Lgs. 81 art. 28 comma 2 lett d; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett a;	D.Lgs. 81 art. 29 comma 3 (contestato tre volte); D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett e; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett c; D.Lgs. 81 art. 71 comma 4; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett d; D.Lgs. 81 art. 29 comma 1; D.Lgs. 81 art. 43 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett a (contestato due volte);
ARTICOLI VIOLATI 2012	
RUMORE	VIBRAZIONI
D.Lgs. 81 art. 71 comma 1;	D.Lgs. 81 art. 202 comma 1



<p>D.Lgs. 81 art. 174 comma 3; D.Lgs. 81 art. 37 comma 1; D.Lgs. 81 art. 43 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 80 comma 3; D.Lgs. 81 art. 26 comma 2; D.Lgs. 81 art. 17 comma 1 lett b (contestato tre volte); D.Lgs. 81 art. 29 comma 1; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett a (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 192 comma 2; D.Lgs. 81 art. 192 comma 3; D.Lgs. 81 art. 71 comma 4; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett e; D.Lgs. 81 art. 26 comma 2;</p>	<p>(contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 36 comma 2; D.Lgs. 81 art. 37 comma 1; D.Lgs. 81 art. 29 comma 1; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett d; D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett g;</p>
ARTICOLI VIOLATI 2013	
RUMORE	VIBRAZIONI
<p>D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett g (contestato tre volte); D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett z (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 192 comma 2; D.Lgs. 81 art. 190 comma 1; D.Lgs. 81 art. 29 comma 3;</p>	<p>D.Lgs. 81 art. 71 comma 1; D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett z; D.Lgs. 81 art. 29 comma 1(contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 17 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 28 comma 2 lett a;</p>
ARTICOLI VIOLATI 2014	
<p>D.Lgs. 81 art. 37 comma 1 (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 202 comma 1; D.Lgs. 81 art. 71 comma 4; D.Lgs. 81 art. 71 comma 1 (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 28 comma 2; D.Lgs. 81 art. 37 comma 9; D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett g (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett a;</p>	<p>D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett a; D.Lgs. 81 art. 28 comma 2 (contestato tre volte); D.Lgs. 81 art. 71 comma 1 (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 17 comma 1 lett b (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 37 comma 9 (contestato tre volte); D.Lgs. 81 art. 28 comma 2 lett c;</p>
ARTICOLI VIOLATI 2015	



<p>D.Lgs. 81 art. 34 comma 2; D.Lgs. 81 art. 43 comma 1; D.Lgs. 81 art. 29 comma 1 (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett a (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett z; D.Lgs. 81 art. 17 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 29 comma 1(contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 192 comma 2; D.Lgs. 81 art. 17 comma 1 (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 192 comma 2; D.Lgs. 81 art. 29 comma 3; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett b; D.Lgs. 81 art. 97 comma 3;</p>	<p>D.Lgs. 81 art. 29 comma 1; D.Lgs. 81 art. 17 comma 1; D.Lgs. 81 art. 168 comma 2; D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett a; D.Lgs. 81 art. 71 comma 4; D.Lgs. 81 art. 29 comma 3;</p>
ARTICOLI VIOLATI 2016	
<p>D.Lgs. 81 art. 29 comma 3 (contestato tre volte); D.Lgs. 81 art. 37 comma 1 (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 71 comma 4; D.Lgs. 81 art. 29 comma 1; D.Lgs. 81 art. 181 comma 2; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett a (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 45 comma 1; D.Lgs. 81 art. 46 comma 2; D.Lgs. 81 art. 18 comma 1 lett g; D.Lgs. 81 art. 64 comma 1 lett a (contestato due volte); D.Lgs. 81 art. 77 comma 3; D.Lgs. 81 art. 28 comma 2 lett a;</p>	

Dall'analisi degli articoli contestati nei verbali di prescrizione comminati a seguito della vigilanza in materia di rischi fisici nel periodo temporale dal 2007 al 2016, emerge che:

- circa il 30% dei verbali di prescrizione è riconducibile alla violazione di articoli relativi alla Valutazione del Rischio ed al DVR;



- circa il 60% dei verbali di prescrizione è riconducibile alla violazione di articoli che non hanno a che fare con i rischi fisici, ma che riguardano prevalentemente gli aspetti organizzativi (titolo I – formazione, visite mediche, RSPP, ...), i luoghi di lavoro (titolo II), le attrezzature di lavoro (titolo III);
- il restante 10% dei verbali di prescrizione è riconducibile alla violazione di articoli specifici sui rischi fisici rumore e vibrazioni.

La Tabella 5 riporta le denunce di malattia professionale, suddivise per tipologia e per anno, pervenute ai Servizi PSAL dell’Azienda USL di Modena nel periodo 2004-2016. L’andamento delle segnalazioni evidenzia:

- un primo periodo dal 2004 al 2009 caratterizzato da un notevole incremento delle MP denunciate;
- un periodo successivo, dal 2010 al 2014, caratterizzato da un decremento delle segnalazioni che si mantiene costante negli anni successivi e raggiunge nel 2014 il numero più basso con 741 segnalazioni;
- un ulteriore, anni 2015 e 2016, caratterizzato da un leggero incremento delle segnalazioni di MP.

Malattie Professionali	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Patologie cutanee	18	17	17	16	6	17	17	12	18	19	11	5	7
Broncopneumopatie	9	11	8	7	4	1	7	3	2	1	0	5	3
Pneumoconiosi	3	8	4	4	5	1	6	3	2	3	2	7	4
Intossicazioni	14	12	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
Ipoacusie	919	1.194	932	1.305	1.189	1.437	932	755	570	445	340	437	305
Pat. muscoloscheletriche arti superiori	179	197	267	226	196	252	291	238	271	260	237	195	314
Pat. muscoloscheletriche del rachide	29	24	40	45	48	90	104	133	128	160	111	104	103
Tumori	6	8	6	12	9	13	12	24	18	11	19	25	22
Patologie infettive	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Patologie correlate a fattori psicosociali	-	-	3	3	3	5	3	3	2	4	5	6	9
Altro	19	13	11	11	17	23	12	6	36	23	16	30	29
Totale	1.198	1.484	1.289	1.628	1.475	1.840	1.384	1.177	1.047	926	741	902	797

Tabella 5 - denunce di malattia professionale, suddivise per tipologia e per anno, pervenute ai Servizi PSAL dell’Azienda USL di Modena nel periodo 2004-2016.

