

d-BA 2019

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

Atti a cura di:

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

Bologna, 17 ottobre 2019

In ricordo di Alessandra Tomaselli

Alessandra Tomaselli si è laureata in Ingegneria Elettronica a Pavia nel 1982.

La sua attività scientifica comprendeva la microscopia a due fotoni, per la quale ha ottenuto anche un brevetto, la fotoionizzazione laser, oltre a riuscite iniziative di divulgazione: laserfest, esposizione celebrativa dei 50 anni del laser, ondivaghiamo, per spiegare la fisica delle onde anche ai bimbi delle elementari.

Per molti di noi era semplicemente la Prof. Più o meno tutti quelli che in Italia si occupano di sicurezza laser hanno imparato qualcosa da Alessandra o da qualcuno che è stato formato da lei.

La fotoionizzazione laser dei frammenti di fissione è impiegata in un progetto di ricerca dell'INFN chiamato Selective Production of Exotic Species, ovvero SPES.

Quando nell'autunno 2018 è stata diagnosticata ad Alessandra una patologia senza speranza, pochi hanno colto l'ironia, perché veramente poche persone sono state informate.

Voleva disturbare il meno possibile, a costo di sembrare latitante, negli ultimi mesi prendeva solo gli impegni che era certa di riuscire a mantenere.

Tutti quelli che hanno condiviso con lei i diversi progetti adesso si rendono conto che la prof. Tomaselli, ha insegnato anche qualcosa di più importante che non è su nessuna slide o pubblicazione scientifica.

Chi lavorava con lei sa che nessun brevetto, o pubblicazione scientifica, valevano il matrimonio di qualcuno dei suoi quattro figli, o i viaggi col marito per andare dal nipotino dall'altra parte dell'oceano.

Adesso che Alessandra ci ha lasciato, il 26 giugno 2019, ci rendiamo conto che il suo insegnamento fondamentale, compresa la sua passione per la sicurezza laser, veniva dalla consapevolezza che qualunque invenzione o scoperta che possiamo fare, ha senso nella misura in cui ci aiuta a prenderci cura gli uni degli altri.

Chi vuole ricordarla rispettando il desiderio della sua famiglia, può quindi contribuire a sostenere la comunità del sud del Burundi che anche lei aiutava.

"Insieme per Ruzira": <https://agipapress.blogspot.com/2019/07/sociale-pavia-da-pavia-al-burundi.html?fbclid=IwAR3tA9QKThXx-eI49VXclC7YspOmchJNKOfxSNjIws9SIiSuSKFicJCM2Y>

F.F.



Dove?

Ruzira si trova in provincia di Bururi, nel sud del Burundi. Qui le persone hanno voglia di crescere nonostante le difficoltà!



Obiettivo

Il nostro obiettivo è arrivare a 65.000€ per dare una svolta al futuro di un'intera comunità!

Insieme per Ruzira ha come scopo principale la ristrutturazione di uno spazio educativo composto da 6 nuove aule.

Un luogo dove i ragazzi possano sognare un futuro migliore.



L'acqua è fonte di vita, per questo motivo tra i progetti della Onlus troviamo la creazione di un nuovo acquedotto che migliorerà le condizioni sanitarie degli alunni.

Per garantire sostenibilità alla scuola *Insieme per Ruzira* vuole dotarla di pannelli solari in grado di generare l'energia necessaria.



Come donare:

ONLUS Insieme per
Ruzira
CF 96079060180

Partita IVA 0000096079060180
INTESASANPAOLO
BANCA PROXIMA
IT88P0335901600100000163689





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

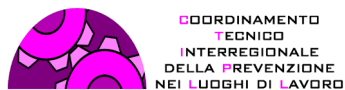
dBA2019

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

Convegno Nazionale promosso da:



In collaborazione con:



Bologna, 17 ottobre 2019

Atti a cura di: **Silvia Goldoni, Pietro Nataletti,
Nino Della Vecchia, Antonio Santarpia**

Comitato Promotore

Adriana Giannini	Regione Emilia-Romagna
Ester Rotoli	INAIL DC Prevenzione
Antonio Brambilla	Azienda USL di Modena

Comitato Scientifico

Daniele Andreuccetti	CNR IFAC
Luisa Biazzì	Università degli Studi di Pavia
Gian Marco Contessa	ENEA
Nicoletta Cornaggia	GTISSLL – Regione Lombardia
Riccardo di Liberto	IRCCS Policlinico San Matteo
Dario D’Orazio	DIN Università di Bologna
Pasquale Antonio Di Palma	INAIL SSC
Davide Ferrari	Azienda USL di Modena
Liliana Frusteri	INAIL - Contarp centrale
Francesco Frigerio	ICS Maugeri Spa Pavia
Massimo Garai	DIN - Università di Bologna
Abdul Ahamad Ghani	Ministero del Lavoro
Adriana Giannini	Regione Emilia-Romagna
Fabriziomaria Gobba	Università di Modena e Reggio Emilia
Silvia Goldoni	Azienda USL di Modena
Sergio Iavicoli	INAIL - DiMEILA
Alessandro Merlino	CeSNIR, Villasanta (MB)
Alberto Modenese	Università di Modena e Reggio Emilia
Iole Pinto	Usl Toscana Sud-Est
Elena Rossi	DIN - Università di Bologna
Enrica Zinzini	Medico Oculista

Segreteria Scientifica

Silvia Goldoni	Azienda USL di Modena
Pietro Nataletti	INAIL - DiMEILA
Nino Della Vecchia	Azienda USL di Modena
Santarpia Antonio	Azienda USL di Modena

Segreteria Organizzativa

Morena Piumi: formazionesp@ausl.mo.it

Redazione atti:

Silvia Goldoni, Nino Della Vecchia, Santarpia Antonio

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 “**dba2019 – Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro**” che si è tenuto a Bologna il 17 ottobre 2019.

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.

Con il convegno **dba 2019 - Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro** ci si pone l'obiettivo di approfondire i temi degli agenti fisici e dei loro effetti sulla salute dei lavoratori, attraverso la diffusione di esperienze di: valutazione del rischio; metodologie/tecnologie innovative per il controllo degli agenti fisici; implementazione di interventi di prevenzione e protezione efficienti ed efficaci; azioni di supporto alle piccole e medie imprese per il raggiungimento di livelli standard minimi di salute e sicurezza sul posto di lavoro, quali banche dati e procedure guidate di valutazione dei rischi. Come tradizione nell'ambito del convegno sarà dato adeguato spazio anche alle novità normative, tra queste il punto in merito al recepimento della Direttiva Europea 2013/59/Euratom sulla protezione dalle Radiazioni Ionizzanti.

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 **dba2019**, 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



Agenti fisici e salute 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 L'evoluzione della normativa in materia di tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro. A che punto siamo. (*Abdul Ahmad Ghani – Ministero del Lavoro*)
- 10,20 Nuova normativa Euratom sulle radiazioni ionizzanti: cosa cambia (*Riccardo Di Liberto - IRCCS Policlinico San Matteo*)
- 10,40 La Radioprotezione tra Testo Unico e D.lgs. 230/95 (*Simona D'Agostino - INAIL, Gian Marco Contessa - ENEA, Eleonora Ragno - CNR, Paolo Rossi – Ministero della Salute*)
- 11,00 Nuovi approcci della radioprotezione per le attività NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials). (*Rosabianca Trevisi, Federica Leonardi – INAIL, Cristina Nuccetelli – ISS*)
- 11,20 Il rischio da esposizioni a CEM in ambiente sanitario: il progetto CRAEM per promuovere la sicurezza con la realtà aumentata (*Raffaele d'Angelo – INAIL, Rita Massa - Università di Napoli Federico II, Gabriella Duca - ISSNOVA Institute for Sustainable Society and Innovation*)
- 11,40 CEM: le condizioni che possono comportare una maggiore suscettibilità dei lavoratori e le misure di prevenzione (*Fabriziomaria Gobba, Alberto Modenese – Università di Modena e Reggio Emilia*)
- 12,00 I nuovi riferimenti normativi italiani ed europei per la valutazione del rischio campi elettromagnetici (*Laura Filosa – INAIL, Arianna Guarneri – TERNA SPA, Vanni Lopresto - ENEA*)
- 12,20 Strumenti operativi per la valutazione del rischio da CEM (*Daniele Andreuccetti –CNR IFAC; Rosaria Falsaperla – INAIL*)
- 12,40 Dibattito
- 13,00 Chiusura della I° Sessione del Convegno



Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

Programma

II sessione

- 14,10 Illuminazione a LED e rischio fotobiologico: cosa sappiamo e cosa crediamo di sapere (*Francesco Frigerio –ICS Maugeri SPA; Luisa Biazzi – Università di Pavia*)
- 14,30 Strumenti operativi per la valutazione del rischio da radiazioni ottiche naturali e artificiali (*Iole Pinto, Andrea Bogi, Nicola Stacchini - Laboratorio di Sanità pubblica USL Toscana Sud Est; Francesco Picciolo - Università degli Studi di Siena*)
- 14,50 Esposizione alla luce blu e danno oculare. Un rischio da valutare o da rivalutare? (*Enrica Zinzini, Medico Oculista a RLP INAIL; Pier Ugo Carletti, Dirigente Medico INAIL*)
- 15,10 L'esposizione al sole dei lavoratori outdoor: un rischio sottostimato (*Massimo Borra - INAIL; Chiara Burattini, Luca Gugliermetti – Sapienza Università di Roma; Alberto Modenese – Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia*)
- 15,30 La sezione Microclima del Portale Agenti Fisici (*Iole Pinto, Andrea Bogi, Nicola Stacchini - Laboratorio di Sanità Pubblica AUSL Toscana Sud Est; Francesco Picciolo - Università degli studi di Siena; Simona Del Ferraro, Vincenzo Molinaro, Antonio Moschetto - INAIL; Domenico Gioia - Mirigo SRL*)
- 15,50 Strategie di valutazione del microclima negli ambienti produttivi e assimilabili. (*Alessandro Merlino, Gianluca Gambino, Daniele Meda, Gabriele Quadrio - CeSNIR srl*)
- 16,10 Misure di attenuazione di un inserto auricolare mediante metodica E-A-R FIT. (*Diego Annesi, Pietro Nataletti, Paolo Lenzuni – INAIL; Guido Alfaro Degan, Gianluca Coltrinari, Dario Lippiello, Andrea Vestrucci - Università degli Studi di Roma Tre; Claudio Galbiati, Dino Peruch – 3M Italia Srl, PSD Technical Division*)
- 16,30 Procedure di qualificazione acustica di spazi industriali secondo UNI EN ISO 14257: tre casi studio. (*Dario D'Orazio, Massimo Garai, Gioia Cardinali, Elena Rossi - Università di Bologna*)
- 16,50 Uniformità ed efficacia della vigilanza in materia di rumore: il progetto BRIC (*Silvia Goldoni, Antonio Santarpia, Nino Della Vecchia – Azienda USL di Modena*)
- 17,10 Aggiornamento in materia di valutazione del rischio da vibrazioni. La nuova monografia INAIL. (*Pietro Nataletti, Paolo Lenzuni - INAIL*)
- 17,30 Dibattito
- 18,00 Chiusura della II Sessione del Convegno



Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

Programma

Sessione Poster

Il tempo di misura dei parametri termoigrometrici negli accertamenti tecnici di microclima. *(Gianluca Gambino, Daniele Meda, Alessandro Merlino, Gabriele Quadrio - CeSNIR srl)*

Accertamenti di stress termico mediante monitoraggio della frequenza cardiaca degli esposti *(Alessandro Merlino, Gianluca Gambino, Daniele Meda, Gabriele Quadrio - CeSNIR srl)*

Valutazione della salute vocale nei cantanti professionisti.
(Claudia Giliberti, Raffaele Maricone – INAIL, Fabio Lo Castro - CNR-INM, Maria Patrizia Orlando, Lucia Longo - Sapienza Università di Roma)

Studio di uno strumento interattivo basato su check list per la gestione dei controlli ispettivi in materia di rumore *(Goldoni Silvia, Nino della Vecchia, Santarpia Antonio)*

TCA2020: misura e controllo dell'agente fisico rumore: focus istituzioni – eccellenze italiane della ricerca. 22-24 giugno 2020 Auditorium Ravello.
(Augusto Papa - INAIL)

Indice generale

RELAZIONI

- NUOVA NORMATIVA EURATOM SULLE RADIAZIONI IONIZZANTI: COSA CAMBIA **pag.1**
Riccardo Di Liberto
- LA RADIOPROTEZIONE TRA TESTO UNICO E D.LGS. 230/95 **pag.5**
Simona D'Agostino, Gian Marco Contessa, Eleonora, Ragno, Paolo Rossi
- NUOVI APPROCCI DELLA RADIOPROTEZIONE PER LE ATTIVITÀ NORM (NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS). **pag.17**
Rosabianca Trevisi, Federica Leonardi, Cristina Nuccetelli
- IL RISCHIO DA ESPOSIZIONI A CEM IN AMBIENTE SANITARIO: IL PROGETTO CRAEM PER PROMUOVERE LA SICUREZZA CON LA REALTÀ AUMENTATA **pag.31**
Raffaele d'Angelo, Rita Massa, Gabriella Duca
- CEM: LE CONDIZIONI CHE POSSONO COMPORTARE UNA MAGGIORE SUSCETTIBILITÀ DEI LAVORATORI E LE MISURE DI PREVENZIONE **pag.39**
Fabriziomaria Gobba, Alberto Modenese
- I NUOVI RIFERIMENTI NORMATIVI ITALIANI ED EUROPEI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO CAMPI ELETTROMAGNETICI **pag.57**
Laura Filosa, Arianna Guarneri, Vanni Lopresto
- STRUMENTI OPERATIVI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA CEM **pag.65**
Daniele Andreuccetti, Rosaria Falsaperla
- ILLUMINAZIONE A LED E RISCHIO FOTOBIOLOGICO: COSA SAPPIAMO E COSA CREDIAMO DI SAPERE **pag.77**
Francesco Frigerio, Luisa Biazzi

- STRUMENTI OPERATIVI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA RADIAZIONI OTTICHE NATURALI E ARTIFICIALI **pag.91**
Iole Pinto, Andrea Bogi, Nicola Stacchini, Francesco Picciolo
- ESPOSIZIONE ALLA LUCE BLU E DANNO OCULARE. UN RISCHIO DA VALUTARE O DA RIVALUTARE? **pag.103**
Enrica Zinzini, Pier Ugo Carletti
- L'ESPOSIZIONE AL SOLE DEI LAVORATORI OUTDOOR: UN RISCHIO SOTTOSTIMATO **pag.115**
Massimo Borra, Chiara Burattini, Luca Gugliermetti, Alberto Modenese
- LA SEZIONE MICROCLIMA DEL PORTALE AGENTI FISICI **pag.125**
Iole Pinto, Andrea Bogi, Nicola Stacchini, Francesco Picciolo, Simona Del Ferraro, Vincenzo Molinaro, Antonio Moschetto, Domenico Gioia
- STRATEGIE DI VALUTAZIONE DEL MICROCLIMA NEGLI AMBIENTI PRODUTTIVI E ASSIMILABILI **pag.165**
Alessandro Merlino, Gianluca Gambino, Daniele Meda, Gabriele Quadrio
- MISURE DI ATTENUAZIONE DI UN INSERTO AURICOLARE MEDIANTE METODICA E-A-R FIT. **pag.181**
Diego Annesi, Pietro Nataletti, Paolo Lenzuni, Guido Alfaro Degan, Gianluca Coltrinari, Dario Lippiello, Andrea Vestrucci, Claudio Galbiati, Dino Peruch
- PROCEDURE DI QUALIFICAZIONE ACUSTICA DI SPAZI INDUSTRIALI SECONDO UNI EN ISO 14257: TRE CASI STUDIO. **pag.191**
Dario D'Orazio, Massimo Garai, Gioia Cardinali, Elena Rossi
- UNIFORMITÀ ED EFFICACIA DELLA VIGILANZA IN MATERIA DI RUMORE: IL PROGETTO BRIC **pag.209**
Silvia Goldoni, Antonio Santarpia, Nino Della Vecchia
- AGGIORNAMENTO IN MATERIA DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA VIBRAZIONI. LA NUOVA MONOGRAFIA INAIL. **pag.233**
Pietro Nataletti, Angelo Tirabasso, Raffaele Sabatino, Paolo Lenzuni

IL TEMPO DI MISURA DEI PARAMETRI TERMOIGROMETRICI NEGLI ACCERTAMENTI TECNICI DI MICROCLIMA. **pag.249**

Gianluca Gambino, Daniele Meda, Alessandro Merlino, Gabriele Quadrio

ACCERTAMENTI DI STRESS TERMICO MEDIANTE MONITORAGGIO DELLA FREQUENZA CARDIACA DEGLI ESPOSTI. **pag.267**

Alessandro Merlino, Gianluca Gambino, Daniele Meda, Gabriele Quadrio

VALUTAZIONE DELLA SALUTE VOCALE NEI CANTANTI PROFESSIONISTI. **pag.291**

Claudia Giliberti, Raffaele Mariconte, Fabio Lo Castro, Maria Patrizia Orlando, Lucia Longo

STUDIO DI UNO STRUMENTO INTERATTIVO BASATO SU CHECK LIST PER LA GESTIONE DEI CONTROLLI ISPETTIVI IN MATERIA DI RUMORE **pag.301**

Goldoni Silvia, Nino della Vecchia, Santarpia Antonio

TCA2020: MISURA E CONTROLLO DELL'AGENTE FISICO RUMORE: FOCUS ISTITUZIONI – ECCELLENZE ITALIANE DELLA RICERCA. 22-24 GIUGNO 2020 AUDITORIUM RAVELLO. **pag.335**

Augusto Papa

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

NUOVA NORMATIVA EURATOM SULLE RADIAZIONI IONIZZANTI: COSA CAMBIA

Riccardo Di Liberto ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo –Pavia

La nuova Direttiva 2013/59/EURATOM del 5 dicembre 2013, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea il 17 gennaio 2014 e in vigore dal 6 febbraio 2014, ha abrogato le Direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom, stabilendo nuove norme di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti. Tale nuova Direttiva nasce nell'ambito del processo di armonizzazione normativa avviato da tempo in sede europea considerando che le precedenti Direttive, abrogate dalla entrata in vigore di questa nuova a partire dal 6 febbraio 2018, non sono state del tutto recepite dai Paesi membri e in molti casi ciò è avvenuto con modalità non omogenee. La Direttiva 2013/59/Euratom prevede norme minime non precludendo agli Stati membri la possibilità di adottare o mantenere misure di sicurezza più rigorose, ad eccezione di quanto previsto in sede europea in relazione alla libera circolazione di merci e servizi nel mercato interno. In essa viene esplicitamente fatto riferimento alla necessità di ridefinire le norme di sicurezza sulle radiazioni ionizzanti basandosi sulle raccomandazioni dell'ICRP (International Commission on Radiological Protection) ed in particolare sulla pubblicazione n. 103 del 2007, e sulla base delle più recenti evidenze epidemiologiche sugli effetti biologici delle radiazioni ionizzanti sui tessuti per le quali le "dosi soglia" risultano più basse di quelle valutate negli anni precedenti (ICRP 1990). La Direttiva è costituita da 10 Capi e 109 articoli che affrontano in dettaglio i diversi

aspetti della radioprotezione nei differenti ambiti di applicazione delle radiazioni ionizzanti, ivi comprese quelle di origine naturale. Dal punto di vista delle novità introdotte dalla Direttiva va detto che in Italia il recepimento delle Direttive che quest'ultima ha abrogato (89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom) è stato negli anni abbastanza rapido e completo dando luogo alla emanazione di Decreti Legislativi (D.Lgs. 230/95, D.Lgs. 241/00, D.Lgs. 187/00 e D.Lgs. 52/07) ad hoc. Quindi per il nostro Paese in realtà si tratta di una ulteriore conferma dell'impianto normativo già esistente da numerosi anni. Tuttavia la Direttiva 2013/59 Euratom introduce alcuni elementi innovativi in relazione alla radioprotezione per alcuni settori di attività con radiazioni ionizzanti e per la popolazione in relazione anche alle fonti naturali di radiazioni. Il Capo I introduce il campo di applicazione della Direttiva indicando anche l'esposizione dei lavoratori o della popolazione al radon in ambienti chiusi, alla presenza di materiali da costruzione e ai casi di esposizione prolungata dovuta agli effetti di una emergenza o di una attività umana del passato. Il Capo II introduce alcune nuove definizioni quali le situazioni di esposizione *esistenti, pianificate e di emergenza*. Il Capo III introduce delle importanti modifiche ai limiti di esposizione annuali alle diverse categorie di lavoratori. In particolare viene ridotto considerevolmente il limite annuale di dose equivalente per il cristallino per apprendisti e studenti e per i lavoratori classificati "esposti". Ciò sulla base di un recente "*Statement on Tissue Reactions*" della International Commission on Radiological Protection (ICRP). Nell'ambito della gestione dei lavoratori classificati esposti di categoria A, la riduzione del limite annuale da 150 mSv a 20 mSv comporterà delle importanti revisioni in termini di radioprotezione operativa e anche possibili contenziosi legali per le pregresse esposizioni a livelli accettabili per il precedente limite decisamente più elevato. Il Capo IV tratta della istruzione, formazione e trasmissione delle informazioni in tutti gli ambiti di applicazione della Direttiva. Il Capo V rivede il concetto di "pratica radiologica" ridefinendone i termini in modo approfondito ed introducendo all'art.22 e allegato V le pratiche radiologiche di imaging a scopo non medico. Il Capo VI tratta approfonditamente degli obblighi a carico degli esercenti le pratiche radiologiche ed in particolare dell'esposizione professionale, della sorveglianza fisica e medica in tutte le situazioni operative possibili, della classificazione dei lavoratori riferendosi ai nuovi limiti di esposizione trattati nel capo III. Una importante novità è la riduzione del livello di concentrazione media annuale di radon nei luoghi di lavoro (da 500 a 300 Bq/m³) per la quale devono scattare delle specifiche misure di protezione. Il Capo VII affronta il tema delle esposizioni mediche ricalcando di fatto quanto in Italia è stato recepito dalla normativa europea a suo tempo con il D. Lgs. 187/00. Il Capo VIII si riferisce alla protezione

della popolazione e della salute nel lungo termine in circostanze normali e di emergenza. Viene introdotto un elenco (all. VIII e all. XIII) in cui sono riportati i materiali da costruzione di origine naturale gamma emittenti che possono generare esposizione della popolazione negli ambienti di vita e viene definito anche per la popolazione il valore di riferimento per la concentrazione media annua in aria di radon nelle abitazioni pari a 300 Bq/m³. Tale novità comporterà un impatto sui nuovi edifici destinati ad abitazione ma non si possono escludere anche qui contenziosi legali nei casi di concentrazioni superiori in edifici costruiti in precedenza. Nell'art.66 si fa un esplicito richiamo alla valutazione del livello di radioattività dell'acqua potabile per la stima della dose alla popolazione derivante da pratiche radiologiche soggette ad autorizzazione. Si ricorda che comunque la Direttiva 2013/51/Euratom *“stabilisce i requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano”* che nel frattempo è stata recepita in Italia con il D. Lgs. 15 febbraio 2016 n.28. Il Capo IX tratta delle competenze generali degli Stati Membri in materia di regolamentazione dei contenuti della Direttiva, ivi comprese il riconoscimento delle competenze professionali di servizi, esperti e specialisti previsti. Nelle diverse sezioni, il Capo IX affronta anche il controllo delle sorgenti radioattive sigillate, non sigillate, ad alta attività e orfane riproponendo di fatto quanto recepito in Italia con il D. Lgs. 52/07. L'art. 103 riveste grande interesse per il “piano di azione” che i paesi membri dovranno attuare per affrontare i rischi a lungo termine da esposizione a radon nelle abitazioni, negli edifici pubblici e nei luoghi di lavoro, oltre a provvedere alla adozione di misure appropriate per prevenire l'ingresso del radon nei nuovi edifici. Il capo X è quello delle disposizioni finali in cui all'art. 106 viene definita la data di recepimento della Direttiva 2013/59/Euratom al 6 febbraio 2018 e all'art. 107 specifica le modalità di abrogazione delle Direttive precedenti. Già da subito i dibattiti sulle novità introdotte dalla Direttiva sono articolati e lo scenario da prevedere nei prossimi anni per la sua applicazione sarà alquanto impegnativo per chi si occupa di radioprotezione nei diversi settori di attività. Resta ancora aperta la questione del recepimento della Direttiva che in Italia sta affrontando un iter non facile che speriamo si concluda entro il 2019.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ICRP, 2008 The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection' ICRP Publication 103 Annals of the ICRP Volume 37/2-4, 2008
- [2] ICRP, 2012. ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2).

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

LA RADIOPROTEZIONE TRA TESTO UNICO E D.LGS. 230/95

Simona D'Agostino ⁽¹⁾, Gian Marco Contessa ⁽²⁾, Eleonora Ragno ⁽³⁾, Paolo Rossi ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ INAIL DiMEILA - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale – Monte Porzio Catone (Roma)

⁽²⁾ ENEA – Istituto di Radioprotezione – Frascati (Roma)

⁽³⁾ Consiglio Nazionale delle Ricerche – Servizio di prevenzione e Protezione - Roma

⁽⁴⁾ Ministero della Salute - Roma

1. INTRODUZIONE

La salute e sicurezza nei luoghi di lavoro è normata in Italia dal Decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81 “Testo Unico (TU) sulla salute e sicurezza sul lavoro” [1], che riguarda la protezione dei lavoratori da tutti i rischi, compresi quelli dovuti agli Agenti Fisici, dove, per Agenti Fisici, si intendono il rumore, gli ultrasuoni, gli infrasuoni, le vibrazioni meccaniche, i campi elettromagnetici, le radiazioni ottiche, il microclima e le atmosfere iperbariche (art. 180).

Per quanto attiene invece alle radiazioni ionizzanti, l'articolo 180 comma 3 specifica che “*la protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti è disciplinata unicamente dal decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230, e sue successive modificazioni*”. [2].

La genesi dei due decreti legislativi, e quindi il contesto da cui provengono, è però completamente diversa.

Il TU nasce nell'ambito delle direttive sociali in materia di sicurezza e salute dell'Unione europea, da cui proviene la direttiva quadro n. 89/391/CEE [3],

concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori. In Italia questa direttiva è stata recepita nel 1994 dal D.lgs. 626/94 [4], successivamente riformato dal TU con lo scopo di unificare la normativa in materia di sicurezza e salute nei luoghi di lavoro.

Il D.lgs. 230/95, invece, nasce sotto l'egida del trattato Euratom di Roma: la sua genesi comincia nel 1995 con il recepimento delle direttive Euratom 84/467 [5], 84/466 [6], 89/618 [7], 90/641 [8] e 92/3 [9] concernenti vari aspetti specifici tra cui la protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti. In riferimento a questo aspetto nel 2000 il D.lgs. 241 ha modificato il Decreto 230 recependo la direttiva Euratom 96/29 [10].

Il presente quadro normativo sarà inoltre presto aggiornato e consolidato mediante il recepimento della direttiva 2013/59/Euratom [11], che stabilisce le norme fondamentali di sicurezza atte alla protezione dei lavoratori, della popolazione in generale e dei pazienti in relazione ai rischi derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti e comprende, oltre a ciò, un approfondimento sulle misure di risposta all'emergenza, rafforzate a seguito dell'incidente nucleare di Fukushima del 2011. La scadenza per il recepimento era fissata per il 6 febbraio del 2018.

Dunque, si evince che i due decreti provengono da gruppi di lavoro differenti, con diversa composizione e diversa formazione; in particolare, si ravvisa un difetto di armonizzazione e coordinamento.

Il legislatore italiano, sentendo l'esigenza di un raccordo tra i due apparati normativi, inserisce nel D.lgs. 230/95 alcune norme di coordinamento con il D.lgs. 626/94, utili principalmente a segnalare che l'adempimento nei confronti delle disposizioni del D.lgs. 230/95 non è esaustivo degli obblighi del datore di lavoro in materia di salute e sicurezza (art. 59 comma 4). Con la modifica del D.lgs. 230/95 per mezzo del D.lgs. 241/00 [12] (recepimento della direttiva 96/29, da cui eredita l'approccio legislativo) si crea un sistema che appare macchinoso e stratificato, allontanandosi dalla strada tracciata inizialmente nel 1995.

L'articolo 180 del D.lgs. 81/08 sembra non operare una maggiore armonizzazione, in quanto esclude le radiazioni ionizzanti dagli Agenti Fisici, rimandando al D.lgs. 230/95.

Sia chiaro comunque che il Titolo I include tutti i rischi, dunque i principi generali in esso contenuti sono validi anche per la protezione dalle radiazioni ionizzanti. Ad esempio, rimane valido tutto il sistema della sicurezza che

comprende anche i Rappresentanti dei Lavoratori per la Sicurezza, mai menzionati nel D.lgs. 230/95.

È auspicabile che l'imminente recepimento della direttiva Euratom 2013/59 possa giovare, in termini di una migliore armonizzazione, ai due decreti legislativi oggetto della presente relazione.

2. LO STATO DELL'ARTE

Nel presente paragrafo sono evidenziate alcune criticità di approccio e di applicazione dei due apparati normativi, in particolare relativi alle figure del Datore di Lavoro (DL), dell'Esperto Qualificato (EQ) e del Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione (RSPP) e agli aspetti operativi relativi alla sorveglianza sanitaria/medica, ai mezzi dosimetrici e di protezione nonché alla problematica dei rischi interferenti.

2.1 Aspetti generali: Datore di Lavoro e Esercente

Secondo il D.lgs. 81/08 art. 2 – definizioni, il DL è “il soggetto titolare del rapporto di lavoro con il lavoratore o, comunque, il soggetto che, secondo il tipo e l'assetto dell'organizzazione nel cui ambito il lavoratore presta la propria attività, ha la responsabilità dell'organizzazione stessa o dell'unità produttiva in quanto esercita i poteri decisionali e di spesa”. A fianco del DL le altre figure responsabili della sicurezza sul lavoro sono il Dirigente (persona che attua le direttive del DL organizzando l'attività lavorativa e vigilando su di essa) e il preposto (persona che sovrintende alla attività lavorativa e garantisce l'attuazione delle direttive ricevute).

Queste tre figure, mutuata dal D.lgs. 626/94, sono presenti anche nel D.lgs. 230/95 con gli stessi obblighi e attribuzioni (per l'applicazione del decreto valgono le definizioni contenute nell'articolo 2 del D.lgs. 626/94).

Diversamente però dal D.lgs. 81/08, il D.lgs. 230/95 introduce anche la figura dell'Esercente, adottando la definizione presente nella Legge 1860/62 [13], che però ha un ambito di applicazione differente (Impiego pacifico dell'energia nucleare): “esercente di un impianto nucleare significa il soggetto titolare della licenza per l'esercizio dell'impianto nucleare”. Questa definizione non può però essere applicata *tour court* in tutti gli ambiti di applicazione del D.lgs. 230/95 al di fuori del Capo VII.

Infatti la figura dell'Esercente ha diversi obblighi e attribuzioni anche nel Capo III-bis (Esposizioni da attività lavorative con particolari sorgenti naturali di radiazioni), Capo VI (Regime autorizzativo per le installazioni e particolari disposizioni per i rifiuti radioattivi), Capo VIII (Protezione

sanitaria dei lavoratori), Capo IX (Protezione sanitaria della popolazione), Capo X (Interventi), Capo XI (Norme penali), Allegato VII, Allegato XI.

Per una definizione più attinente si potrebbe fare riferimento al D.lgs. 187/2000 [14], che individua l'Esercente nel "soggetto che, secondo il tipo e l'organizzazione dell'impresa, ha la responsabilità dell'impresa stessa ovvero dell'unità produttiva, intesa come stabilimento o struttura finalizzata alla produzione di beni o servizi, dotata di autonomia finanziaria e tecnico-funzionale".

Al fine del coordinamento dei decreti 230/95 e 81/08, date le definizioni di DL (nel D.lgs. 81/08) ed Esercente (nel D.lgs. 187/2000), sembrerebbe che le due figure possano coincidere.

Tuttavia, qualora il DL nomini un Esercente in un soggetto diverso, le attribuzioni e gli obblighi risultano diversi ai sensi di legge: ad esempio, l'Esercente non può effettuare la valutazione dei rischi o la designazione del RSPP.

Le funzioni attribuibili all'Esercente ai sensi del D.lgs. 230/95 sono relative alle responsabilità connesse con l'esercizio della pratica di cui è titolare. La netta divisione delle responsabilità tra DL ed Esercente è chiaramente normata nel caso dei lavoratori esterni: l'Esercente della zona controllata ha la responsabilità della gestione operativa, mentre il DL dell'impresa esterna ha obblighi nei confronti dei suoi lavoratori.

Altre attribuzioni del DL sono invece delegabili secondo i dettami dell'art. 16 del D.lgs. 81/08, ad esempio relativamente al Capo VIII del D.lgs. 230/95.

A questo proposito, all'interno di una struttura organizzativa è possibile redigere un atto di delega di funzioni, che attribuisca determinate responsabilità all'Esercente piuttosto che al DL o al Dirigente per la sicurezza. Un tale atto formale ha quindi la funzione di individuare in maniera chiara i compiti e le responsabilità, nell'organizzazione interna, delle diverse figure del sistema della sicurezza a fronte di una pluralità di soggetti coinvolti.

2.2 Figure tecniche di riferimento: EQ e RSPP

Per quanto concerne la protezione dei lavoratori, nel D.lgs. 81/08 e ss.mm.ii. il responsabile unico è individuato nella figura del DL, a cui si affianca il RSPP che "collabora" con il DL nell'identificazione e valutazione dei vari rischi e nella stesura del Documento di Valutazione dei Rischi (DVR) e

nell'organizzazione della sicurezza unitamente alle altre figure quali il Medico Competente (MC), i Rappresentanti dei Lavoratori e i lavoratori. Si tenga conto che il RSPP, interno o esterno all'azienda, si configura quale consulente tecnico, che risponde professionalmente in termini civili e penali, ma il TU non prevede sanzioni specifiche come invece per il MC o per i lavoratori stessi.