L’andamento delle segnalazioni negli anni, evidenzia come il numero totale dei casi sia condizionato dall’andamento del numero delle denunce per

d-A2018

ipoacusia da rumore. Questa malattia è stata la patologia professionale oggetto del maggior numero di denunce fino al 2015 (rappresentando, ad esempio, in tale anno il 54,49% del totale dei casi con 437 segnalazioni), che si sono successivamente ridotte; ad esempio nell'anno 2016 si sono registrati 305 casi (che rappresentano il 37,27% del totale), un numero di poco superiore a quello delle ipoacusie segnalate nell'anno 2000.

Le patologie da sovraccarico biomeccanico degli arti superiori (correlate ad attività che comportano movimenti ripetitivi o in, alcuni casi, a esposizione a vibrazioni meccaniche trasmesse al sistema mano-braccio) sono state nell'anno 2016 le patologie più frequentemente oggetto di denuncia, con 314 casi che corrispondono al 39,4% dei casi totali. È significativo evidenziare come per la prima volta le segnalazioni di queste patologie abbiano superato le segnalazioni per ipoacusia da rumore. Come si evince dalla Tabella 6, l'osservazione del dato degli ultimi anni evidenzia un loro incremento percentuale fino all'anno 2014, seguito da una inversione di tendenza del trend nell'anno 2015 (195 casi segnalati pari al 24,31% nel 2015).

Malattie Professionali	2012	2013	2014	2015	2016
Patologie cutanee	1,7%	2,1%	1,5%	0,62%	0,71%
Broncopneumopatie	0,2%	0,1%	-	0,62%	0,38%
Pneumoconiosi	0,2%	0,3%	0,3%	0,87%	0,50%
Intossicazioni	-	-	-	-	0,12%
Ipoacusie	54,4%	48,1%	45,9%	54,49%	38,26%
Pat. muscolo-scheletriche arti superiori	25,9%	28,1%	32,0%	24,31%	39,39%
Pat. muscolo-scheletriche rachide	12,2%	17,2%	14,9%	12,97%	12,92%
Tumori	1,7%	1,2%	2,6%	3,12%	2,76%
Patologie infettive	-	-	-	-	-
Patologie correlate a fattori psicosociali	0,2%	0,4%	0,7%	0,75%	1,13%
Altro	3,4%	2,5%	2,2%	3,74%	3,64%
TOTALE	1047	926	741	802	797

Tabella 6 - percentuale delle denunce di malattia professionale, suddivise per tipologia e per anno, pervenute ai Servizi PSAL dell'Azienda USL di Modena nel periodo 2012-2016.

Le patologie da sovraccarico biomeccanico del rachide (associate alla movimentazione manuale dei carichi o, più raramente, all'esposizione a vibrazioni meccaniche trasmesse al corpo intero) hanno avuto un progressivo e costante incremento delle denunce fino all'anno 2013, seguito da una diminuzione importante nel corso dell'anno 2014; negli anni 2015-2016 si è invece notato una sostanziale stabilità dei casi segnalati (Tabelle 2.1 e 2.2).



Le tre patologie precedentemente descritte rappresentano la grandissima maggioranza delle patologie oggetto di denuncia di MP (rispettivamente il 89,59%, il 91,77% e il 92,80% negli anni 2016, 2015 e 2014). Le patologie da sovraccarico biomeccanico del rachide e dell'arto superiore, nel 2016 hanno raggiunto per la prima volta la maggioranza assoluta delle patologie segnalate (52,31 %).

Il principale elemento determinante l'incremento o la diminuzione del numero totale delle patologie professionali denunciate risulta il numero di denunce di ipoacusia da rumore, patologia che interessa trasversalmente tutti i comparti produttivi. Al contrario l'incremento delle MP denunciate nei comparti commercio, servizi, facchinaggio ed elettronica sembra attribuibile alle segnalazioni di patologie da sovraccarico biomeccanico.

Osservando le denunce di MP suddivise per comparto produttivo nel periodo 2004 - 2016 (Tabella 7) si può notare come negli ultimi anni, il maggior numero di segnalazioni si registri nei comparti metalmeccanica, edilizia e ceramica. Nel 2014 le MP denunciate in lavoratori di tali comparti hanno rappresentato il 53,6% del totale, mentre nel 2015 il 57,23%; gli altri comparti che hanno determinato la quasi totalità delle MP denunciate sono stati quello alimentare, il commercio, gli enti pubblici, la sanità, l'agricoltura ed i servizi.

Per quanto riguarda la suddivisione delle patologie denunciate per comparto si osserva che la ipoacusia da rumore è la patologia più frequente nei comparti metalmeccanico ed edilizia, seguito dal comparto ceramica. Questa patologia risulta la più frequentemente denunciata, anche se con numeri decisamente più ridotti, anche nei comparti agricoltura, chimico, commercio e legno.

Le patologie muscoloscheletriche dell'arto superiore hanno una distribuzione diversa all'interno dei comparti: il maggior numero di segnalazioni si osserva nella metalmeccanica, nel comparto edile, nel comparto alimentare e nel commercio; seguono per importanza il comparto agricoltura, biomedicale, ceramica e servizi.

Le patologie del rachide invece sono concentrate in particolare nei comparti edilizia e metalmeccanica, pur osservando casi anche negli altri comparti.

La presenza di patologie da sovraccarico biomeccanico distribuita in tutti i comparti, suggerisce la presenza di questo rischio in modo trasversale e evidenzia la relativa difficoltà delle attività di controllo e prevenzione.

PATOLOGIE								
Comparto	Altro	Ipoacusia	Mobbing	Pat Cute	Pat Rachi	Pat Sbas	Tumori	Totale
Agricoltura	1	10	0	0	0	13	1	25
Alimentare	2	2	0	0	4	37	0	45
Altro	7	7	0	1	8	33	17	73
Biomedicale	0	1	0	0	2	18	0	21
Ceramica	3	16	1	0	5	24	0	49
Chimico	0	13	0	0	7	4	1	25
Commercio	3	9	1	1	8	32	1	55
Edilizia	12	95	0	1	17	42	0	167
Elettronica	0	2	0	0	1	0	0	3
Enti Pubbl.	0	1	4	0	2	4	1	12
Facchinaggio	1	5	1	0	8	6	0	21
Legno	1	1	0	0	4	4	0	10
Metalmeccanic.	6	129	0	4	19	68	0	226
Sanità	0	0	0	0	2	3	1	6
Servizi	1	8	1	0	4	14	0	28
Tessili	0	4	0	0	0	9	0	13
Trasporti	0	2	1	0	4	1	0	8
TOTALE	37	305	9	7	103	314	22	797

Tabella 7 - tipologia delle denunce di Malattia Professionale per comparto produttivo, nel territorio di competenza dell'Azienda USL di Modena nel periodo 2004-2016.

In sostanza si può osservare che le patologie segnalate hanno avuto un andamento in costante diminuzione negli ultimi anni, interrotto solo nel 2015 da un leggero incremento, confermato nel corso del 2016. I dati disponibili non permettono di dire se questo trend sia duraturo o indicativo di una ripresa delle segnalazioni di malattia professionale o se sia solo l'effetto di altri fattori di condizionamento. Per esempio, fino al 2014, si può osservare che la diminuzione totale dei casi denunciati è correlato al minore numero di casi di ipoacusia da rumore segnalati; l'apparente diminuzione dei casi totali scompare infatti osservando la percentuale delle segnalazioni per le patologie da sovraccarico biomeccanico, che mostra, al contrario, un aumento evidente e costante dei casi dell'arto superiore e del rachide.



L'assenza di segnalazioni di patologie in alcuni comparti o categorie appare come una evidente anomalia; ne sono un esempio il numero esiguo di patologie tra i lavoratori stranieri, tra i lavoratori dipendenti delle agenzie di somministrazione lavoro o tra i "soci" delle diverse e diffuse cooperative di facchinaggio che operano nel nostro territorio.

I dati presentati evidenziano la necessità di monitorare le denunce di malattia professionale che pervengono ai SPSAL della Azienda USL; l'analisi di tali dati rappresenta una fonte di informazioni (non rilevabili in altre banche dati) estremamente utile per costruire una mappa dei danni alla salute dovuti al lavoro.

Per quanto concerne gli interventi di bonifica dalla ricerca sono emersi quattro interventi che sono di seguito descritti:

3.2 BONIFICHE AUSL DI MODENA

BONIFICA NUMERO 1 - anno 2011

Tipologia di azienda coinvolta: Fabbricazione di carrozzerie per veicoli (Cod ISTAT 2007_29.20.00)

Breve descrizione del ciclo lavorativo: l'azienda produce carrozzerie per veicoli, nello specifico scocche di pullman; l'intero ciclo lavorativo può essere suddiviso in tre parti:

- 1 – lavorazioni meccaniche dei profilati metallici (taglio, calandratura, piegatura, foratura);
- 2 – lavorazioni di assemblaggio diretto sui pullman o su maschere (saldatura, imbullonatura);
- 3 – lavorazioni di finitura (verniciatura, carteggiatura, martellatura).

Numero di dipendenti: 17

Tipologia di intervento attuato: l'azienda è intervenuta direttamente sulle fonti di rumore maggiormente impattanti, in particolare:

- 1 - nella fase di smerigliatura sostituzione dei dischi in pietra delle smerigliatrici con dischi di carta;
- 2 – nella fase di martellatura della scocca sostituzione dei martelli in ferro con martelli in teflon;
- 3 – nella fase di taglio lamiera sostituzione dei dischi lamellari delle smerigliatrici con dischi di pietra piccoli (1,6mm).

I lavoratori coinvolti nell'intervento di bonifica sono 12.

Riduzione del rumore (distinzione per le tre fasi sopra descritte):

- 1 – 6,4 dB(A), da 96,1 a 90,5 dB(A)
- 2 – 7,5 dB(A), da 105,9 a 98,4 dB (A)
- 3 – 8,6 dB(A), da 102,1 a 93,5 dB (A)



Costo (stimato o reale): alcune migliaia di euro per la sostituzione di dischi e martelli

BONIFICA NUMERO 2 - anno 2016

Tipologia di azienda coinvolta: fabbricazione di macchine e apparecchi di sollevamento e movimentazione (Cod ISTAT 2007_28.22.0)

Breve descrizione del ciclo lavorativo: l'azienda, che produce varie tipologie di macchinari per il sollevamento di carichi, esegue quasi esclusivamente lavorazioni di montaggio sulle seguenti cinque linee:

- due Linee di premontaggio, in cui si eseguono le operazioni preliminari all'assemblaggio finale;
- le Linee A e D in cui si assemblano le varie parti del sollevatore;
- la Linea "bracci" in cui si assemblano i vari bracci mobili.

In tutte le linee di cui sopra si utilizzano essenzialmente avvitatori, trapani e alcuni attrezzi manuali.

Numero di dipendenti: 40

Tipologia di intervento attuato: l'azienda è intervenuta direttamente sulle fonti di rumore maggiormente impattanti, in particolare ha:

- apposto silenziatori sugli avvitatori;
- sostituito alcuni avvitatori ad aria compressa con avvitatori a frizione.

Oltre ad intervenire sulle fonti la ditta ha realizzato una parete mobile fonoassorbente chiudibile ad angolo.

Riduzione del rumore:

silenziatori sugli avvitatori: da 5 a 8 dB(A);
 sostituzione di avvitatori: da 10 a 15 dB(A);
 parete mobile fonoassorbente: da 8 a 12 dB(A).

Costo (stimato o reale): alcune decine di migliaia di euro (la sostituzione degli avvitatori grava sul costo finale).

BONIFICA NUMERO 3 - anno 2014

Tipologia di azienda coinvolta: lavorazione e conservazione di frutta e ortaggi (Cod ISTAT 2007_10.3).

Numero di dipendenti: 10

Breve descrizione del ciclo lavorativo: l'azienda lavora varie tipologie di verdura e ortaggi, esegue su linee diverse le seguenti lavorazioni: cernita, pulitura e lavaggio.

Tipologia di intervento attuato: l'intervento è stato effettuato sulla linea produttiva che esegue la cernita di legumi per separarli da eventuali scorie (pietre, altri oggetti indesiderati).



La cernita avviene tramite scuotimento dei legumi con aria compressa; la maggior parte dell'inquinamento acustico dell'intera linea è generato dai numerosi urti che vengono a crearsi fra i legumi e le pareti della macchina separatrice.