Il D.lgs. 230/95 e ss.mm.ii., nel sistema della sicurezza, prevede che il DL si avvalga dell'EQ, consulente aziendale, interno o esterno, per quanto riguarda tutte le valutazioni inerenti le radiazioni ionizzanti. Ai sensi dell'art. 79 l'EQ è incaricato della sorveglianza fisica della radioprotezione e sono previste sanzioni nei suoi confronti per diversi aspetti inerenti la sorveglianza fisica e la protezione dalle radiazioni.

Si tenga in conto che si può definire sorveglianza fisica l'insieme dei dispositivi adottati, delle valutazioni, delle misure, delle indicazioni fornite e dei provvedimenti formulati dall'EQ al fine di garantire la protezione dei lavoratori e della popolazione in tutte le pratiche che implicano il rischio dovuto all'esposizione a radiazioni ionizzanti provenienti da sorgenti naturali o artificiali.

Inoltre, ai sensi dell'art. 61 comma 2, l'EQ è il soggetto incaricato della relazione di valutazione dei rischi da radiazioni ionizzanti, e quindi equiparabile alle figure incaricate della valutazione dei rischi dovuti agli agenti fisici del Titolo VIII del D.lgs. 81/08. A differenza però di questi valutatori e del RSPP, che rispondono del loro operato al DL, l'EQ è l'unica figura nel campo degli Agenti Fisici passibile di reato penale e civile in prima persona, in ogni caso insieme al DL.

Come accennato, disposizioni di coordinamento sono presenti solo nell'art. 61 comma 2 del D.lgs. 230: “la relazione dell'Esperto Qualificato costituisce il documento di cui all'articolo 4, comma 2, del decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, per gli aspetti concernenti i rischi da radiazioni ionizzanti”, e nell'art. 80 comma 3: “il Datore di Lavoro garantisce le condizioni per la collaborazione, nell'ambito delle rispettive competenze, tra l'Esperto Qualificato e il servizio di prevenzione e protezione di cui all'articolo 8 del decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626. L'Esperto Qualificato è in particolare chiamato a partecipare alle riunioni periodiche di cui all'articolo 11 del decreto legislativo predetto”.

Nonostante queste indicazioni, questo aspetto rimane critico perché nella pratica spesso l'EQ non è coinvolto appieno nell'organizzazione della sicurezza e nelle riunioni periodiche ex art. 11.

Date le ambiguità esposte è auspicabile un'ulteriore azione di coordinamento tra i decreti 230/95 e 81/08, al fine di armonizzare le responsabilità delle diverse figure della sicurezza.

2.3 La sorveglianza sanitaria/medica

Mentre l'aspetto della sorveglianza fisica può essere trattato in maniera separata tra i due decreti, nel caso della sorveglianza sanitaria/medica si ritiene che possa essere necessaria un'organizzazione coordinata.

Entrambi gli apparati normativi prevedono, a valle della valutazione dei rischi, la sorveglianza sanitaria/medica, ovvero un insieme di provvedimenti sanitari adoperati dal medico addetto, al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori esposti a rischi specifici.

Nel D.lgs. 81/08 si parla di sorveglianza sanitaria ed è svolta dal Medico Competente, nel D.lgs. 230/95 di sorveglianza medica e viene svolta, a seconda della classificazione dei lavoratori esposti, dal Medico Competente (lavoratori classificati esposti Cat. B) o dal Medico Autorizzato (lavoratori classificati esposti Cat. A)

Si ricorda che il Medico Autorizzato è iscritto all'elenco del Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali, previo esame specifico.

Questo disposto legislativo comporta che, nel caso in cui un lavoratore sia esposto a vari rischi tra cui le radiazioni ionizzanti, come ad esempio un lavoratore esposto di categoria A, si verifica che, per quanto concerne la sorveglianza medico/sanitaria, il lavoratore sia parallelamente seguito dal Medico Autorizzato (per i rischi da radiazioni ionizzanti) e dal Medico Competente (per gli altri rischi) con una doppia cartella/documento sanitario. Ciò potrebbe comportare una duplicazione di interventi/analisi/indagini nonché anche atti documentali con potenziale aumento dei costi.

La soluzione auspicabile è che il DL riponga una maggiore attenzione nelle azioni di coordinamento di tutti gli aspetti sanitari compresi quelli documentali burocratici.

2.4 L'attività di vigilanza

Per l'attività di vigilanza il D.lgs. 230 crea un sistema parcellizzato con diversi organismi competenti: essa è infatti affidata, oltre che all'ISIN, al Ministero del lavoro e della previdenza sociale, che la esercita a mezzo dell'Ispettorato del lavoro e, nel caso di macchine radiogene, alla ASL.

Nel D.lgs. 81, invece, la vigilanza sull'applicazione della legislazione in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro è svolta dalla ASL competente per territorio e, per quanto di specifica competenza, dal Corpo

nazionale dei Vigili del Fuoco; restano ferme le competenze in materia di vigilanza attribuite dalla legislazione vigente al personale ispettivo del Ministero del lavoro.

Anche in questo caso si riscontra una diversa organizzazione dei ruoli, che, in alcune realtà, può implicare una minore attenzione nei confronti del rischio da radiazioni ionizzanti.

2.5 Le diverse categorie di lavoratori e i rischi interferenti

Il TU comprende nella definizione di lavoratore chiunque svolga un'attività lavorativa, anche non retribuita, per un DL pubblico o privato, anche al solo fine di apprendere un mestiere, un'arte o una professione, esclusi gli addetti ai servizi domestici e familiari. Al lavoratore così definito è equiparato: il socio lavoratore di cooperativa o di società; il soggetto beneficiario delle iniziative di tirocini formativi e di orientamento; l'allievo degli istituti di istruzione ed universitari e il partecipante ai corsi di formazione professionale nei quali si faccia uso di laboratori, attrezzature di lavoro in genere, agenti chimici, fisici e biologici, ivi comprese le apparecchiature fornite di videoterminali limitatamente ai periodi in cui l'allievo sia effettivamente applicato alla strumentazioni o ai laboratori in questione; i volontari del Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco e della Protezione Civile.

Il D.lgs. 230, risentendo della differente impostazione, suddivide i lavoratori in più categorie: all'art. 4 "definizioni" specifica cosa si deve intendere per apprendisti (comma 1 lettera b), lavoratori esterni e lavoratori esposti (comma 2 lettere o e n), mentre all'art. 60 dà la "Definizione di lavoratore subordinato" e nell'articolo 64 introduce la Protezione dei lavoratori autonomi con annessa definizione degli stessi. Sono invece esclusi i lavoratori a domicilio (art. 60 comma 2), di cui alla Legge 877/73 [15], che già gli preclude l'esecuzione delle attività che comportano "l'impiego di sostanze o materiali nocivi o pericolosi per la salute o l'incolumità del lavoratore e dei suoi familiari". Tutto l'apparato degli adempimenti è però connesso alla classificazione dei lavoratori in esposti o non esposti in riferimento alle radiazioni ionizzanti.

In particolare, per la categoria di "lavoratori esterni", definiti all'art. 4 come lavoratori esposti classificati di categoria A che effettuano prestazioni in una o più zone controllate gestite da terzi, il D.lgs. 230 introduce una tutela specifica (artt. 62 e 63), che comprende obblighi sia per il datore di lavoro dell'impresa esterna, sia per l'Esercente delle zone controllate, sia per il lavoratore stesso. Alla luce di questa cooperazione tra le due imprese, ai sensi dell'art. 26 del TU è necessario predisporre un documento unico per la

valutazione rischi da interferenze (DUVRI), considerando per i lavoratori esterni il rischio da radiazioni ionizzanti come rischio interferente, problematica che potrebbe essere trascurata dal momento che il TU non tratta al suo interno le radiazioni ionizzanti, che però, come detto, devono essere prese in considerazione in quanto agente di rischio. Per questi aspetti, nel caso di lavorazioni in zone controllate con lavoratori esterni di cat. A, oltre al DUVRI si aggiunge anche la predisposizione del documento di coordinamento - ex art 61 - a firma congiunta degli Esperti Qualificati, del DL della ditta esterna e dell'Esercente le zone controllate, contenente le valutazioni e le indicazioni di radioprotezione inerenti alle attività svolte dai lavoratori nelle zone controllate.

2.6 I mezzi di sorveglianza dosimetrica e di protezione

I Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) hanno uno stesso inquadramento legislativo nei due decreti.

Il Decreto 81 dedica ai DPI il Capo II del Titolo III specificando l'obbligo di uso, i requisiti, gli obblighi del datore di lavoro e dei lavoratori, i criteri per l'individuazione e l'uso nonché le relative sanzioni. Inoltre quando tratta i singoli fattori di rischio dà indicazioni specifiche per i DPI (vedi rumore) e li annovera tra le misure di prevenzione e protezione.

Nel Decreto 230/95, inoltre, gli obblighi previsti per i DPI e i mezzi di sorveglianza dosimetrica da parte del DL, dell'Esercente e dei lavoratori sono i medesimi: i due sistemi di sicurezza sono sempre citati insieme (artt. 61, 63 e 68) e spesso (artt. 61 e 68) il decreto utilizza l'espressione unica "mezzi di sorveglianza dosimetrica e di protezione" per indicarli entrambi.

Dunque l'organizzazione interna prevista per i DPI ai sensi del D.lgs. 81/08 potrebbe essere mutuata anche per i mezzi di sorveglianza dosimetrica ai sensi del 230/95. Ad esempio, per gli aspetti gestionali-organizzativi si può far riferimento per i due apparati normativi alla figura del "preposto".

Il D.lgs. 81/08 definisce il preposto come la "persona che, in ragione delle competenze professionali e nei limiti di poteri gerarchici e funzionali, sovrintende all'attività lavorativa e garantisce l'attuazione delle direttive ricevute, controllandone la corretta esecuzione da parte dei lavoratori ed esercitando un funzionale potere di iniziativa". In particolare, all'art. 19 tra gli obblighi del preposto il decreto prevede che sovrintenda e vigili sull'osservanza da parte dei singoli lavoratori dei loro obblighi di legge, nonché delle disposizioni aziendali in materia di salute e sicurezza sul lavoro e di uso dei mezzi di protezione collettivi e dei dispositivi di protezione

individuale messi a loro disposizione e, in caso di persistenza della inosservanza, informi i loro superiori diretti.

Il preposto è quindi la figura più consona da individuare come responsabile della sostituzione e redistribuzione e in generale della gestione della consegna dei DPI e dei mezzi di sorveglianza dosimetrica come tra l'altro previsto nella "Proposta di procedura per la gestione dei dispositivi di protezione individuale dalla radiazione X per uso medico-diagnostico: camici e collari per la protezione del lavoratore", Edizione 2016 Ricerca INAIL [16].

Si potrebbe prevedere quindi una specifica procedura unica all'interno di una struttura organizzativa per consegna dei DPI e dei mezzi di sorveglianza dosimetrica al lavoratore contestualmente alla compilazione di un apposito verbale di consegna, completo della scheda DPI, firmato dal lavoratore.

3. CONCLUSIONI: PROSPETTIVE FUTURE

La duplicazione dei sistemi di responsabilità, procedure e figure professionali potrebbe essere, come detto, conseguenza dei differenti approcci del legislatore europeo, in particolare nelle direttive 89/391/CE (direttiva quadro sulla sicurezza e salute del lavoro) e 96/29/Euratom ("vecchi" BSS standard). Con la direttiva 59/2013/Euratom si ritiene che il legislatore europeo abbia invece assunto l'intenzione di avvicinare il sistema di protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti a quello generale, in particolare sotto il profilo delle responsabilità. Ciò costituisce una proficua opportunità di una migliore e più efficiente armonizzazione tra il "nuovo" D.lgs. 230/95 (o quello che sarà il provvedimento di recepimento della direttiva 59/2013/Euratom) e il D.lgs. 81/2008.

3.1 Aspetti concernenti la protezione dei lavoratori

In relazione alle responsabilità sulla sorveglianza fisica e sulla protezione dalle radiazioni dei lavoratori, la direttiva 59/2013/Euratom configura come unico responsabile il DL, mentre l'Esperto in radioprotezione è la persona (o gruppo di persone) riconosciuta dall'autorità competente, che esprime pareri in materia di radioprotezione e fornisce una consulenza, coerentemente con l'approccio della direttiva 89/391.

Una nuova figura introdotta dalla direttiva 59/2013 è l'addetto incaricato della radioprotezione, che, si chiarisce, non è personale di supporto all'EQ, bensì una figura armonizzata a quella del Dirigente (qualora sia introdotta anche dal legislatore italiano), in quanto deve essere dotata di tutti i mezzi necessari per svolgere le proprie mansioni.

3.2 La sorveglianza sanitaria

Nella direttiva 59/2013 non si considera più la figura del medico, bensì quella di un servizio di medicina del lavoro, a cui ricondurre tutti gli aspetti della sorveglianza medica. Questa può essere la soluzione alla duplicazione dei protocolli di indagine, inserendo il lavoratore in un unico programma gestito dal suddetto servizio.

3.3 Aggiornamento del regime sanzionatorio

È auspicabile un aggiornamento del regime delle sanzioni in quanto il disegno complessivo della direttiva 59/2013 riduce le responsabilità dell'EQ, avvicinandolo, come detto, alla figura del valutatore del rischio secondo il TU.

3.4 Aggiornamento del sistema di deleghe

Un'altra azione di armonizzazione auspicabile è il coordinamento del sistema di deleghe da parte del DL, presente in maniera chiara nel TU e, invece, non considerato nel D.lgs. 230/95.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il dott. Luigi Frittelli e il dott. Marco Carnì per i consigli utili alla stesura del presente lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Decreto Legislativo 9 Aprile 2008, n. 81 - Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 Agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, G.U. n. 101 del 30 aprile 2008, Suppl. Ordinario n. 108.
- [2] Decreto Legislativo del Governo 17 marzo 1995 n° 230, modificato dal D.Lgs. 26 maggio 2000, n. 187, dal D.Lgs. 26 maggio 2000, n. 241, dal D.Lgs. 9 maggio 2001, n. 257, dal D.Lgs. 26 marzo 2001, n.151 e dalla Legge 1 marzo 2002, n. 39 - "Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti."
- [3] Direttiva 89/391/CEE del Consiglio, del 12 giugno 1989, concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro. Gazzetta ufficiale n. L 183 del 29/06/1989 pag. 0001 – 0008.
- [4] Decreto Legislativo 19 settembre 1994, n. 626. Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro. (GU Serie Generale n.265 del 12-11-1994 - Suppl. Ordinario n. 141).
- [5] Direttiva 84/467/Euratom del Consiglio del 3 settembre 1984 che modifica la direttiva 80/836/Euratom per quanto concerne le norme fondamentali relative alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti.
- [6] Direttiva 84/466/Euratom del Consiglio del 3 settembre 1984 che stabilisce le misure fondamentali relative alla protezione radiologica delle persone sottoposte ad esami e a trattamenti medici.
- [7] Direttiva 89/618/Euratom del Consiglio, del 27 novembre 1989, concernente l'informazione della popolazione sui provvedimenti di protezione sanitaria applicabili e sul comportamento da adottare in caso di emergenza radioattiva.

- [8] Direttiva 90/641/Euratom del Consiglio, del 4 dicembre 1990, concernente la protezione operativa dei lavoratori esterni esposti al rischio di radiazioni ionizzanti nel corso del loro intervento in zona controllata.
- [9] Direttiva 92/3/Euratom del Consiglio, del 3 febbraio 1992, relativa alla sorveglianza ed al controllo delle spedizioni di residui radioattivi tra Stati membri e di quelle verso la Comunità e fuori da essa.
- [10] Direttiva 96/29/Euratom del Consiglio del 13 maggio 1996 che stabilisce le norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti.
- [11] Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom.
- [12] Decreto Legislativo 241/00 per l'attuazione della Direttiva 29/96/Euratom che stabilisce le norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti (CdM 26.5.2000).
- [13] Legge 31 dicembre 1962, n. 1860 per l'impiego pacifico dell'energia nucleare. Gazzetta ufficiale gennaio 1963, n. 27).
- [14] Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 187. Attuazione della direttiva 43/97/EURATOM riguardante la protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connesse a esposizioni mediche.
- [15] Legge 18 dicembre 1973, n. 877. Nuove norme per la tutela del lavoro a domicilio. (GU Serie Generale n.5 del 05-01-1974)
- [16] <https://www.inail.it/cs/internet/docs/alg-proposta-di-procedura-per-la-gestione-dei-dispositivi.pdf>

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

NUOVI APPROCCI DELLA RADIOPROTEZIONE PER LE ATTIVITÀ NORM (NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS)

Rosabianca Trevisi ⁽¹⁾, Federica Leonardi ⁽¹⁾ e Cristina Nuccetelli ⁽²⁾

⁽¹⁾ INAIL, DiMEILA

⁽²⁾ ISS, Centro nazionale per la protezione dalle radiazioni e fisica computazionale

INTRODUZIONE E STATO DELL'ARTE

Con l'acronimo *NORM* (Naturally Occurring Radioactive Materials) si indicano i materiali con elevato contenuto di radioattività naturale; i *NORM* si rinvencono in molte lavorazioni come materie prime naturali (minerali, rocce, ecc.) o come risultato dei processi industriali (residui, prodotti secondari, effluenti, ecc.).