La bonifica acustica della macchina consiste nell'intera segregazione della linea produttiva con pannelli fonoisolanti e fonoassorbenti in raccordo con le pareti dell'edificio.

Riduzione del rumore: 11 dB(A) – da 88.5 a 77.5 dB(A)

Costo (stimato o reale): 200000,00 euro

BONIFICA NUMERO 4 - anno 2016

Tipologia di azienda coinvolta: fabbricazione di motori e turbine (esclusi i motori per aeromobili) (Cod ISTAT 2007_28.11).

Numero di dipendenti: 80

Breve descrizione del ciclo lavorativo: l'azienda produce essenzialmente motori idraulici, ingranaggi e parti di ricambio per macchine operatrici.

Le fasi di lavoro prevalenti sono le seguenti:

1 – lavorazioni meccaniche dei profilati metallici (taglio, calandratura, piegatura, foratura);

2 – lavorazioni di assemblaggio dei motori idraulici.

Tipologia di intervento attuato: l'azienda è intervenuta direttamente sulle fonti di rumore maggiormente impattanti, in particolare ha:

- sostituito le pistole ad aria compressa con modelli silenziati;

- sostituito le lame di taglio dell'alluminio con modelli silenziati.

Riduzione del rumore:

pistole ad aria compressa silenziata: circa 3 dB(A)

lame da taglio silenziata: circa 7 dB(A)

Costo (stimato o reale): alcune migliaia di euro

La valutazione dell'impatto della vigilanza può essere riscontrato attraverso la riduzione dei livelli di esposizione dei lavoratori e la insorgenza di nuovi casi di MP.

Considerato quanto emerso dal censimento sopra descritto, sono stati presi in considerazione i quattro casi di bonifiche acustiche analizzate in provincia di Modena.

L'effetto della vigilanza è sintetizzato nella tabella 8 seguente, dove sono indicati i livelli di esposizione ante e post bonifica nonché l'insorgenza di nuovi casi di ipoacusia percettiva bilaterale.



N°	Riduzione livelli di esposizione	Livello di esposizione ante – bonifica	Livello di esposizione post – bonifica	Nuovi casi di ipoacusie	Costi di bonifica
1	Media 7,5 dB(A)	Tra 96,1 e 105,2 dB(A)	Tra 90,5 e 98,4 dB(A)	1 (nel 2016)	Alcune migliaia di €
2	Media 7,7 dB(A)	86,9 dB(A)	80,0 dB(A)	0	Decine di migliaia di €
3	Media 11 dB(A)	88,5 dB(A)	77,5 dB(A)	0	200000€
4	Media 5 dB(A)	92,8 dB(A)	88 dB(A)	0	Alcune migliaia di €

Tabella 8 - alcuni casi di bonifiche fatte attuare dall'Azienda USL di Modena.

Poiché il numero di bonifiche acustiche è limitato, una valutazione di efficacia potrebbe essere eseguita mediante uno studio caso-controllo retrospettivo, mettendo a confronto le ipoacusie sviluppate da lavoratori in forza presso le aziende oggetto di vigilanza nel periodo 2007-2016 (casi), con quelle sviluppate dai lavoratori della intera Provincia di Modena (controlli), utilizzando i dati da Flussi Informativi INAIL.

3.3 RISULTATI AUSL DI BOLOGNA

In tabella 9 sono riportati i dati relativi agli interventi ispettivi su rumore e vibrazioni nel periodo 2007-2016.

In tabella 10 sono riportati i dati relativi agli interventi ispettivi su altri Rischi fisici nel periodo 2007-2016.



Tabella 9 - interventi ispettivi dell'Azienda USL di Bologna su rumore e vibrazioni nel periodo 2007-2016.

anno	RUMORE			VIBRAZIONI		
	Soprall.	Prescriz.	Disposiz.	Soprall.	Prescriz.	Disposiz.
2007	19	1	3	26	1	1
2008	32	3	5	9	0	0
2009	25	3	2	10	0	0
2010	25	4	3	5	3	4
2011	17	6	2	9	0	0
2012	22	3	0	2	1	0
2013	7	1	0	1	1	0
2014	3	0	0	0	0	0
2015	3	0	0	0	0	0
2016	4	0	0	0	0	0
2017	2	0	0	2	0	0

Tabella 10 - interventi ispettivi dell'Azienda USL di Bologna su rischi fisici diversi da rumore e vibrazioni, nel periodo 2007-2016.

anno	CEM			MICROCLIMA		
	Soprall.	Prescriz.	Disposiz.	Soprall.	Prescriz.	Disposiz.
2007	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0
2009	1	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0
2013	7	0	0	16	0	0
2014	5	0	0	14	0	0
2015	3	0	0	28	0	0
2016	7	0	0	16	0	0
2017	8	0	0	16	0	0



anno	ROA			ALTRI AGENTI FISICI		
	Soprall.	Prescriz.	Disposiz.	Soprall.	Prescriz.	Disposiz.
2007	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0
2013	8	0	0	2	0	0
2014	5	0	0	3	0	0
2015	2	0	0	2	0	0
2016	6	0	0	3	0	0
2017	2	0	0	7	0	0

Dati relative alle bonifiche non è stato possibile reperirne.

Nelle seguenti tabelle 11 e 12 sono riportati i dati relativi alle Malattie Professionali.

Tabella 11 - Numero malattie professionali segnalate per anno SPSAL
AUSL Bologna, nel periodo 2007-2016.

Malattie Professionali	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16
Patologie Cutanee	12	20	16	11	4	12	5	6	3	2
Broncopneumopatie	11	11	25	15	7	44	3	10	9	9
Pneumoconiosi	10	6	2	0	0	18	7	17	3	3
Intossicazioni	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Ipoacusie	422	352	260	284	174	167	127	91	44	84
Pat muscolo scheletriche	130	233	340	250	417	337	278	257	130	106
Tumori	1	35	18	21	36	60	10	18	15	9
Pat. Infettive	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0
Pat correlate a fatt. psicosociali	0	0	5	5	7	5	0	3	3	1
Altro	27	14	4	21	24	24	0	84	32	0
TOTALE	613	671	671	607	669	670	430	486	239	214

Tabella 12 - Percentuale malattie professionali segnalate per anno SPSAL
AUSL Bologna, nel periodo 2007-2016.

Malattie Professionali	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16
Patologie Cutanee	2,0	3,0	2,4	1,8	0,6	1,8	1,2	1,2	1,3	0,9
Broncopneumopat.	1,8	1,6	3,7	2,5	1,0	6,6	0,7	2,1	3,8	4,2
Pneumoconiosi	1,6	0,9	0,3	0,0	0,0	2,7	1,6	3,5	1,3	1,4
Intossicazioni	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Ipoacusie	69	52,5	38,7	46,8	26,0	24,9	29,5	18,7	18,4	39
Pat muscolo scheletriche	21	34,7	50,7	41,2	62,3	50,3	64,7	52,9	54,4	49
Tumori	0,2	5,2	2,7	3,5	5,4	9,0	2,3	3,7	6,3	4,2
Pat. Infettive	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Pat correlate a fatt. psicosociali	0,0	0,0	0,7	0,8	1,0	0,7	0,0	0,6	1,3	0,5
Altro	4,4	2,1	0,6	3,5	3,6	3,6	0,0	17,3	13,4	0,0

3.4 RISULTATI ASL 4 CHIAVARESE

In tabella 13 sono riportati i dati relativi agli interventi ispettivi su rumore e vibrazioni nel periodo 2003-2008

Tabella 13 - interventi ispettivi su rumore nel periodo 2003-2008, nel periodo 2003-2008.

Anno	Singole ditte controllate	N. totale interventi ispettivi su rumore	N. Prescrizioni	N. disposizioni
2003	1	3	1	0
2004	3	10	2	1
2005	3	4	1	2
2006	3	4	2	1
2008	2	3	2	0
Totale	12	24	8	4

Il servizio non ha mai programmato l'attività avendo come obiettivo la vigilanza specifica sui rischi fisici; gli interventi ispettivi sul rumore censiti in *Tabella 13* sono scaturiti da attività di vigilanza attivate a seguito di infortuni, malattie professionali o segnalazioni.

Soprattutto negli ultimi anni (dal 2009 in avanti) l'attività ispettiva è stata quasi completamente dedicata alla vigilanza del settore edile, come da Piano nazionale edilizia, alle indagini infortuni e alle segnalazioni.



È da evidenziare che durante quasi tutti i sopralluoghi gli operatori richiedono il documento di valutazione dei rischi, quindi viene controllata anche la specifica sezione circa i rischi rumore e vibrazioni, ma in merito a questi specifici controlli non è stato possibile ricavare dati poiché l'applicativo per la rendicontazione dell'attività ispettiva non prevede una specifica registrazione.

Purtroppo ancora oggi non esiste un progetto nelle ASL Liguri che incentivi la vigilanza specifica sui rischi fisici.

Di seguito (tabelle 14 e 15) si riportano i dati estratti riferiti alle Denunce di Malattia Professionali sulle quali sono stati effettuati accertamenti da parte degli operatori del Servizio.

Tabella 14 - Denunce di ipoacusia per settore, nel periodo 2000-2017.

Ipoacusie Cod. I50			
Anno	Numero	Settore	Totale
2000	2	Navalmecanica	3
	1	Lapideo - Ardesia	
2001	1	Navalmecanica	1
2005	8	Navalmecanica	17
	2	Lapideo - Ardesia	
	2	Energia	
	1	Chimico	
	2	Metalmecanica	
	2	Edilizia	
2006	4	Navalmecanica	8
	2	Metalmecanica	
	2	Lapideo - Ardesia	
2007	5	Navalmecanica	15
	4	Metalmecanica	
	3	Lapideo - Ardesia	
	2	Edilizia	
	1	Imbottigliamento acqua	
2008	4	Navalmecanica	14
	2	Metalmecanica	
	4	Lapideo - Ardesia	
	1	Fabbricazione giocattoli	
	2	Edilizia	
	1	Imbottigliamento acqua	
2009	8	Navalmecanica	



	2	Metalmeccanica	
	4	Lapideo - Ardesia	
	2	Servizi	
	2	Cantiere navale - legno	
	3	Edilizia	21
2010	12	Navalmeccanica	
	6	Lapideo - Ardesia	
	5	Metalmeccanica	
	4	Edilizia	
	1	Imbottigliamento acqua	
	1	Servizi	29
2011	11	Navalmeccanica	
	1	Chimico	
	4	Edilizia	
	5	Metalmeccanica	
	6	Lapideo - Ardesia	
	1	Agricoltura	
	1	Legno	29
2012	2	Navalmeccanica	
	1	Edilizia	
	1	Legno	
	1	Metalmeccanica	5
2014	1	Navalmeccanica	
	1	Lapideo - Ardesia	2
2015	2	Lapideo - Ardesia	
	1	Metalmeccanica	3
2016	1	Edilizia	1
2017	2	Metalmeccanica	2
			150

Tabella 15 - Denunce di malattie correlate all'esposizione a vibrazioni per settore, nel periodo 2000-2017.

Vibrazioni Cod. I99, I52, A99			
<i>Anno</i>	Numero	Settore	Totale
2005	1	Edilizia	1
2006	1	Navalmeccanica	
	1	Lapideo - Ardesia	2
2007	2	Navalmeccanica	
	1	Pubblica Amm. Servizi	



	1	Cantieristica navale	4
2009	1	Navalmecanica	
	1	Edilizia	2
2010	1	Metalmecanica	
	1	Edilizia	2
2011	2	Navalmecanica	
	1	Cantieristica navale	3
2012	3	Lapideo - Ardesia	
	2	Edilizia	5
2013	1	Agricoltura	
	1	Edile	
	1	Metalmecanica	3
2014	1	Lapideo - Ardesia	
	1	Edile	2
2015	3	Edile	
	1	Trasporti	4
2016	1	Edilizia	
	1	Lapideo - Ardesia	2
			30

3.5 RISULTATI ASL 1 IMPERIESE

Negli anni 90 sono stati fatti due interventi:

- 1) presso il reparto imbottigliamento PET e VETRO (Santa Vittoria) di una azienda di produzione acqua minerale con prescrizione e conseguente bonifica tramite insonorizzazione di svariate postazioni;
- 2) presso una azienda di lavorazione meccanica di profilati in metallo con prescrizione e conseguente bonifica tramite insonorizzazione.