È opportuno tener conto della distinzione tra questo tipo di materiali, non impiegati per le intrinseche proprietà radioattive, e le sostanze radioattive pure di origine naturale che, viceversa, vengono utilizzate proprio grazie alle suddette proprietà radioattive.

Di conseguenza si intendono *attività NORM o industrie NORM* (dove *NORM* sta per *Naturally Occurring Radioactive Materials*) quelle che implicano “*l'uso o lo stoccaggio di materiali - o la produzione di residui - abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori e, eventualmente, di persone del pubblico*”, quindi che - all'interno del loro ciclo produttivo - utilizzano materie prime o producono residui *NORM*.

Si possono identificare *attività NORM* all'interno di molti settori

industriali: dall'industria petrolifera alla produzione di acido fosforico, dalla produzione del cemento o dei refrattari alla produzione geotermica di energia, ecc.

Alcuni settori industriali sono regolamentati dalla normativa di radioprotezione attualmente in vigore (D.Lgs 230/95 smi., [1]) e l'Allegato I-bis del citato decreto ne riporta l'elenco (Tabella 1).

Tabella 1. Elenco attività lavorative secondo l'Allegato I-bis Dlgs 230 s.m.i.

-
- Industria che utilizza minerali fosfatici e depositi per il commercio all'ingrosso di fertilizzanti;
 - Lavorazione di minerali nella estrazione di stagno, ferro-niobio da pirocloro e alluminio da bauxite;
 - Lavorazione di sabbie zirconifere e produzione di materiali refrattari;
 - Lavorazione di terre rare;
 - Lavorazione ed impiego di composti del torio, per quanto concerne elettrodi per saldatura con torio, produzione di lenti o vetri ottici e reticelle per lampade a gas;
 - Produzione di pigmento al biossido di titanio;
 - Estrazione e raffinazione di petrolio ed estrazione di gas, per quanto concerne presenza e rimozione di fanghi e incrostazioni in tubazioni e contenitori.
-

La necessità di regolamentazione deriva dal fatto che molte materie prime *NORM* e potenzialmente i prodotti finali e i residui/effluenti di fabbricazione, contengono radionuclidi della serie dell' ^{238}U , a volte anche del ^{232}Th , in concentrazioni tali da determinare un impatto radiologico per i lavoratori e per i membri del pubblico che non può essere trascurato dal punto di vista radioprotezionistico.

La legge, pertanto, prevede che, a cura di un Esperto Qualificato, sia eseguita una valutazione di dose per lavoratori e per membri del pubblico interessati dalla singola azienda; la legge, altresì, fissa i "livelli di azione" per i lavoratori e per i membri del pubblico (definito come il valore di dose efficace, il cui superamento richiede l'adozione di azioni di rimedio che riducano tale grandezza a livelli più bassi del valore fissato), superati i quali l'esercente deve intervenire per riportare le esposizioni al di sotto di essi, mediante cambiamenti al tipo di materie prime e/o al ciclo produttivo.

I livelli di azione, espressi in termini di dose efficace annua, sono pari a 1 mSv/anno per i lavoratori e a 0,3 mSv/anno per i membri del pubblico.

Va evidenziato che nella categoria "membri del pubblico" rientrano anche i lavoratori delle aziende diverse da quella ove si esercita l'attività *NORM*, pur se in qualche modo ad essa collegate (per l'allontanamento dei residui, per il riutilizzo dei medesimi, ...).

Nel caso in cui le dosi stimate rimangano superiori al livello di azione,

L'attività *NORM* è da intendere come una “pratica radiologica”, alla quale si applicano le disposizioni previste dal sistema di radioprotezione (Capo VIII – Protezione dei lavoratori e Capo IX – Protezione della popolazione del D.Lgs 230/95 smi).

Data la novità e la complessità della tematica, il D.Lgs 230/95 smi aveva previsto l’emanazione di linee guida per la valutazione della dose per lavoratori e membri del pubblico da parte di una commissione, che ad oggi non è stata istituita. Questa assenza ha reso di fatto *ardua* la completa attuazione della normativa vigente.

Direttiva 59/2013/Euratom (Basic Safety Standards, BSS)

La Direttiva 59/2013/Euratom (Basic Safety Standards, BSS, [2]) introduce profondi cambiamenti nei sistemi di radioprotezione dei Paesi Membri UE, con lo scopo di delineare un nuovo sistema regolatorio basato su un approccio graduale e flessibile che garantisca una protezione “ottimizzata” dei lavoratori e dei membri del pubblico.

I cambiamenti sono molteplici e profondi, a cominciare dall’approccio alla radioprotezione, prima basato sulla suddivisione delle attività lavorative che comportavano la presenza di radiazioni ionizzanti in “pratiche” o “interventi”, ed ora modificato alla luce della Raccomandazione ICRP n. 103 del 2007 [3]. L’ICRP 103, in particolare, individua 3 situazioni di esposizione, ciascuna delle quali necessita di idonei strumenti di radioprotezione per il controllo delle esposizioni:

- *Situazioni di esposizione pianificata*; definizione di *limiti di dose, livelli di esenzione/allontanamento*;
- *Situazioni di esposizione esistente*; definizione di *livelli di riferimento* (ex livelli di azione);
- *Situazioni di esposizione di emergenza*; definizione di *livelli di intervento* (ex livelli di azione).

A queste situazioni di esposizione si applicano i principi fondamentali di giustificazione e della ottimizzazione della protezione.

Nelle BSS, sin dalle enunciazioni iniziali (*consideranda*), le attività *NORM* sono inquadrare come “situazioni di esposizione pianificata” (pratiche radiologiche), sottoposte quindi al sistema di radioprotezione. Si prende atto, infatti, dell’evidenza che “le industrie che lavorano i materiali contenenti radionuclidi presenti in natura (*NORM*) estratti dalla crosta terrestre sottopongono i lavoratori e, se i materiali sono rilasciati nell'ambiente, gli individui della popolazione a un'accresciuta esposizione alle radiazioni” (*considerandum n. 15*) e che “la protezione dalle sorgenti di radiazioni naturali, anziché essere disciplinata distintamente sotto un titolo specifico, dovrebbe essere interamente integrata nelle disposizioni generali. In particolare, le industrie che lavorano materiali contenenti radionuclidi

presenti in natura (NORM) dovrebbero rientrare nell'ambito del medesimo quadro regolamentare delle altre pratiche” (considerandum n. 16).

Le BSS, inoltre, rispetto alla situazione attuale italiana, allargano la “platea” di settori industriali considerati di interesse, elencandoli nell’allegato VI (vedi Tabella 2): i sistemi di filtrazione delle acque sotterranee, la produzione geotermica di energia, le centrali a carbone (manutenzione delle caldaie), la produzione di cemento (manutenzione dei forni clinker), la produzione di ferro primario, ecc.

La Direttiva 2013/59/Euratom chiede quindi che gli Stati Membri, nell’ambito dei suddetti settori industriali elencati, individuino le attività lavorative di interesse (art.23 delle BSS). A tali attività si applicano le disposizioni del sistema regolatorio.

Tabella 2. Elenco dei settori industriali che comportano l’impiego di materiali contenenti radionuclidi presenti in natura di cui all’articolo 23 della Direttiva 59/2019/Euratom (*tratta da BSS, Allegato VI*)

-
- Estrazione di terre rare da monazite;
 - Produzione di composti di torio e fabbricazione di prodotti contenenti torio;
 - Lavorazione del minerale niobite-tantalite;
 - **Produzione di gas e petrolio;**
 - **Produzione di energia geotermica;**
 - Produzione del pigmento TiO₂;
 - **Produzione di fosforo** - processo termico;
 - **Industria zirconio e zirconio;**
 - Produzione di fertilizzanti fosfatici;
 - Produzione di acido fosforico;
 - **Centrali elettriche a carbone;**
 - **Produzione di cemento**, manutenzione di caldaie e forni per la produzione di clinker;
 - Produzione primaria di ferro;
 - Fusione di stagno/piombo/rame;
 - **Impianti filtrazione falde freatiche;**
 - Estrazione di minerali diversi da uranio.
-

Nota: in **grassetto** i settori nuovi rispetto a quelli già regolamentati dal D.Lgs. 230/95.

Quali situazioni di esposizione pianificata, alle *attività NORM* si applicano gli stessi *limiti di dose* definiti per le altre pratiche:

- **1 mSv/anno per l’esposizione non professionale; 6 mSv/anno per i lavoratori esposti in categoria B, 20 mSv/anno per i lavoratori esposti in categoria A;**
- **1 mSv/anno per i membri del pubblico.**

Come in generale è richiesto alle pratiche radiologiche, le *industrie NORM* devono notificare all'Autorità competente del Paese Membro l'inizio dell'attività (art.25 delle BSS) ed è facoltà del Paese Membro valutare ove le condizioni espositive necessitino di autorizzazione (in forma di registrazione o licenza): è da notare, tuttavia, nel caso si utilizzino *NORM* con concentrazioni di attività inferiori a 1 Bq/g (serie dell' ^{238}U e del ^{232}Th in equilibrio secolare) o 10 Bq/g (^{40}K) (art.26 delle BSS), l'*attività NORM* si configura come *pratica esente* dagli obblighi di notifica. Questi valori di concentrazione di attività rappresentano quindi i cosiddetti *livelli di esenzione*, presenti nella Tabella A - Parte 2 dell'Allegato VII delle BSS (vedi Tabella 3).

Gli stessi valori di concentrazione di attività sono da intendere anche come *livelli di allontanamento*, ossia i livelli per cui il materiale (residui/rifiuti) può essere rimosso senza vincoli di natura radiologica: è da ricordare per segmenti delle serie naturali si possono ipotizzare livelli di esenzione/allontanamento più alti, questo è il caso del ^{210}Pb e del ^{210}Po .

Quindi laddove le attività utilizzano materie prime o producono residui solidi, il cui contenuto di radioattività naturale è inferiore ai valori forniti in Tabella 3 (*Livelli di esenzione e di allontanamento*), l'attività può essere considerata "esente" dagli altri obblighi e il materiale o il residuo può essere semplicemente allontanato o messo a disposizione ai fini del riutilizzo, del riciclo, o dello smaltimento tradizionale o del suo incenerimento.

L'esenzione dalla notifica e l'allontanamento sono ottenibili, malgrado le concentrazioni di attività superino le soglie sopra riportate, se sono rispettati i *criteri generali di esenzione e allontanamento*.

I *criteri generali di esenzione e allontanamento* sono definiti in termini dosimetrici e in questo caso sono fissati pari ad una dose efficace 1 mSv/anno (o meno se il Paese Membro ritiene opportuno), intesa come incremento di dose rispetto al fondo naturale. La Direttiva specifica che *la valutazione delle dosi cui sono esposti individui della popolazione tiene conto non solo delle vie di esposizione tramite effluenti gassosi o liquidi, ma anche delle vie derivanti dallo smaltimento o dal riciclo di residui solidi*. I *criteri generali di esenzione e allontanamento* si applicano sia ai lavoratori e che ai membri del pubblico.

In altri termini, nelle BSS si afferma che, nell'ambito della *pratica esente*, l'incremento di dose (*rispetto al fondo naturale*) dovuto ad esposizione materie *NORM* è nell'ordine di 1 mSv/anno o meno (*Criteri generali di esenzione e di allontanamento*), tenuto conto delle diverse modalità di esposizione.

È esplicitamente esclusa l'applicazione dei *Livelli di esenzione e di allontanamento* in caso di incorporazione di *residui NORM* nei materiali da

costruzione: in questa circostanza per la verifica della conformità, si fa riferimento alle disposizioni relative al controllo dell'esposizione da radionuclidi naturali contenuti nei materiali da costruzione (art. 75 delle BSS, livello di riferimento pari ad 1 mSv y^{-1}).

Tabella 3. Radionuclidi naturali - Valori per l'esenzione o l'allontanamento dei radionuclidi naturali presenti nei materiali solidi in equilibrio secolare con i loro prodotti di filiazione (*tratta da BSS, Allegato VII Criteri di esenzione e di allontanamento; Tabella A 2*)

Radionuclidi naturali della serie U-238	1 Bq g^{-1}
Radionuclidi naturali della serie Th-232	1 Bq g^{-1}
K-40	10 Bq g^{-1}

Occorre quindi porre particolare attenzione al fatto che nelle BSS, la dose di 1 mSv y^{-1} coincide con il criterio per:

- l'esenzione della pratica dall'obbligo della notifica;
- l'allontanamento di materiali da una pratica autorizzata.

Attività di raccolta di informazioni circa le industrie NORM in Italia

In Italia diversi gruppi di lavoro, composti da esperti delle ARPA/APPA e delle maggiori istituzioni nazionali (quali ISS e ENEA-INMRI), su richiesta di ISPRA (ora ISIN) e/o del Ministero dell'Ambiente (MATTM), hanno provveduto alla raccolta di informazioni relative alla presenza di *industrie NORM* in Italia e alla definizione di metodologie per la valutazione della dose per lavoratori e membri del pubblico.

Nel 2004 è stata pubblicata una raccolta, di carattere preliminare e non esaustivo, relativa alla potenziale consistenza numerica e geografica degli impianti a potenziale impatto ambientale/radiologico dovuto ai *NORM*, analizzando ciascuna delle tipologie di attività [4]: tale raccolta è stata aggiornata nel 2014 [5] e ampliata nel 2015 [6]. Quest'attività, malgrado non si possa considerare esaustiva, ha reso disponibili molte informazioni relativamente ai diversi tipi di impianti, alle tipologie dei processi industriali e alle caratteristiche chimico/fisiche e radiologiche delle materie prime utilizzate e dei residui prodotti, anche perché ha potuto essere supportata da un'intensa attività sperimentale (misure di irraggiamento, prelevamento di campioni, misure di spettrometria gamma e misure di spettrometria alfa e beta); nell'ambito di queste attività sono stati considerati diversi "casi-studio" per valutare l'applicazione delle suddette metodologie.

Queste indagini hanno messo in evidenza il fatto che alcune tipologie di *industrie NORM* sono spesso particolarmente presenti in alcune regioni: ad esempio, l'Emilia Romagna e in particolare il distretto di Sassuolo si

caratterizza per l'elevata presenza di aziende che operano nel settore di produzione dei refrattari, piastrelle ecc. In Toscana operano diversi impianti geotermici per la produzione di energia ed è presente una delle maggiori aziende specializzate nella produzione del biossido di titanio (TiO_2); in Basilicata si registra una notevole attività di estrazione del petrolio. In Puglia sono presenti sia centrali a carbone che impianti di produzione dell'acciaio.

Problematiche inerenti la caratterizzazione radiometrica dei NORM – Cenni

Non è possibile in questa sede trattare in modo approfondito i protocolli analitici e/o la normativa tecnica. Tuttavia è indispensabile fare un cenno circa le più rilevanti problematiche tecniche inerenti la caratterizzazione radiometrica dei *NORM*.

In questi anni, molto lavoro è stato fatto per identificare le metodologie di misura più idonee alla caratterizzazione radiometrica dei *NORM*, per definire procedure di campionamento corrette e volte a garantire la rappresentatività, e per mettere a punto metodi di stima della dose della popolazione (membri del pubblico) e dei lavoratori [7].

Per *caratterizzazione radiometrica* dei *NORM* si intende essenzialmente la determinazione delle concentrazioni di attività dei radionuclidi delle serie naturali di ^{238}U e ^{232}Th , e del ^{40}K . In prima battuta si può trascurare la serie dell' ^{235}U data la sua scarsa abbondanza isotopica.

I radionuclidi delle serie naturali di ^{238}U e ^{232}Th possono trovarsi in equilibrio secolare con il proprio capostipite (questa è la condizione ricorrente nel caso delle materie prime – tipicamente rocce o minerali) oppure no (nel caso di prodotti intermedi o residui dei processi industriali): in queste situazioni è più opportuno trattare le due serie naturali in termini di semiserie, ovvero di segmenti di catene costituite da un progenitore di tempo di dimezzamento non breve e discendenti di emivita breve in equilibrio secolare con lo stesso.

Da un punto di vista analitico, pertanto, è consigliata la misura della concentrazione di attività di almeno un radionuclide per ciascuna semiserie per avere il controllo su tutta la serie: per ulteriori dettagli si rimanda alla pubblicazione [6]. A seguire, nella Tabella 4 è riportata la segmentazione delle catene di ^{238}U e ^{232}Th per semiserie, tratta da [6].

La conoscenza sull'equilibrio secolare o meno della catena naturale nel suo complesso è conseguenza dall'attività sperimentale (accordo tra i risultati delle misurazioni delle diverse semiserie) e/o da informazioni sul processo lavorativo: ad esempio, come accennato, nel caso delle materie prime la condizione di equilibrio secolare è riscontrabile anche sperimentalmente mentre è noto il disequilibrio che si realizza nei processi termici come

quelli per la produzione di acido fosforico ove il ^{226}Ra a seguito dell'attacco chimico si concentra nel sottoprodotto, il fosfogesso, e non nel prodotto principale (l'acido fosforico).

Principali riferimenti per la valutazione della dose per i membri del pubblico

Per valutare l'impatto radiologico di un'attività NORM sui membri del pubblico, si può procedere inizialmente ad uno screening, partendo da ipotesi molto conservative: nel caso in cui le valutazioni iniziali fornissero un valore superiori all'attuale livello di azione fissato dalla normativa italiana vigente, oppure ai criteri di dose delle BSS, si può procedere a stime più accurate, che tengano conto della specifica condizione espositiva. Per la metodologia di screening in merito all'allontanamento dei materiali solidi dalla lavorazione NORM, un'ottima base di riferimento è il documento *Radiation Protection 122 - Practical use of the concepts of clearance and exemption - Part II Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources* (RP-122 Part II, [8]).

Tabella 4. Semiserie delle catene naturali di ^{238}U e di ^{232}Th

Segmento catena	Nuclidi considerati in equilibrio secolare
U-238+	U-238, Th-234, Pa-234m
U-234	U-234
Th-230	Th-230
Ra-226+	Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214
Pb-210+	Pb-210, Bi-210
Po-210	Po-210
Th-232	Th-232
Ra-228+	Ra-228, Ac-228
Th-228+	Th-228, Ra-224, Po-216, Pb-212, Bi-212, Po-212 (diramazione), Tl-208 (diramazione)
Catena intera	Segmenti in equilibrio secolare
U-238sec	U-238+, U-234, Th-230, Ra-226+, Pb-210+, Po-210
Th-232sec	Th-232, Ra-228+, Th-228+

Nota: In grigio sono evidenziate le semiserie determinabili mediante spettrometria gamma

La RP-122 Part II è una linea guida di notevole importanza e di estrema attualità. In tale documento sono forniti i livelli generalizzati di allontanamento (*General Clearance Levels – GCLs*, riportati in Tabella 5)

ossia concentrazioni di attività conformi al rispetto del criterio di dose efficace di 0,3 mSv/anno, utilizzabili per qualsiasi tipo di materiale (ad eccezione che per situazioni specifiche quali i fondami dell'industria petrolifera, per i quali sono stabiliti livelli *ad hoc*) e a prescindere dagli scenari espositivi: è da rammentare che i *GCLs* riguardano solo i residui *NORM* (non le materie prime e i prodotti).

Nel caso sia necessario o opportuno eseguire valutazioni di dose specifiche o più accurate, si può ricorrere a modelli previsionali di calcolo (ad esempio RESRAD, [9]), o considerare specifici parametri di input nelle valutazioni dosimetriche effettuate secondo il metodo della RP-122 Part II.

Allo stato attuale quindi anche se il D.Lgs 230/95 smi non ha definito dei livelli di allontanamento o *clearance* (in termini di concentrazioni di attività dei radionuclidi di interesse) al di sotto dei quali non è necessario fare altre considerazioni radioprotezionistiche, occorre ricordare che il citato decreto, nella sua stesura, aveva tenuto conto delle indicazioni tecniche fornite dal RP-122 part II.

Se confrontiamo le BSS rispetto alla RP-122 Part II, possiamo osservare che l'incremento del criterio di dose riferito alla popolazione (*Criteri generali di esenzione e di allontanamento*, ora pari a 1 mSv/anno rispetto a 0,3 mSv/anno), ha determinato un raddoppio dei valori dei *Livelli di esenzione e di allontanamento*, definiti in termini di concentrazione di attività.

Tabella 5. *General Clearance Levels*, tratti da RP 122 – Part II

Radionuclidi naturali della serie U-238	0,5 Bq g ⁻¹
Radionuclidi naturali della serie Th-232	0,5 Bq g ⁻¹
K-40	5 Bq g ⁻¹

Nel caso di effluenti liquidi rilasciati da *industrie NORM*, il documento di riferimento è la pubblicazione *Radiation Protection Effluent and dose control from European Union NORM industries: Assessment of current situation and proposal for a harmonised Community approach Volume 1: Main Report Issue N° 135* (RP-135, [10]). In tale documento sono fornite le dosi efficaci individuali annue per unità di attività rilasciata (ovvero i livelli di attività annua scaricata corrispondenti al criterio di dose efficace di 0,3 mSv/anno) per le emissioni in atmosfera (per diverse altezze efficaci dei camini), in un fiume (per diverse portate del corpo idrico), in mare (aperto o costiero): la RP-135 non considera lo scenario di convogliamento degli effluenti liquidi *NORM* verso depuratore pubblico. In questo modo è possibile procedere una valutazione iniziale dell'impatto radiologico (screening).

Per gli altri scenari non trattati nella RP-135, è possibile fare riferimento ad

altre linee guida della IAEA o di altre istituzioni internazionali.

Se si rende necessario eseguire valutazioni di dose più specifiche o accurate, sono disponibili dei modelli previsionali di calcolo (PC Cream [11], ADMS [12], Poseidon [13]) oppure adattare con opportuni parametri di input i modelli forniti dai documenti di screening al caso in esame.

Alcuni riferimenti per la valutazione della dose ai lavoratori delle industrie *NORM*

Per effettuare stime della dose ricevuta dai lavoratori delle industrie *NORM*, il documento *Task n 03.02.01. VALUTAZIONE DI IMPATTI RADIOLOGICI DA NORM* [6] fornisce una metodologia per una stima conservativa, basata su alcune ipotesi nell'espressione degli algoritmi (nel calcolo della dose da inalazione, presume l'assenza di fattori di riduzione legati all'uso di mascherine protettive, etc.) e su alcuni parametri di input (quali tempi di permanenza nelle zone con presenza di *NORM*, coefficienti di emanazione del radon dal materiale, ...). Tale metodologia è applicabile sia nel caso si abbiano a disposizione i risultati di misurazioni *in situ* di rateo dose da irradiazione esterna, di concentrazione in aria di radon o di particolato radioattivo, sia nel caso in cui le stime di dose siano basate sui dati di concentrazione di attività nei materiali *NORM*.

La metodologia proposta considera diverse vie di esposizione: irradiazione esterna, inalazione di particolato radioattivo, inalazione di gas radon, in quanto nello scenario descritto, il lavoratore dell'industria *NORM*, tipicamente, è esposto per irraggiamento esterno dai materiali, per inalazione di polveri di materiale risospeso, per inalazione di radon esalato dai materiali.

Pertanto, la dose complessivamente ricevuta dal lavoratore è il risultato della somma di diversi contributi e di tutti i radionuclidi coinvolti:

$$E_{\text{tot},i} = E_{\text{irr},i} + E_{\text{in},i} + E_{\text{Rn}}$$

dove $E_{\text{tot},i}$ = dose efficace individuale totale dovuta all'*i*-esimo radionuclide (Sv/anno);

$E_{\text{irr},i}$ = dose efficace individuale per irradiazione esterna dovuta all'*i*-esimo radionuclide (Sv/anno);

$E_{\text{in},i}$ = dose efficace individuale per inalazione dovuta all'*i*-esimo radionuclide (Sv/anno);

E_{Rn} = dose efficace individuale per inalazione di ^{222}Rn (Sv/anno);

Nella stima del contributo dosimetrico per irradiazione esterna e radon, un aspetto generale molto importante è come trattare il fondo naturale di radiazione. Il documento [6] sottolinea che nelle misure, il contributo di

irradiazione esterna e di radon dovuto al fondo locale va quantificato e sottratto al totale rilevato, in quanto la dose da confrontare con il livello di azione (o il livello di riferimento) è quella generata esclusivamente dal *NORM*: vengono quindi fornite le indicazioni operative, evidenziando anche situazioni in cui occorre utilizzare un approccio differente (ossia quando la presenza di materiale *NORM* è dominante, ecc.).

Conclusioni

Diversi settori industriali *NORM* sono stati regolamentati dalla vigente normativa di radioprotezione sin dal 2000. Il recepimento della Direttiva 59/2013/EURATOM (Basic Safety Standards, BSS) introduce profondi cambiamenti in questo ambito del sistema regolatorio e richiede l'estensione dei nuovi adempimenti anche ad altri settori industriali.

Nella Direttiva 59/2013/Euratom le *attività NORM* sono considerate come "situazioni di esposizione pianificata" (pratiche radiologiche), sottoposte quindi al sistema di radioprotezione. I settori industriali che rientrano nel campo di applicazione sono maggiori rispetto alla normativa italiana vigente (D.Lgs 230/95 smi).

Il quadro nazionale circa la numerosità e la presenza di industrie *NORM* in Italia tracciato in questi anni necessita di essere aggiornato anche alla luce dei nuovi settori coinvolti.

Occorre uno sforzo da parte della comunità scientifica e delle istituzioni centrali e regionali per la messa a punto di procedure operative che aiutino gli *stakeholders* nell'assolvimento degli obblighi previsti dalla prossima normativa, per la validazione delle metodologie per la stima della dose ai lavoratori e ai membri del pubblico, oltre che per assicurare che i metodi di misura necessari alla caratterizzazione radiometrica dei *NORM* siano correttamente applicati.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Decreto Legislativo del Governo 17 marzo 1995 n° 230. "Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti. Gazz. Uff. 13 giugno 1995, n. 136, S.O.
- [2] Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom. GUCE 57 17 gennaio 2014 L13.
- [3] International Commission on Radiological Protection (ICRP). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37 (2-4), 2007.
- [4] APAT. Attività lavorative con materiali ad elevato contenuto di radioattività naturale (NORM). RTICTN_AGF 3/2004.
- [5] ISPRA e ARPA/APPA. 2014. Report della Task 03.01.01. Censimento attività/siti con NORM e raccolta delle analisi di rischio. ISPRA, 2014. <http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/resorad/Censimento attivita NORM.pdf/>.
- [6] ISPRA e ARPA/APPA. 2015. Report della Task 03.02.01. Valutazione di impatti radiologici da NORM. ISPRA, 2015. <http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/resorad/Valutazione impatto da NORM.pdf/>
- [7] F. Trotti, S. Bucci, E. Caldognetto, E. Chiaberto, G. Colombo, R. Fresca Fantoni, M. Garavaglia, C. Giovani, G. Menna, C. Nuccetelli, I. Peroni, R. Rusconi, E. Serena, G. Torri, L. Vitucci, 2014 - Metodi di valutazione della dose da attività con NORM, in atti del XXXVII Convegno nazionale AIRP Aosta 15-17 Ottobre 2014, pp 67-83.
- [8] European Commission. Radiation Protection 122. Practical use of the concepts of clearance and exemption Part II Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002 ISBN 92-894-3315-9. European Communities, 2002.

- [9] RESRAD version 6.4 (Argonne, IL: Argonne National Laboratory), (2007).
- [10] European Commission, 2003. Radiation Protection Effluent and dose control from European Union NORM industries: Assessment of current situation and proposal for a harmonised Community approach Volume 1: Main Report Issue N° 135. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003 ISBN 92-894-6361-9 (vol. 1) European Communities, 2003.
- [11] PC-Cream, Public Health England, Chilton, Didcot, Oxon OX11 0RQ.
- [12] ADMS – Urban, Cambridge Environmental Research Consultants UK.
- [13] POSEIDON model, Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire (CEPN) BP 48, 92263 Fontenay-aux-Roses, France.

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

IL RISCHIO DA ESPOSIZIONI A CEM IN AMBIENTE SANITARIO: IL PROGETTO CRAEM PER PROMUOVERE LA SICUREZZA CON LA REALTÀ AUMENTATA

Raffaele d'Angelo ⁽¹⁾, **Rita Massa** ⁽²⁾, **Gabriella Duca** ⁽³⁾

⁽¹⁾ Contarp-INAIL-Direzione regionale per la Campania

⁽²⁾ Università degli Studi di Napoli Federico II- Dipartimento di Fisica

⁽³⁾ Institute for Sustainable Society and Innovation

INTRODUZIONE

La presenza di sorgenti di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) negli ambienti di lavoro è diventata sempre più massiva negli ultimi anni. Il recente recepimento della Direttiva Europea 2013/35/UE [1], e l'attuazione delle prescrizioni minime in materia di protezione da esposizione ai CEM negli ambienti di lavoro (D.Lgs 159, 1 Agosto 2016), [2] richiedono l'obbligo, da parte del datore di lavoro, di individuare le sorgenti di CEM, valutarne il rischio tramite strumenti adeguati in conformità alle norme di emanazione europea, e adottare misure di contenimento e di prevenzione del rischio. Devono essere inoltre fornite ai lavoratori e ai rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza informazioni sulle situazioni di rischio di esposizione. Ciò richiede una caratterizzazione accurata ed esaustiva delle sorgenti di CEM presenti nei luoghi di lavoro, insieme ad un adeguato processo di formazione ed educazione dei lavoratori. In tal modo, l'esposizione potrà essere ridotta, per quanto possibile, applicando, senza eccessivi allarmismi, una corretta politica di prevenzione e riduzione dei rischi. Questo aspetto della sicurezza sul lavoro è particolarmente rilevante nell'ambiente sanitario, dove sono molteplici le apparecchiature che impiegano i CEM per svariate applicazioni (es. diagnostica, terapia, comunicazioni wireless, elettromedicali).

Il contributo illustra metodologia e risultati del progetto “CRAEM Comunicazione in realtà aumentata per la protezione dei lavoratori dal rischio campi elettromagnetici in ambiente sanitario, che ha avuto lo scopo di promuovere la sicurezza rispetto al rischio da esposizioni a CEM in ambiente sanitario, utilizzando tecniche innovative di comunicazione, formazione e fruibilità delle informazioni.

IL RISCHIO DA ESPOSIZIONE AI CEM IN AMBITO SANITARIO

La pubblicazione del D.Lgs 159 del 1° Agosto 2016 ha finalmente colmato un vuoto normativo che si protraeva da diversi anni. La rielaborazione della Direttiva Europea 2013/35/UE, che è alla base del decreto, ha dovuto tener conto della evoluzione tecnologica, a cui stiamo assistendo e ne siamo coinvolti.

Il campo di applicazione del decreto (Art. 206) determina “i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall’esposizione ai campi elettromagnetici (da 0 Hz a 300 GHz) durante il lavoro”. Le disposizioni riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori/lavoratrici dovuti agli effetti a breve termine scientificamente accertati, non essendo stati evidenziati effetti correlati a esposizioni prolungate. Una importante novità è relativa alla definizione dei Valori Limite di Esposizione (VLE)” distinti in “VLE relativi agli effetti sanitari”, VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a effetti nocivi per la salute (effetti termici o stimolazione del tessuto nervoso o muscolare) e “VLE relativi agli effetti sensoriali”, VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a disturbi transitori delle percezioni sensoriali e a modifiche minori nelle funzioni cerebrali. In questo modo si è tenuto conto di sintomi spesso lamentati da operatori che si trovano soprattutto esposti a campi di induzione magnetica (B) presenti in ambienti sanitari (risonanza magnetica). La comparsa di vertigini, sensazione di sapore metallico, “lampeggiamenti” sono stati interpretati come dovuti al movimento in zone in cui c’è una rapida variazione dei valori di B (traslazione e/o rotazione del corpo o di alcune parti del corpo come la testa) che inducono l’eccitazione di magnetofosfeni presenti nella retina o la deflessione della cupola nell’apparato uditivo. Tali effetti non termici (stimolazione di muscoli, nervi e organi sensoriali) “possono essere di detrimento per la salute mentale e fisica dei lavoratori esposti” e sono stati considerati sebbene i disturbi risultino temporanei. Si ritiene infatti che questi effetti reversibili possano comunque influenzare le capacità cognitive o altre funzioni cerebrali o muscolari e, pertanto, influire negativamente sulla capacità di un lavoratore di operare in modo sicuro. Di conseguenza i “valori di azione (VA)”, livelli operativi stabiliti per semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai pertinenti VLE e, ove appropriato, per prendere le opportune misure di protezione o prevenzione” vengono a loro

volta distinti in “VA inferiori” i valori cioè connessi ai VLE relativi agli effetti sensoriali e per “VA superiori” quelli connessi ai VLE relativi agli effetti sanitari.

Il datore di lavoro deve assicurare che l’esposizione dei lavoratori ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici non superi i VLE relativi agli effetti sanitari e i VLE relativi agli effetti sensoriali, dimostrando che i pertinenti VA non siano stati superati. Sono comunque previste situazioni in cui può essere richiesta una deroga dove il superamento temporaneo dei VLE sensoriali può essere giustificato dalle pratiche necessarie per condurre l’attività lavorativa e non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari.