3.6 RISULTATI ASL 2 SAVONESE

Non è pervenuta nessuna risposta.

3.7 RISULTATI ASL3 GENOVESE

Non dispongono dell'informazione circa le attività di vigilanza e controllo relative agli agenti fisici.

L'applicativo DISP permette l'inserimento degli articoli violati, dai quali potrebbero essere successivamente estratti quelli relativi a rumore e vibrazioni, ma si tratta di un inserimento ed un'estrazione particolarmente onerosi e perciò in ASL3 quel tipo di dato non viene inserito.

Così è di fatto impossibile riuscire a fornire i dati richiesti. Sarebbe necessario prevedere una funzione di raccolta del dato ad hoc.



Più di dieci anni fa sono stati effettuati diversi controlli (una decina - quasi tutti esitati con provvedimento), dei quali però, visto il tempo trascorso, non si è trovata traccia negli archivi cartacei.

3.8 RISULTATI ASL 5 SPEZZINA

Non è stato possibile ricavare dalla ricerca nell'archivio informatizzato i dati relativi alla verifica dei documenti di valutazione nelle aziende controllate che non hanno dato esito ad una prescrizione in quanto viene registrato il sopralluogo, ma non è registrata dettagliatamente la documentazione controllata. Comunque alle aziende in cui è stato richiesto il documento di valutazione del rischio è sempre stata valutata anche la valutazione del rischio rumore.

In tabella allegata si riportano i sopralluoghi che hanno dato esito ad una prescrizione.

La ricerca informatizzata per la rilevazione delle violazioni è stata condotta richiedendo al sistema di selezionare dalla procedura vigilanza e vigilanza in edilizia, gli articoli sanzionati, con riferimento agli articoli specifici, per la legge 277/91 e il D.Lgs 81/08.

Inoltre è possibile ricavare dal sistema informatizzato la registrazione delle misurazioni effettuate dal 2017 in quanto è stato introdotto un campo specifico "Rilevaz. Ambientali" nella registrazione del sopralluogo.

Tabella 16 – Numero e tipologia di prescrizioni specifiche.

RUMORE					
Anno	N° Prescrizioni	Rif. Legge	Articolo Violato	Comma Articolo	Lettera Articolo
1998	4	277	42		
			42		
			42		
			40	1	
1999	2	277	40	1	
			40	1	
2000	1	277	40	1	
2001	2	277	40	1	
			40	1	
2003	1	277	41		
2004	3	277	41	2	
			41		
			41	2	



2006	1	277	41	1	
2008	2	81	190	1	a
			190	1	a
2009	2	81	190	1	a
			190	1	a
2009	2	81	190	1	a
			190	3	
2012	1	81	190	1	a
2013	3	81	41	1	a
			41	1	a
			41	1	a
2014	4	81	190	1	a
			190	1	a
			190	3	
2015	3	81	190	1	d
			181	2	
			190	1	d
			181	2	
2016	2	81	181	2	
			181	2	
VIBRAZIONI					
2008	4	81	202	1	
			202	1	
			202	1	
			202	1	
2009	2	81	202	1	
			202	1	
2010	2	81	202	1	
			202	1	
2012	1	81	202	1	
2013	2	81	202	1	
			202	5	a



2014	3	81	203	1	a
			202	1	
			202	5	a
2015	3	81	181	2	
			181	2	
2016	1	81	181	2	

4. CONCLUSIONI

Dall'analisi dei dati sono emerse le seguenti evidenze:

Disomogeneità attività di vigilanza in Regione Emilia Romagna:

- in Regione Emilia Romagna l'AUSL Modena nel periodo 2007-2016 ha effettuato complessivamente 835 sopralluoghi in materia di rumore e vibrazioni, con una media di 83 sopralluoghi all'anno; c'è stato un lieve calo negli anni 2012 e 2013, probabilmente in conseguenza del sisma che ha reso necessario il rinforzo delle attività di vigilanza nei cantieri della ricostruzione;
- l'AUSL Bologna nel periodo 2007-2016 ha effettuato complessivamente 223 sopralluoghi in materia di rumore e vibrazioni, con una media di 22 sopralluoghi all'anno, cui aggiungere 53 interventi di vigilanza dal 2013 al 2016 su altri agenti fisici (CEM, ROA, microclima, ecc.); anche a Bologna si è registrato un lieve calo negli anni 2012 e 2013, probabilmente in conseguenza del sisma che ha reso necessario il rinforzo delle attività di vigilanza nei cantieri della ricostruzione;
- le altre aziende USL della Regione non hanno risposto o hanno risposto che da circa 10 anni non viene effettuata vigilanza su Piani specifici in materia di rischio fisico rumore e vibrazioni;
- ciò evidenzia che nell'ambito della Regione Emilia Romagna i Servizi PSAL pianificano ed eseguono la vigilanza in materia di rischi fisici in modo disomogeneo.

Disomogeneità attività di vigilanza in Regione Liguria:

- analogamente in Regione Liguria i dati del censimento evidenziano una situazione di disomogeneità tra le varie ASL;
- anche nelle ASL che hanno effettuato vigilanza in materia di rischi fisici, il numero di interventi di vigilanza è significativamente ridimensionato rispetto alla media dell'ASL Modena;
- la ASL 5 Spezzina ha partecipato nel 2016 ad uno specifico progetto con il Laboratorio di Sanità Pubblica dell'Azienda USL Sud-Est Regione Toscana denominato "Il rischio vibrazioni nelle attività marittime e portuali: determinazione dei livelli di esposizione a vibrazioni a corpo

d-A2018

intero WBV in diversi scenari produttivi del territorio di competenza della ASL 5 “Spezzino”, nell’ambito del quale sono state effettuate 115 misurazioni nel corso del 2017.

Disomogeneità attività di vigilanza tra le varie Regioni:

- il censimento evidenzia un diverso approccio tra Regione e Regione nella pianificazione e svolgimento dell’attività ispettiva in materia di rischi fisici, oltre che la presenza di dotazioni strumentali e specifica formazione del personale molto differenti.