Uno dei principali riferimenti utilizzabili ai fini della valutazione del rischio per i lavoratori esposti a campi elettromagnetici è la norma CEI EN 50499 “Procedura per la valutazione dell’esposizione dei lavoratori a campi elettromagnetici” [3]. Una volta censiti i luoghi e le apparecchiature, queste devono essere classificate secondo i livelli di emissione attesi. Nel caso tali livelli non superano quelli consentiti per la popolazione [4,5] le sorgenti sono considerate “giustificabili” e i luoghi conformi *a priori*. In [3] sono anche riportate tabelle che elencano apparecchiature che ricadono nel primo o secondo caso, aiutando così il datore di lavoro a identificare la condizione da prendere in esame, e viene definita la procedura di zonizzazione. Possono così essere individuate 3 zone: **Zona 0** (dove i livelli di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico rispettano i limiti per la popolazione generale, oppure in cui tutte le sorgenti presenti sono conformi *a priori*), **Zona 1** (sono superati i valori limite per la popolazione ma sono sicuramente rispettati i limiti per il lavoratori/lavoratrici), **Zona 2** (sono superati i limiti occupazionali e ed è interdetto l’accesso).

In ambiente sanitario sono diversi gli apparati che impiegano campi elettrici, magnetici o elettromagnetici per trattamenti terapeutici o indagini diagnostiche [6]. La presenza dell’operatore durante le procedure è spesso necessaria. La loro collocazione è svariata e spesso non permanente rendendo così più critica la segnalazione delle aree ad accesso consentito solo ai lavoratori/lavoratrici o interdette. La possibilità di avere in tempo reale una banca dati in cui verificare la tipologia dell’apparecchiatura in esame e di individuare le eventuali zone di rispetto è sicuramente un grande vantaggio sia per gli addetti alla sicurezza sia per l’operatore che è immediatamente consapevole delle condizioni di esposizione in cui si trova.

IL PROGETTO CRAEM

Il progetto CRAEM è stato realizzato nell’ambito dell’Avviso Pubblico per la presentazione di proposte progettuali finalizzate allo sviluppo dell’azione prevenzionale nell’ambito regionale in materia di salute e sicurezza sul lavoro. Criteri di valutazione. Anno 2016 - II Edizione, emanato da INAIL Direzione Regionale Campania. CRAEM è stato finalizzato a promuovere la

sicurezza rispetto al rischio da esposizioni a CEM in ambiente sanitario grazie all'impiego di tecnologie innovative per la comunicazione del rischio ai lavoratori. Il progetto è stato sviluppato secondo i seguenti step: (i) Raccolta ed analisi dei dati reperibili da banche dati accreditate sugli apparati impiegati in ambito sanitario, (ii) Configurazione di una piattaforma gratuita per la comunicazione in realtà aumentata dei rischi elettromagnetici in ambito sanitario, (iii) Diffusione e Promozione dell'attività e della tecnologia acquisita. L'impiego di una APP per dispositivi mobili personali ha consentito di aumentare l'impatto della comunicazione delle informazioni, in quanto queste resteranno permanentemente disponibili e fruibili grazie ai dispositivi personali degli operatori che accedono al set di dati caricato nel Data Base reso disponibile nell'APP. Il progetto ha anche definito una guida all'adozione e configurazione della piattaforma in realtà aumentata sui rischi elettromagnetici in ambito sanitario, che rappresenterà una best practice per gli RSPP del settore.

L'APP CRAEM

Il progetto CRAEM ha impiegato una APP Android® per la comunicazione dei rischi in realtà aumentata, utilizzata per la realizzazione del Documento di Valutazione dei Rischi (DVR) interattivo.

L'APP, realizzata con il laboratorio IDEAS – DII dell'Università Federico II, è stata configurata per il riconoscimento e la comunicazione dei rischi elettromagnetici in ambito sanitario. In tal modo, le informazioni, una volta veicolate, resteranno permanentemente disponibili e fruibili dai dispositivi mobili personali degli operatori.

La versione finale dell'app è destinata a due tipologie di utenti: Responsabili al servizio di prevenzione e protezione (RSPP) e i lavoratori. Le due modalità di funzionamento presentano caratteristiche d'utilizzo diverse, per cui si rende necessaria l'identificazione iniziale dell'utente. Quali misure di tutela, vengono individuate, intorno allo strumento, le zone il cui accesso può essere consentito a tutti (Zona 0), consentito solo ai lavoratori con comprovata assenza di controindicazioni all'esposizione a CEM (Zona 1), o interdetto a tutti, lavoratori inclusi (Zona 2). A seguito delle configurazioni realizzate dall'utente RSPP, l'utente lavoratore che si trovi nei pressi di una apparecchiatura identificata e classificata come sorgente di CEM verrà automaticamente avvisato tramite vibrazione ed eventuale segnale acustico se oltrepassa il limite delle classificate come Zona 1 o 2. Lo schema seguente illustra le principali funzionalità dell'APP CRAEM per i due profili utente.

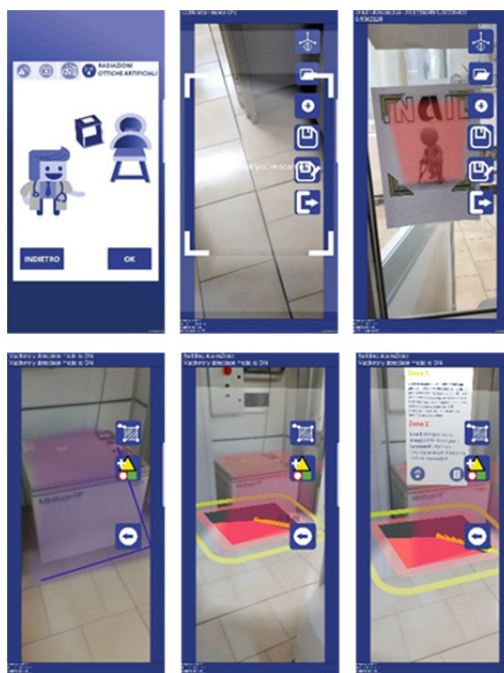
Installazione e accesso

Registrazione o login utente RSPP

- Calibrazione dell'app per l'identificazione dell'ambiente
- Selezione della tipologia di apparecchiatura sorgente CEM
- Inquadramento della sorgente CEM e tracciamento del perimetro dell'apparecchio
- Visualizzazione delle aree e perimetri di Zona 1 e Zona 2
- Salvataggio e modifica
- Consultazione dei dettagli sull'apparecchiatura e sulle modalità di misura, consultazione delle restrizioni associate a Zona 1 e Zona 2

Registrazione o login utente Lavoratore

- Calibrazione dell'app per l'identificazione dell'ambiente
- Visualizzazione delle aree e perimetri di Zona 1 e Zona 2
- Consultazione dei dettagli sull'apparecchiatura e sulle modalità di misura, consultazione delle restrizioni associate a Zona 1 e Zona 2



Per la configurazione della piattaforma sono stati raccolti dati relativi alle tipologie di sorgenti di CEM, con relative caratteristiche tecniche, che determinano esposizione occupazionale in ambiente sanitario, utilizzando come fonte la Banca Dati Campi Elettromagnetici del portale PAF (Portale Agenti Fisici) dell'INAIL [7].

L'APP offre i dati di 33 apparecchiature sorgenti di CEM delle seguenti tipologie: Coperte, cuscinetti, materassi termici uso medico, Defibrillatore, Diatermia - Tecar Terapia, Elettrobisturi, Magnetoterapia, Stimolatore Transcranico.

È così garantita, ai datori di lavoro e /o ai loro consulenti, un'agevole reperibilità delle condizioni di esposizione dei lavoratori ai CEM generati da macchinari/impianti/sorgenti comunemente utilizzati in ambito sanitario, e delle azioni da intraprendere per minimizzare tale esposizione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] 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. Official Journal of the European Union, 29/6/2013, L 179/1.
- [2] 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, 18/08/2016, Serie Generale n. 192
- [3] Comitato Elettrotecnico Italiano: "Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici". Norma CEI EN 50499, novembre 2009
- [4] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti". Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n.200 del 29 agosto 2003
- [5] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz". Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n.199 del 28 agosto 2003
- [6] A. Bogi, I. Pinto, N. Stacchini, D. Andreuccetti, N. Zoppetti: I CEM in ambito sanitario: valutazione e prevenzione del rischio. Risultati di una ricerca condotta a livello regionale. Ed. G.E.C.O. Eventi – 2013
- [7] https://www.portaleagentifisici.it/fo_campi_elettromagnetici

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

CEM: LE CONDIZIONI CHE POSSONO COMPORTARE UNA MAGGIORE SUSCETTIBILITÀ DEI LAVORATORI E LE MISURE DI PREVENZIONE

Fabriziomaria Gobba ⁽¹⁾ Alberto Modenese ⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Cattedra di Medicina del Lavoro, Dipartimento di Scienze Biomediche, Metaboliche e Neuroscienze, Università di Modena e Reggio Emilia*

INTRODUZIONE

Una doverosa premessa, necessaria per inquadrare in modo preciso l'oggetto della presentazione, è che i rischi da esposizione occupazionale dai campi elettromagnetici (CEM) presi in considerazione dalla normativa attuale (D.Lgs 81/2008 e s.m.i.) [1] sono “ *...i rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti biofisici diretti e agli effetti indiretti noti provocati dai campi elettromagnetici..*” (art. 206), che sono poi meglio dettagliati nell'art. 207. Non sono invece considerati gli “ *.... eventuali effetti a lungo termine* ”. Su questi presupposti, i Valori Limite di Esposizione (VLE) e i Valori di Azione (VA) che vengono previsti dal Decreto “ *..... riguardano soltanto le relazioni scientificamente accertate tra effetti biofisici diretti a breve termine ed esposizione ai campi elettromagnetici*” [1, 2].

Il Capo IV del Titolo VIII del Decreto Legislativo 81/2008, così come aggiornato dal Decreto Legislativo 159/2016, riprendendo in modo sostanzialmente specularmente la Direttiva 2013/35/EU [2] da cui deriva, prevede in modo esplicito l'esistenza, nei lavoratori esposti a CEM, di specifiche condizioni che possono comportare una maggiore suscettibilità a tale rischio: all'art. 209, infatti, esplicitamente richiede di prestare “ *....particolare*

attenzione...“ a “...tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio...”, riportando anche una lista, non considerabile però esaustiva, di tali lavoratori: “ ... con particolare riferimento a soggetti portatori di dispositivi medici impiantati, attivi o passivi, o dispositivi medici portati sul corpo e le lavoratrici in stato di gravidanza”. Non può essere taciuto che le conoscenze sulle condizioni che comportano una “particolare sensibilità” ai CEM, sui meccanismi e sulle specifiche condizioni di esposizione che generano un rischio per questi lavoratori sono da considerarsi ancora non adeguatamente esaustive, così come va anche rilevato che, per questi lavoratori, il rispetto dei Valori Limite di Esposizione definiti dal D.lgs. 81/08 e s.m.i può non essere adeguatamente protettivo [3,4].

Il Medico del lavoro incaricato della Sorveglianza Sanitaria di lavoratori esposti a CEM si trova di quindi di fronte ad una serie di problematiche che finora non sembrano essere state sufficientemente chiarite. Con questa relazione ci proponiamo di fornire un contributo per affrontare tali problematiche, concentrandoci in particolare sui due aspetti che ci sembrano di maggior rilievo in questo ambito:

- chi sono i “*lavoratori particolarmente sensibili al rischio*”, ovvero in base alle conoscenze attuali, quali condizioni possono comportare una particolare sensibilità ai CEM, e attraverso quali meccanismi?

- quali possibili criteri possono essere applicati per attuare un’efficace Sorveglianza Sanitaria (SS) nei confronti dei lavoratori nei quali sono state identificate tali condizioni?

I LAVORATORI PARTICOLARMENTE SENSIBILI AI CEM Gli effetti di detrimento della salute connessi alla esposizione ai CEM per i quali esiste un rapporto di causalità accertato, ed i cui meccanismi patogenetici sono noti, possono essere distinti in **indiretti** e **diretti**. Gli **effetti indiretti** di interesse specifico per questa relazione sono essenzialmente la possibilità di interferenza, ad esempio con dispositivi medici impiantati o portati sul corpo, l’effetto meccanico e le correnti di contatto. Per quanto riguarda invece gli **effetti diretti**, quelli delle basse frequenze sono sostanzialmente correlati a correnti indotte, e sono riconducibili ad una stimolazione di strutture nervose (in particolare di quelle a funzione neurosensoriale) e muscolari, mentre per le frequenze elevate sono invece riferibili principalmente ad una deposizione di energia, con conseguente aumento della temperatura di organi e tessuti [3,4].

La normativa (molto opportunamente) non identifica una lista esaustiva di

tutte le condizioni che possono indurre una particolare sensibilità al rischio da CEM, dato che questo è un compito che spetta alla ricerca scientifica. E' da ritenersi che tali condizioni siano da ricercarsi tra quelle che possono intervenire sui meccanismi di interazione noti allo stato attuale delle conoscenze, inducendo una maggiore suscettibilità. Un utile riferimento in questo ambito è la lista (anche questa non necessariamente esaustiva) dei lavoratori da considerarsi particolarmente a rischio riportata nella "Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/EU relativa ai campi elettromagnetici" [5], che viene presentata nella Tabella I.

Tabella I. Lavoratori da considerare particolarmente sensibili ai CEM

Da: Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/EU relativa ai campi elettromagnetici. Vol I. novembre 2014 [5]

Tabella 3.1 — Lavoratori particolarmente a rischio ai sensi della direttiva relativa ai campi elettromagnetici

Lavoratori particolarmente a rischio	Esempi
Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (Active Implanted Medical Devices, AIMD)	Stimolatori cardiaci, defibrillatori cardiaci, impianti cocleari, impianti nel tronco encefalico, protesi dell'orecchio interno, neurostimolatori, codificatori della retina, pompe impiantate per l'infusione di farmaci
Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili passivi contenenti metallo	Protesi articolari, chiodi, piastre, viti, clip chirurgiche, clip per aneurisma, stent, protesi valvolari cardiache, anelli per annuloplastica, impianti contraccettivi metallici e tipi di dispositivi medici impiantabili attivi
Lavoratori portatori di dispositivi medici indossati sul corpo	Pompe esterne per infusione di ormoni
Lavoratrici in gravidanza	

NE: Per valutare se i lavoratori sono particolarmente a rischio, i datori di lavoro dovranno prendere in considerazione la frequenza, il livello e la durata dell'esposizione.

Per precisione va segnalato che nella Tabella c'è un refuso (presente sia nella versione inglese che nella traduzione italiana): tra gli "Esempi" di dispositivi impiantabili passivi vengono erroneamente citati quelli attivi. Come anticipato, la maggiore sensibilità di tali lavoratori comporta la possibile comparsa di vari effetti, che possono essere classificati in **indiretti** e **diretti**.

Effetti indiretti

Una lista delle principali categorie di lavoratori da considerarsi potenzialmente particolarmente sensibili agli **effetti indiretti** dei CEM è presente nell'art. 209 del D.Lgs 81/2008; si tratta dei " ... portatori di dispositivi medici impiantati, attivi o passivi, o dispositivi medici portati sul corpo ...". In questi casi il più importante il meccanismo di interazione è l'interferenza, ma in talune situazioni anche altri, quali l'induzione di correnti e l'effetto meccanico, potrebbero avere un ruolo significativo [3].

I **dispositivi medici impiantati attivi** (frequentemente indicati con

l'acronimo **DMIA**) attualmente più diffusi sono probabilmente i pacemaker, i defibrillatori (ICD) e gli impianti cocleari, ma ne esistono numerosi altri, quali gli impianti al tronco encefalico, gli apparecchi acustici endoauricolari, i neurostimolatori, le pompe per l'infusione, i codificatori della retina ed altri ancora [3,4]. Pur non avendo dati precisi sul numero di lavoratori con DMIA, è da ritenere che sia significativo, oltre ad essere in progressiva ulteriore espansione nel tempo in ragione sia dell'aumento delle indicazioni cliniche e della tipologia di dispositivi disponibili, che dell'aumento di età della popolazione lavorativa.

I possibili effetti che i CEM possono indurre sui dispositivi medici cardiaci, o su loro parti, sono essenzialmente da ricondursi o ad un effetto meccanico che può essere generato da campi statici e che può comportare dislocazioni, oppure alla induzione di correnti che possono a loro volta causare inibizione della stimolazione o variazioni di soglia o del settaggio del dispositivo, con conseguente errato sensing da disturbo nei circuiti elettronici e/o della capacità di rilevamento del ritmo; un ulteriore meccanismo è un aumento della temperatura ai punti di contatto tra materiali metallici e tessuti, che potrebbe causare una risposta tissutale. La possibile occorrenza di effetti da meccanismo meccanico è da ritenersi un'evenienza più rara rispetto a quelli da correnti indotte. Un altro punto importante è che interferenze modeste e/o di breve durata possono anche essere clinicamente del tutto silenti e passare pertanto inosservate, ma episodi più rilevanti e/o prolungati possono invece indurre stimolazioni inappropriate o un mancato funzionamento, fino ad un completo desettaggio del dispositivo con necessità di riprogrammazione [4]. In generale, specie considerando la diffusione relativamente elevata, le segnalazioni di malfunzionamento di DMIA cardiaci occorse in lavoratori sono piuttosto rare, e la maggioranza degli autori che si sono occupati della problematica conclude che, negli ambienti di lavoro attuali la probabilità di fenomeni di interferenza significativa è da considerarsi bassa [6], ma è anche possibile una sottostima per l'esistenza di episodi che non vengono segnalati. Per quanto riguarda in particolar modo i pacemaker, vari studi indicano una potenziale maggiore suscettibilità di quelli unipolari [6-9].

Anche per quanto riguarda gli altri DMIA i meccanismi in gioco sono essenzialmente gli stessi, mentre gli effetti indotti dipendono dal tipo specifico di dispositivo [3,4]. Le conoscenze sono tuttavia minori anche perché le segnalazioni sono scarse, forse anche in funzione della minore diffusione.

I DMIA immessi sul mercato a partire dal 1995 devono rispondere ai requisiti previsti dalla direttiva 90/385/CEE; quelli immessi a partire dal 2007 devono invece far riferimento alla 2007/47/CE, che prevede che tali dispositivi siano progettati e fabbricati in modo da eliminare, o comunque ridurre al minimo, i rischi da esposizioni a CEM ragionevolmente

prevedibili nell'ambiente «normale», ovvero quelli indotti dalle più comuni sorgenti ambientali. Inoltre, dal gennaio 2019 i dispositivi medici indossabili devono rispondere ai requisiti previsti dalla della EN60601-1-2 del 2015 (4° Edizione) che, tra l'altro, prevede la necessità di garantire l'immunità a sistemi di comunicazione a radiofrequenza di uso comune quali i sistemi GSM, UMTS, LTE, Bluetooth e reti Wi-Fi ad una distanza di 30 cm. Sembra utile citare in questa sede anche il recente Regolamento UE 2017/745 sui dispositivi medici, che si applicherà a partire dal 26 maggio 2020, e che abroga le precedenti disposizioni comunitarie [10]. Una discussione approfondita sui contenuti non è oggetto di questa relazione, ma sembra opportuno segnalare almeno il Capo II (Requisiti relativi alla progettazione e alla fabbricazione) dove, tra i requisiti essenziali, figurano la eliminazione o la riduzione per quanto possibile dei “ rischi ragionevolmente prevedibili connessi a influenze esterne o a condizioni ambientali, quali campi magnetici, effetti elettrici ed elettromagnetici esterni, scariche elettrostatiche, radiazioni collegate a procedure diagnostiche o terapeutiche, pressione, umidità, temperatura, variazioni di pressione e di accelerazione o interferenze del segnale radio”. Tuttavia, nella norma non rientra una valutazione dell'immunità ai segnali generati da eventuali sorgenti specifiche che possono essere presenti negli ambienti di lavoro: in questi casi possono essere necessarie ulteriori valutazioni, che possono essere condotte secondo la metodologia generale per la valutazione del rischio di soggetti portatori di DMIA definita nella norma EN EN50527-1:2010 [11]. Questa norma parte dall'assunto che i dispositivi medici impiantati e programmati conformemente alle buone pratiche mediche abbiano un corretto funzionamento per livelli di esposizione che non eccedono quelli stabiliti per la popolazione generale dalla Raccomandazione 1999/519/CE [12], e fornisce anche una lista di apparecchiature/condizioni di esposizione per le quali (purché vengano tenute in considerazione le indicazioni riportate nella colonna “Eccezione e Note”) non è da attendersi un superamento dei livelli di riferimento per la popolazione generale [4], e che possono pertanto essere considerati usualmente compatibili anche per i portatori di DMIA. Per i campi magnetici statici (o quasi statici, fino a qualche Hz) viene consigliato di non superare il livello di 1 mT se non per esposizioni di breve durata, anche se il D.lgs. 81/08 stabilisce un VA di 0,5 mT al fine di prevenire interferenze con i dispositivi impiantabili attivi [4]. Un punto importante da tenere in considerazione è che, per garantire l'immunità dei dispositivi, i valori da considerare nelle valutazioni e confrontare con i valori di riferimento della Raccomandazione 1999/519/CE sono quelli su base istantanea, ovvero senza alcuna ponderazione temporale. Nelle situazioni in cui tutte le sorgenti presenti nell'ambiente di lavoro rientrano tra quelle riportate nella citata tabella della norma EN50527-

1:2010 [11] il processo di valutazione del rischio può essere considerato esaurito e non sono necessarie ulteriori misure. Va però rilevato che situazioni particolari, quali una configurazione peculiare del DMIA necessaria per esigenze cliniche del paziente, ecc., comportano la necessità di una valutazione specifica caso per caso, anche nelle situazioni che, usualmente, sarebbero considerati compatibili in quanto comprese nella lista del citato Allegato A.

Nei casi in cui siano presenti sorgenti non comprese nella tabella, invece, in presenza di lavoratori con DMIA o, comunque, particolarmente sensibili è necessaria una valutazione più approfondita. L'Allegato A della stessa norma [11] riporta le indicazioni per tale approfondimento, che prevede una collaborazione del medico competente. In particolare potranno essere richieste informazioni alla struttura sanitaria dove è stato impiantato il dispositivo e/o al produttore del dispositivo stesso. Devono essere acquisite le necessarie informazioni sulle caratteristiche del dispositivo, i livelli di immunità, i possibili malfunzionamenti prevedibili, le eventuali misure preventive che possono essere messe in atto, ecc.

In linea di massima, le modalità che possono essere applicate per la valutazione sono:

- *Approccio non clinico*, basato sul confronto tra i livelli e le caratteristiche dell'esposizione occupazionale del lavoratore ed i livelli di immunità e le caratteristiche del dispositivo così come desumibili dalle informazioni raccolte
- *Approccio clinico*, basato su un vero e proprio monitoraggio "in vivo" del funzionamento del DMIA in condizioni di esposizione reali (o eventualmente anche simulate in laboratorio), da attuarsi sotto osservazione clinica diretta, ovviamente prevedendo tutte le necessarie precauzioni opportune.

Nella valutazione approfondita da attuarsi nei lavoratori portatori di DMIA, tra le caratteristiche di cui tenere conto per la valutazione dell'idoneità lavorativa, dovrebbero però essere considerate anche le caratteristiche del fenomeno di interferenza che può essere indotto, e la sua effettiva rilevanza clinica. Ad esempio, in aree con esposizione che potrebbero essere anche superiori ai livelli di immunità del dispositivo, è importante stabilire se la interferenza può essere indotta da esposizioni istantanee o richieda una maggior durata, e se gli effetti sono clinicamente significativi. Se anche esposizioni brevi possono essere efficaci, e l'effetto dell'interferenza non è clinicamente accettabile, l'operatore con DMIA non è idoneo al lavoro nelle aree interessate, ma in alcuni casi, se gli effetti possono essere considerati clinicamente accettabili per brevi periodi (un esempio che viene frequentemente utilizzato per illustrare la situazione è la esposizione

transitoria di un portatore di pacemaker che attraversa un sistema antitaccheggio) il lavoratore con DMIA può transitare nell'area, purché non debba sostarvi o lavorarvi [13,14].

Questo concetto viene esplicitato in modo più completo nella norma EN 50527-1, che descrive un'"esposizione transitoria" come un'esposizione ai campi elettromagnetici che può essere causata da un campo elettromagnetico temporaneo o dal movimento della persona esposta all'interno o attraverso un campo elettromagnetico e che:

- non è continuativa e prevede un termine o una riduzione dei campi a livelli ininfluenti;
- non danneggia il dispositivo impiantato;
- porta esclusivamente a una risposta accettabile del DMIA sulla base di una raccomandazione del medico responsabile (per esempio mediante linee guida generiche o avvisi specifici) o dell'annotazione nella documentazione di accompagnamento del dispositivo impiantato [13, 14].

Sulla base dei risultati, il processo di valutazione del rischio, comunque venga effettuato, dovrà in ogni caso concludersi con l'individuazione di aree ad accesso libero (continuativo o transitorio) e aree ad accesso interdetto per i lavoratori particolarmente sensibili, e possibilmente con un piano di adeguamento della postazione/attività [3,4].

Anche nella *"Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici"* [5] sono riportate delle indicazioni relative alle modalità di valutazione del rischio, che sono sostanzialmente analoghe a quelle appena descritte.

Passiamo ora ad affrontare le problematiche connesse con i **dispositivi medici impiantati passivi**. Sono quelli che non hanno una sorgente autonoma di energia e componenti elettriche e/o elettroniche, ed hanno funzioni essenzialmente meccaniche; esempi sono le protesi articolari, endoauricolari passive, chiodi, piastre, viti, clip chirurgiche, clip per aneurisma, stent, protesi valvolari cardiache, anelli per annuloplastica, impianti contraccettivi, otturazioni dentali ed altri. Vengono usualmente considerati inclusi in questo gruppo anche eventuali corpi estranei inclusi nei tessuti corporei a seguito di infortuni, introduzione accidentale, quali schegge o frammenti metallici inclusi (es. piercing etc.). Anche i lavoratori portatori di tali dispositivi medici portati sul corpo rientrano tra i soggetti potenzialmente particolarmente sensibili all'esposizione a CEM.

E' essenzialmente la componente metallica quella che può condizionare la comparsa degli **effetti indiretti**: se questi impianti o inclusi hanno componenti ferromagnetiche, infatti, possono subire torsioni e/o dislocazioni in presenza di campo magnetico statico con conseguenti possibili lesioni dei tessuti circostanti [3-5, 13]. L'ICNIRP ha indicato nelle sue linee guida sui

campi magnetici statici del 2009, per la prevenzione di tali rischi, lo stesso livello di sicurezza di 0,5 mT adottato per la protezione dei portatori di dispositivi medici impiantabili attivi [15], mentre nelle precedenti linee guida del 1994 venivano chiaramente distinte le due tipologie di effetti, e per i rischi connessi alle forze di attrazione e rotazione di impianti contenenti materiali ferromagnetici raccomandava di segnalare le aree caratterizzate da livelli di campo magnetico statico maggiori di 3 mT. Quest'ultimo valore è indicato nel D.lgs. 81/08 come VA per il rischio di attrazione e propulsivo nel campo periferico di sorgenti di campo magnetico statico ad alta intensità (> 100 mT).

Questo valore, che può essere considerato indicativamente valido anche per prevenire l'azione di tipo meccanico esercitata dal campo magnetico statico su impianti ferromagnetici non attivi o su inclusi ferromagnetici, è però inferiore al valore stabilito dalla Raccomandazione 1999/519/CE per la popolazione generale. Nel caso dei campi variabili nel tempo un fattore rilevante è anche la frequenza dato che, tra l'altro, la penetrazione nei tessuti è inversamente proporzionale a tale parametro. Nel caso di campi a bassa frequenza e a frequenze intermedie gli effetti più rilevanti sono sostanzialmente legati alla induzione di correnti, in relazione al fatto che la conduttività dei metalli è usualmente molto maggiore di quella dei tessuti biologici. Nel caso dei campi a radiofrequenza il meccanismo è la deposizione di energia con aumento della temperatura. In tutti i casi, la conseguenza è la possibilità di lesioni dei tessuti circostanti [3, 4, 13]. Sebbene ci siano ancora pochi dati su cui basare una valutazione dei rischi cui sono esposti i lavoratori con impianti passivi, la conformità alla Raccomandazione 1999/519/CE dovrebbe fornire un'adeguata protezione in relazione all'esposizione a campi variabili. Anche in questi casi, sulla base di una specifica valutazione preliminare sulla base delle caratteristiche del dispositivo e dell'esposizione, è possibile valutare la possibilità di esposizione a campi più intensi [3, 4].

Un'ultima categoria espressamente citata nel testo del Decreto è infine costituita dai *“dispositivi medici portati sul corpo”*, che possono essere anche in questo caso attivi o passivi, per i quali valgono considerazioni sostanzialmente analoghe a quelle già espresse per i dispositivi impiantati.

Effetti diretti

Passando ora ad una discussione sulle condizioni di maggior sensibilità agli **effetti diretti** dei CEM, in base alle conoscenze attuali sui meccanismi d'azione già introdotte nella parte precedente, possiamo attenderci che siano essenzialmente riconducibili a situazioni in grado di ridurre la soglia di stimolazione di strutture nervose e della funzione neurosensoriale nel caso di esposizioni a basse frequenze, o ridurre la soglia di tolleranza al

riscaldamento di organi e tessuti per le frequenze elevate (anche se, almeno per l'effetto termico va osservato che un rispetto rigoroso dei valori limite dovrebbe essere sufficiente per prevenirlo) [15- 17].

In una discussione su queste condizioni, e sulle loro soglie, è necessario riconoscere che i dati della ricerca scientifica su cui basare una valutazione del rischio sono certamente carenti. In modo non casuale, ad esempio nella *“Guida non vincolante di buone prassi per l’attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici”* [5] gli **effetti diretti** non vengono presi in considerazione.

La discussione che segue si basa essenzialmente su considerazioni che derivano da studi di letteratura piuttosto datati e con vari limiti metodologici, e dall’esperienza pratica, piuttosto che da valutazioni *“evidence-based”*.

Per quanto riguarda le basse frequenze, tra le condizioni che potrebbero potenzialmente comportare una maggiore suscettibilità alla stimolazione di strutture nervose e della funzione sensoriale da parte dei CEM, in questa sede abbiamo ritenuto di maggiore interesse considerare alcuni possibili effetti a carico del sistema nervoso, tra i quali in particolare la **vertigine** (e, più in generale, la **sensazione di instabilità**), i **fosfeni** e l’epilessia, e a carico del sistema cardiovascolare.

La **vertigine** e l’**instabilità** possono essere indotte da esposizioni ai CEM generati quali dalle apparecchiature per la risonanza magnetica, anche se non solo [18-22]. La variabilità individuale per quanto riguarda la probabilità di insorgenza e l’intensità della sintomatologia rendono complessa una prevenzione efficace, specie considerando l’esistenza di alcune specifiche condizioni individuali che, potenzialmente, potrebbero rendere il lavoratore più suscettibile alla comparsa, con possibili problemi in termini anche di sicurezza. Sono infatti note una serie di patologie dell’orecchio o di natura sistemica che possono indurre, tra l’altro, una sintomatologia vertiginosa e/o comportare instabilità; gli stessi sintomi possono peraltro anche essere dovuti a trattamenti farmacologici o a alcune sostanze tossiche. Per quanto riguarda i **fosfeni**, possono originare da patologie oculari o, più in generale, del sistema nervoso centrale, oppure essere correlati all’assunzione di alcuni farmaci, suggerendo la necessità di una maggiore attenzione per lavoratori con tali patologie o sotto trattamento farmacologico in caso di esposizione a CEM, in particolare per i campi statici indotti dalla RM, o comunque da quelli a bassa frequenza [18-22].

Ancora per quanto riguarda il sistema nervoso, per esposizione a campi statici a bassa e alta frequenza, sono stati osservati effetti quali alterazioni EEG minori sia durante il sonno che la veglia [15-17, 20-22]. Infine, effetti sul sistema cardiovascolare sono possibili per elevate esposizioni a campi magnetici a varie frequenze, ad es. aumenti (pur entro limiti fisiologici) della pressione arteriosa e della frequenza cardiaca [15-17, 20-22].

Su queste basi, in via del tutto precauzionale, è da ritenersi che soggetti affetti da patologie dell'orecchio o di natura sistemica, o che assumano trattamenti farmacologici o siano esposti a sostanze tossiche che possono indurre una sintomatologia vertiginosa e/o comportare instabilità, con un'anamnesi positiva per epilessia con crisi di piccolo o grande male nell'ultimo anno con un incompleto controllo farmacologico, ma anche soggetti con patologia cardiaca aritmica e/o su base ischemica, anche in questo caso non adeguatamente compensate e controllate a livello terapeutico, siano annoverabili nelle categorie di lavoratori con particolare sensibilità al rischio da esposizione a CEM [3].

Gravidanza

Anche "*...lo stato di gravidanza...*" rientra tra le condizioni esplicitamente citate dalla normativa che conferiscono aumentata suscettibilità al rischio da esposizione a CEM [1, 3-5]. Infatti, sebbene i dati di studi scientifici sugli effetti dell'esposizione occupazionale a CEM in corso di gravidanza siano piuttosto carenti [15-17, 20-22], sia la donna in gravidanza che il prodotto del concepimento sono ritenuti potenzialmente particolarmente vulnerabili nei confronti dei possibili effetti di numerosi fattori di rischio di natura fisica, chimica e biologica. In termini normativi, il principale testo di riferimento è il D.lgs. 26.03.2001 n. 151 e s.m.i. "Testo Unico delle disposizioni legislative in materia di tutela e sostegno della maternità e della paternità, a norma dell'art. 15 della legge 8 marzo 2000", che prevede da un lato il divieto di adibizione ad alcune lavorazioni ed esposizioni, mentre per alcuni fattori di rischio, tra i quali sono incluse le radiazioni non ionizzanti, è prevista una valutazione particolarmente approfondita che tenga conto dello stato di maggior sensibilità della gestante (allegato C del D.lgs. 151/01). In modo coerente anche il D.lgs. 81/08, all'art.183, riconosce la donna in gravidanza tra i gruppi da considerare particolarmente sensibili al rischio da esposizione professionale a campi elettromagnetici. Su queste basi il rispetto dei VLE previsti dal D.lgs. 81/08 può non essere sufficiente protettivo, e per la tutela particolare della donna in gravidanza sarebbe opportuno fare riferimento a limiti più bassi, quali quelli per la popolazione fissati dalla Raccomandazione Europea 1999/519/CE o, in alternativa, ai valori limite ICNIRP [12, 15-17, 20-22], che rappresentano attualmente il riferimento scientifico più aggiornato.