Disomogeneità nella raccolta dei dati dell’attività ispettiva:

- il censimento evidenzia l’utilizzo solo recente (a partire dagli anni 2000) di applicativi per la registrazione dei dati di vigilanza;
- il censimento evidenzia inoltre l’utilizzo di applicativi diversi tra le AUSL della stessa Regione oltre che tra Regioni differenti; conseguentemente i dati estrapolati dai database non sono sempre direttamente e correttamente comparabili;
- oltre alle differenze dovute ai diversi applicativi, la disomogeneità tra i dati è anche conseguenza della parziale e incompleta registrazione nei database delle informazioni che caratterizzano l’azione di vigilanza da parte degli operatori, per mancanza di addestramento all’uso degli applicativi o per mancanza di “sensibilità”.

Mancanza di informazioni e dati relativi alla effettuazione di misure nonché relativi alla efficacia delle bonifiche:

- gli applicativi utilizzati per la registrazione della vigilanza non consentono l’inserimento di dati relativi alla misurazione di agenti fisici (rumore e vibrazioni, ma non solo);
- analogamente gli applicativi utilizzati per la registrazione della vigilanza non consentono l’inserimento di dati caratterizzanti l’eventuale intervento di bonifica attuato dalla ditta;
- per avere tali informazioni occorre necessariamente ricorrere agli archivi cartacei, con le seguenti criticità:
 - non essendovi uno “standard” di registrazione (ad esempio lista di controllo) ogni operatore in base alle proprie conoscenze ha registrato i dati, che quindi non sono interpretabili e/o elaborabili statisticamente;
 - assenza di dati relativi a misure strumentali o interventi di bonifica.

Considerazioni sulla tipologia di violazioni riscontrate durante la vigilanza in materia di rischi fisici:

- dall’analisi dei dati sia della Regione Emilia Romagna che della Regione Liguria, relativamente al periodo indagato 2007-2016, si evidenzia che il numero di prescrizioni nelle quali vengono contestate specifiche violazioni in materia di agenti fisici sono molto limitate, mediamente



dell'ordine di qualche unità o qualche decina a seconda dell'ASL di riferimento;

- ad esempio a Modena nel periodo 2007-2016 sono state comminate circa 200 prescrizioni a seguito di vigilanza in materia di rischi fisici, di cui circa il 10% riscontra specifiche violazioni su rumore e vibrazioni;
- sempre in riferimento ai dati di Modena, circa il 30% dei verbali di prescrizione è riconducibile alla violazione di articoli relativi alla Valutazione del Rischio ed al DVR: presumibilmente nell'ambito di tali verbali si fa riferimento anche alla specifica valutazione del rischio da agenti fisici.

Considerazioni sulle MP

- il numero totale dei casi di MP è condizionato dall'andamento del numero delle denunce per ipoacusia da rumore, che è stata la patologia professionale oggetto del maggior numero di denunce fino a pochi anni fa (2015 per Modena) mentre negli anni più recenti si sono ridotte;
- le patologie da sovraccarico biomeccanico degli arti superiori (correlate ad attività che comportano movimenti ripetitivi o in, alcuni casi, a esposizione a vibrazioni meccaniche trasmesse al sistema mano-braccio) sono fortemente incrementate negli ultimi anni, fino a superare le segnalazioni per ipoacusia da rumore;
- anche le patologie da sovraccarico biomeccanico del rachide (associate alla movimentazione manuale dei carichi o, più raramente, all'esposizione a vibrazioni meccaniche trasmesse al corpo intero) hanno avuto un progressivo e costante incremento delle denunce;
- nonostante la diminuzione del numero di ipoacusie e il fatto che le patologie da sovraccarico biomeccanico degli arti superiori e le patologie da sovraccarico biomeccanico del rachide siano correlate non solo alle vibrazioni meccaniche ma anche ad altri fattori di rischio, poiché tali patologie rappresentano la grandissima maggioranza delle patologie oggetto di denuncia di MP, la vigilanza specifica in materia di rischi fisici rumore e vibrazioni è sicuramente auspicabile.

5. BIBLIOGRAFIA

[1] Report sugli infortuni e le malattie professionali in Provincia di Modena aggiornato al 30 Aprile 2017.

[2] Flussi informativi dell'INAIL.

La biblioteca di 
 The 'dBA' logo in this section is smaller and colored blue. It consists of the letters 'dBA' with three curved lines above the 'd'.

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

- **dB_Aincontri2003 Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro – Verso un Manuale di buona pratica**
Atti del Seminario di Modena del 16 ottobre 2003
- **dB_Aincontri2004 - Vibrazioni - Valutazione e prevenzione del rischio da vibrazioni nel quadro legislativo attuale e in quello in divenire**
Atti del Convegno di Modena del 13 ottobre 2004
- **dB_Aincontri2004 - Microclima - Valutazione, prevenzione e protezione dai rischi e comfort nei luoghi di lavoro**
Atti del Convegno di Modena del 14 ottobre 2004
- **dB_Aincontri2005 – Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro - Verso un Manuale di buona pratica**
Atti del Convegno di Bologna del 14 settembre 2005
- **dB_A'06 Rumore, vibrazioni, microclima, campi elettromagnetici, radiazioni ottiche e ionizzanti - Valutazione, prevenzione e bonifica negli ambienti di lavoro**
Atti del Convegno di Modena del 12 e 13 ottobre 2006
Volume 1: Rumore e vibrazioni
Volume 2: Microclima
Volume 3: Campi elettromagnetici, radiazioni ottiche e ionizzanti
- **dB_Aincontri2008 – Titolo VIII del DLgs.81/2008 – Prevenzione e protezione dagli agenti fisici nei luoghi di lavoro: facciamo il punto**
Atti del Convegno di Modena del 9 ottobre 2008
- **dB_Aincontri2009 – Interventi per la riduzione del rischio rumore. Legislazione, normativa, tecnologie, esperienze**
Atti del Convegno di Modena del 24 settembre 2009
- **dB_A'10 Rischi Fisici: valutazione, prevenzione e bonifica nei luoghi di lavoro. A che punto siamo**
Atti del Convegno di Modena del 6 e 7 ottobre 2010