A questo proposito si osserva che, più in generale, i limiti di esposizione ai CEM previsti nella normativa, e gli stessi limiti proposti dall'ICNIRP, prevedono una specifica differenziazione tra le esposizioni occupazionali e quelle per la popolazione generale. Questa differenziazione, che è comune per i fattori di rischio, si basa tra l'altro (anche se non solo) sull'esistenza nella popolazione generale di individui maggiormente suscettibili, per i quali

la soglia di comparsa dei possibili effetti avversi per la salute o di altri effetti (quali ad es. quelli di tipo sensoriale nel caso dei CEM) può essere particolarmente bassa (ad es. effetti sul feto nel caso delle donne in gravidanza, ma anche altri. La prevenzione di questi effetti presuppone che i limiti di esposizione nella popolazione siano più bassi rispetto a quelli previsti per le esposizioni professionali dei lavoratori. La lavoratrice in stato gravidanza esposta per motivi professionali ai CEM viene inclusa tra i soggetti particolarmente sensibili ai rischi da esposizione a tale fattore sia per le particolari condizioni fisiologiche che per la presenza del feto/embrione e, per questa ragione, usualmente esclusa da attività che comportino esposizioni superiori a quella della popolazione generale [3,4].

LA SORVEGLIANZA SANITARIA DEI LAVORATORI NEI QUALI SONO STATE IDENTIFICATE CONDIZIONI DI PARTICOLARE SENSIBILITA' AI CEM: INDICAZIONI

Una precisazione opportuna preliminarmente è che, come peraltro anticipato nella Introduzione, il D.Lgs. 81/2008 [1] 2013/35/EU [2], prevede che le attività di sorveglianza sanitaria (SS) affidate al Medico Competente (MC) dal Datore di Lavoro (DL) per la protezione dei lavoratori dai rischi da CEM siano mirate agli effetti dei basati su meccanismi noti, che vengono anche definiti nell'art. 207, escludendo esplicitamente gli ipotizzati effetti a lungo termine in quanto l'esistenza di un rapporto di causalità, non è considerato dimostrato, come esplicitato nel testo della Direttiva da cui il Decreto deriva [2].

L'art. 211, al comma 1, specifica che, nei lavoratori esposti a CEM *“La sorveglianza sanitaria viene effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno o con periodicità inferiore decisa dal medico competente con particolare riguardo ai lavoratori particolarmente sensibili al rischio di cui all'articolo 183, tenuto conto dei risultati della valutazione dei rischi trasmessi dal datore di lavoro”*.

In ambito di organizzazione della SS, la presenza di lavoratori con condizioni particolare sensibilità al rischio costituisce ovviamente un aspetto di grande importanza, specialmente perché, come esposto nei paragrafi precedenti, esiste un rischio di comparsa di effetti anche per esposizioni a livelli di CEM contenuti entro i valori limite introdotti dal Decreto 81/2008.

Inoltre, il comma 2 dell'art. 211 prevede l'obbligo di sottoporre i lavoratori esposti a CEM ad un *“controllo medico e, se necessario, una sorveglianza sanitaria appropriati”*, in due eventualità specifiche:

- nel caso in cui un lavoratore *“segnali effetti indesiderati o inattesi sulla salute, ivi compresi effetti sensoriali”*;
- nel caso in cui sia stata rilevata *“un'esposizione superiore ai VLE*

per gli effetti sensoriali o per gli effetti sanitari”.

Ovviamente, la presenza di lavoratori con condizioni di particolare sensibilità è di rilievo nelle valutazioni conseguenti a queste evenienze, come vedremo più avanti. Va anche detto che tale “*controllo medico*” è da considerarsi parte integrante della SS, e può essere omologato a una delle tipologie di visite previste all’art.41, su richiesta del lavoratore nel caso di effetti indesiderati, o periodica con periodicità modificata dal Medico competente sulla base della valutazione del rischio in caso di superamenti dei VLE; ed infatti all’art. 211 comma 2 si afferma che tale controllo è «*...in conformità all’art. 41.....*», e conseguentemente si dovrebbe concludere con un giudizio di idoneità alla mansione specifica.

Come per tutti gli altri rischi, la SS per il rischio da CEM va definita sulla base della Valutazione del Rischio e, similamente ad altri rischi (es. da Radiazioni Ottiche), l’esito della valutazione, e quindi l’organizzazione della SS, dipende anche dalla presenza, nell’ambiente di lavoro, di soggetti con particolare sensibilità al rischio.

In sostanza, potrebbero verificarsi tre condizioni:

- 1) Ambienti di lavoro in cui vi è un’assenza di rischio da CEM, e, conseguentemente, non sono necessarie ulteriori misure specifiche
- 2) Ambienti di lavoro dove, per modalità operative e livelli di esposizione, non sono attesi in generale rischi per la salute dei lavoratori che non presentino condizioni di particolare sensibilità ma nei quali, in caso di presenza di lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili o indossabili (DMI) attivi, siano necessarie misure di prevenzione (quali una formazione e informazioni specifiche e, eventualmente, una SS per il rischio da CEM almeno in fase preventiva);
- 3) Ambienti di lavoro in cui vi sia un rischio “non trascurabile” da esposizione a CEM, e nei quali si renda pertanto necessaria l’attivazione della SS per i lavoratori esposti; in questi casi le modalità debbono essere definite tenendo in considerazione anche la presenza di eventuali soggetti con particolare sensibilità.

Le condizioni che possono comportare una particolare sensibilità al rischio in relazione agli effetti dei CEM sono sostanzialmente quelle discusse nella parte precedente e, per riassumere, sono essenzialmente rappresentate dalla presenza di lavoratori/lavoratrici con dispositivi medici impiantabili o indossabili (DMI), di lavoratrici in gravidanza, e/o di lavoratrici/lavoratori con patologie non adeguatamente controllate dal punto di vista clinico-terapeutico, di organi e tessuti elettricamente stimolabili.

Per le ragioni presentate e discusse in precedenza, in base alle conoscenze attuali per esposizioni occupazionali a livelli di CEM inferiori ai limiti raccomandati per la popolazione generale (Raccomandazione 1999/159/CE) [12] non sono generalmente attesi effetti per i lavoratori con patologie di

organi e tessuti elettricamente stimolabili e per le donne in stato di gravidanza, anche se non possono essere totalmente esclusi **effetti indiretti** da interferenza in soggetti portatori di DMI specie per quelli di tipo attivo, specie i pacemaker unipolari [6-9].

Va osservato che, data la diffusione dei CEM negli ambienti di vita che di lavoro e la relativa frequenza di lavoratori con condizioni di particolare sensibilità, possono essere non rare le situazioni lavorative in cui il medico competente, nell'ambito della collaborazione alla valutazione del rischio e nel rispetto della privacy dei lavoratori, si può trovare a dover segnalare l'esistenza di condizioni di particolare sensibilità, e richiedere quindi al Datore di Lavoro una valutazione del rischio che possa garantire un'adeguata protezione anche di questi lavoratori, anzi, sarebbe forse opportuno che, almeno preliminarmente, la valutazione tenga sempre conto di questa possibilità.

A questo proposito, utili indicazioni sono rintracciabili nella Guida Non Vincolante della Commissione Europea per l'applicazione della Direttiva 2013/35/EU [5], ed in particolare nella Tabella 3.2 sulle *"Prescrizioni per le valutazioni specifiche dei campi elettromagnetici relative ad attività lavorative, apparecchiature e luoghi di lavoro comuni di esposizione"*, alla quale si rimanda, esulando dagli scopi di questo testo.

Un altro aspetto da considerare è che il D. Lgs. 81/2008, all'articolo 212 espressamente prevede la possibilità di deroghe del rispetto dei VLE, seppure solo in presenza di circostanze specifiche che devono essere autorizzate: per i lavoratori che dovessero essere coinvolti, un'accurata verifica dell'assenza di condizioni che comportino una maggiore suscettibilità è, ovviamente, un presupposto preliminare imprescindibile.

Importante è poi uno scrupoloso rispetto dell'art. 210-bis del D.Lgs. 81/2008, che prevede che *"Il datore di lavoro garantisce, inoltre, che i lavoratori che potrebbero essere esposti ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e i loro rappresentanti ricevano le informazioni e la formazione necessarie in relazione al risultato della valutazione dei rischi con particolare riguardo:*

- a) agli eventuali effetti indiretti dell'esposizione;*
- b) alla possibilità di sensazioni e sintomi transitori dovuti a effetti sul sistema nervoso centrale o periferico;*
- c) alla possibilità di rischi specifici nei confronti di lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio, quali i soggetti portatori di dispositivi medici o di protesi metalliche e le lavoratrici in stato di gravidanza".*

Una corretta e completa informazione e formazione sul rischio e sui possibili sintomi è fondamentale per tutti, ma lo diventa ancora di più nel caso di lavoratori con condizioni di particolare sensibilità al rischio e, tra questi,

specialmente le persone con DMI attivi per la possibilità di soglie inferiori e di effetti potenzialmente anche gravi, e quindi la necessità di attenersi rigorosamente alle limitazioni/prescrizioni previste, incluse anche alle eventuali raccomandazioni fornite dal fabbricante del dispositivo impiantato. In questo ambito va citato il caso di sorgenti lavorative nei cui manuali il produttore abbia previsto delle specifiche indicazioni per i portatori di DMI attivi, come ad esempio la raccomandazione di mantenere adeguate distanze di sicurezza come ad es. 15 cm, nel caso di telefoni senza fili e cellulari. La formazione e informazione sono importanti per diffondere la conoscenza di quali siano le condizioni che possono comportare una condizione di particolare sensibilità ai CEM, non solo per quanto riguarda i DMI interessati da possibili rischi da interferenza, ma per tutte, affinché in caso di presenza di tali condizioni la lavoratrice/il lavoratore possano tempestivamente comunicare la propria condizione al medico competente e, nel caso, essere sottoposto a Sorveglianza Sanitaria, o anche per richiedere un controllo medico nel caso di comparsa di sintomi transitori possibilmente legati alla esposizione ai CEM.

Infine, ovunque sia identificabile un rischio non trascurabile da esposizione a CEM conseguente a possibili superamenti dei livelli di esposizione previsti per la popolazione generale, in ambito di sorveglianza sanitaria, sarebbe opportuno che il medico competente valutasse in modo attivo in tutti i lavoratori, non solo in quelli particolarmente sensibili, la eventuale occorrenza di sintomatologie che possono essere riferite all'azione dei campi elettromagnetici, quali ad esempio quelle espressamente citate al comma 8 dell'articolo 210 (“... *effetti sensoriali nel funzionamento del sistema nervoso centrale, nella testa, indotti da campi magnetici variabili nel tempo;*” e “... *effetti indotti da campi magnetici statici, quali vertigini e nausea*”). A questo proposito, si segnala che sono in corso di definizione dei questionari basati sui dati della letteratura scientifica che potrebbero essere utilmente applicati.

Va peraltro detto anche che tali sintomatologie sono generalmente aspecifiche, e solo in alcune (verosimilmente rare) situazioni sono riconducibili all'azione dei CEM, potendo essere più frequentemente associate ad altre comuni cause. Tuttavia, in condizioni di un ragionevole sospetto, ad esempio da un miglioramento della sintomatologia in seguito all'interruzione dell'esposizione, potrebbero determinarsi anche in questi casi prescrizioni o limitazioni temporanee all'idoneità lavorativa. Peraltro, la comparsa di tali sintomi può essere considerata un valido motivo di richiesta di “*controllo medico*” da parte dei lavoratori. Gli stessi vanno inoltre cercati anche in caso di controllo in seguito ad esposizioni eccedenti i valori limite, e possono eventualmente rappresentare un campanello di allarme per la comparsa di condizioni di particolare sensibilità (es. sindromi vertiginose,

disordini del sistema nervoso o cardiovascolare).

Le modalità per una verifica nel caso di lavoratori con dispositivi medici sono state discusse nella parte precedente a cui si rimanda, come anche per quanto riguarda le possibili condizioni di maggior sensibilità agli effetti diretti citate in precedenza. In questi ultimi casi non esistono dimostrazioni che esposizioni contenute nei limiti previsti per la popolazione generale possano costituire un rischio significativo, e considerazioni analoghe sono estensibili anche alle lavoratrici in stato di gravidanza.

BIBLIOGRAFIA

- [1] DECRETO LEGISLATIVO 9 APRILE 2008, n° 81. Attuazione dell'art. 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 30 aprile 2008 n° 101 – Supplemento Ordinario n° 108.
- [2] DIRECTIVE 2013/35/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. Official Journal of the European Union. L 179/1, 29/6/2013
- [3] Associazione Italiana di Radioprotezione Medica (AIRM) - Società Italiana di Medicina del Lavoro (SIML). Linee di indirizzo per la sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a Radiazioni non ionizzanti. Nuova Editrice Berti, Piacenza, 2012.
- [4] 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 – revisione 01 del 18/03/2019.
- [5] Commissione europea - Direzione generale per l'Occupazione, gli affari sociali e l'inclusione. Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici. Bruxelles, novembre 2014. ISBN 978-92-79-45961-0.
- [6] Napp A, Stunder D, Maytin M, et al. Are patients with cardiac implants protected against electromagnetic interference in daily life and occupational environment? *Eur Heart J.* 2015 Jul 21;36(28):1798-804.
- [7] Tiikkaja M, Alanko T, Lindholm H, et al. Experimental study on malfunction of pacemakers due to exposure to different external magnetic fields. *J Interv Card Electrophysiol* 2012; 34(1):19-27.
- [8] Tiikkaja M, Alanko T, Lindholm H, et al. Interference of low frequency magnetic fields with implantable cardioverter-defibrillators. *Scand Cardiovasc J* 2012; 46(5):308-14.

- [9] Tiikkaja M, Aro AL, Alanko T, et al. Electromagnetic interference with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators from low-frequency electromagnetic fields in vivo. *Europace* 2013;15(3):388-94.
- [10] REGOLAMENTO UE 2017/745 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 5 aprile 2017 relativo ai dispositivi medici, che modifica la direttiva 2001/83/CE, il regolamento (CE) n. 178/2002 e il regolamento (CE) n° 1223/2009 e che abroga le direttive 90/385/CEE e 93/42/CEE del Consiglio. *Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea* del 5 maggio 2017, n° L 117/1.
- [11] EN50527-1:2010. Procedure for the assessment of the exposure to electromagnetic fields of workers bearing active implantable medical devices. Part 1: General
- [12] RACCOMANDAZIONE DEL CONSIGLIO del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz (1999/519/CE). *Gazzetta ufficiale delle Comunità europee* del 30.7.1999, n° L 199/59.
- [13] Hocking B, Hansson Mild. Guidance Note: Risk Management of Workers With Medical Electronic Devices and Metallic Implants in Electromagnetic Fields. *Int J Occ Saf Ergon* 2008; 14(2):217–22.
- [14] Napp A, Stunder D, Maytin M, et al. Are patients with cardiac implants protected against electromagnetic interference in daily life and occupational environment? *Eur Heart J.* 2015 Jul 21;36(28):1798-804.
- [15] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields. *Health Physics* 96(4):504-514; 2009
- [16] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* 1998; 74(4): 494-522.
- [17] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

- (ICNIRP). General approach to protection against nonionizing radiation. *Health Physics* 2002; 82(4): 540-548.
- [18] Schaap K, Portengen L, Kromhout H. Exposure to MRI-related magnetic fields and vertigo in MRI workers. *Occup Environ Med* 2016; 73: 161–166.
- [19] Zanotti G, Ligabue G, Korpinen L, et al. Subjective symptoms in Magnetic Resonance Imaging operators: prevalence, short-term evolution and possible related factors. *Med Lav*. 2016; 107(4): 263-270.
- [20] World Health Organization. Environmental Health Criteria 232, Static fields. Geneva: World Health Organization, 2006.
- [21] World Health Organization. Environmental Health Criteria 238, Extremely low frequency fields. Geneva: World Health Organization, 2007.
- [22] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). Health Effects of Exposure to EMF. European Commission, 2015.

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

I NUOVI RIFERIMENTI NORMATIVI ITALIANI ED EUROPEI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO CAMPI ELETTROMAGNETICI

Laura Filosa ⁽¹⁾, Arianna Guarneri ⁽²⁾ e Vanni Lopresto ⁽³⁾

⁽¹⁾ Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione, Direzione Generale