- **dB_Aincontri2011 – Laser e Radiazioni Ottiche Artificiali non coerenti. Valutazione, prevenzione, protezione, esperienze**
Atti del Convegno di Modena del 21 settembre 2011
- **dB_Aincontri2012 – Aggiornamenti sul rischio rumore. Valutazione, prevenzione e protezione nei luoghi di lavoro**
Atti del Convegno di Modena del 11 ottobre 2012
- **dB_Aincontri2014 – Agenti Fisici nei luoghi di lavoro: aggiornamenti, approfondimenti, esperienze**
Atti del Convegno di Modena del 17 settembre 2014
- **dB_A'15 Trent'anni di Prevenzione e Protezione dagli Agenti Fisici**
Atti del Convegno di Modena del 27 maggio 2015
- **dB_Aincontri2016 – Campi Elettromagnetici nei luoghi di lavoro. Legislazione, Valutazione, Tutela.**
Atti del Convegno di Bologna del 21 ottobre 2016
- **dB_Aincontri2017 – Radiazioni ionizzanti e non ionizzanti: valutazione e protezione alla luce della nuova normativa europea.**
Atti del Convegno di Modena del 14 settembre 2017
- **dB_A2018 – I rischi fisici nei luoghi di lavoro.**
Atti del Convegno di Bologna del 17 ottobre 2018

Altre pubblicazioni

Collana REACH

- **REACH2018 – Sostanze Pericolose. Identificazione, Registrazione, Valutazione, Autorizzazione, Restrizione e Gestione del Rischio.** (2018)
- **REACH 2017 – L’applicazione dei Regolamenti REACH e CLP nei luoghi di vita e di lavoro e nel comparto metalmeccanico** (2017)
- **REACH 2016 – L’applicazione dei regolamenti REACH e CLP nei luoghi di vita e di lavoro** (2016)
- **REACH 2015 – L’applicazione dei regolamenti REACH e CLP nei luoghi di lavoro. L’applicazione dei Regolamenti Europei delle Sostanze Chimiche in ambito sanitario** (2015)
- **REACH 2014 - I Regolamenti Europei REACH e CLP: l’interazione tra le normative sociali e di prodotto, il confronto e l’assistenza alle imprese, l’armonizzazione europea dei controlli** (2014)

Collana Risch

- **RisCh 2014 – L’aggiornamento della valutazione del rischio da agenti chimici pericolosi, cancerogeni e mutageni: la valutazione della sicurezza chimica, la nuova scheda di dati di sicurezza e gli scenari di esposizione**
- **RisCh 2012 – Agenti chimici pericolosi, cancerogeni, mutageni, REACH, CLP, SDS**
- **RisCh 2011 – Le nuove valutazioni del rischio da agenti chimici pericolosi e dell’esposizione ad agenti cancerogeni, mutageni**

- **RisCh 2010 – Le sostanze pericolose nei luoghi di lavoro.** Individuazione del pericolo, Regolamenti REACH e CLP, Scheda Dati di Sicurezza, Valutazione del rischio da agenti chimici pericolosi, cancerogeni e mutageni
- **RisCh 2008 – Sostanze pericolose:** agenti chimici pericolosi, cancerogeni, mutageni e l'amianto
- **RisCh 2006 – Il rischio chimico nei luoghi di lavoro:** identificazione, misurazione, valutazione, prevenzione e protezione, sorveglianza sanitaria, esperienze ed approfondimenti
- **RisCh 2005 – Sostanze e preparati pericolosi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.** Classificazione ed autoclassificazione, etichettatura di pericolo e scheda di sicurezza, valutazione del pericolo e del rischio, aspetti critici ed innovativi. Il caso della silice libera cristallina
- **RisCh 2004 – Agenti cancerogeni, mutageni e chimici pericolosi:** l'applicazione dei Titoli VII e VII-bis DLgs.626/94, l'assistenza e la collaborazione con le parti sociali, la vigilanza e il controllo
- **RisCh-Bitume - Il rischio da agenti chimici nella produzione e messa in opera dei conglomerati bituminosi (2004)**
- **RisCh-La valutazione del rischio e dell'esposizione ad Agenti Chimici Pericolosi (2003)**
- **RisCh-Prevenzione e Protezione da Agenti Chimici Pericolosi.** Le novità del D.Lgs.25/02, la valutazione e la giustificazione del rischio, le misurazioni e la sorveglianza sanitaria (2002)
- **RisCh-Prevenzione e Protezione da Agenti Cancerogeni e Mutageni.** Le novità del D.Lgs.66/2000, la valutazione dell'esposizione, la sostituzione e i protocolli di prevenzione (2001)

- **RisCh'Alt-Prodotti chimici e tecnologie alternative all'impiego delle sostanze pericolose:** formulazioni e tecnologie meno pericolose per l'uomo e l'ambiente, le schede informative in materia di salute, sicurezza e ambiente (2000)
- **RisCh'Amb-La produzione compatibile con l'ambiente di vita e di lavoro:** approfondimenti sul D.Lgs.626/94, gestione dei rischi ambientali, assicurazione dell'ambiente (1999)
- **RisCh'dpi-I dispositivi di protezione individuale delle vie respiratorie:** aspetti normativi ed applicativi, linee guida e criteri per la scelta e l'uso, stato di applicazione del Titolo IV D.Lgs.626/94 (1999)
- **RisCh'flr-I fluidi lubrorefrigeranti nelle lavorazioni meccaniche:** Fattori di rischio - Misure di sicurezza ed igiene del lavoro - Tutela dell'ambiente (1998)
- **RisCh'SP-Le sostanze pericolose per l'uomo e per l'ambiente:** identificazione dei pericoli, valutazione dei rischi, classificazione, obbligo di ricerca, imballaggio ed etichettatura, scheda di dati di sicurezza, vigilanza e controlli (1998)
- **RisCh'96-II rischio chimico negli ambienti di lavoro:** identificazione, misurazione, valutazione, prevenzione e protezione (1996)

Collana SICUREZZA

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

Collana ASL incontri

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



Il progetto dBA nasce a Modena nel 1985 da un'idea di Omar Nicolini.

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

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

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

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

PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA

ISBN 978-88-940868-6-7



9 788894 086867

Stampato in Italia – Printed in Italy – Settembre 2018

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

Finito di stampare nel mese di settembre 2018

ISBN 978-88-940868-6-7



9 788894 086867

dBA 2018

I rischi fisici nei luoghi di lavoro

- Rumore
- Comfort e qualità acustica degli ambienti di lavoro
- Infrasuoni ed ultrasuoni
- Vibrazioni mano-braccio e corpo intero
- Microclima e stress termico
- Atmosfere iperbariche
- Radiazioni ottiche naturali ed artificiali
- Campi elettromagnetici

In collaborazione con:

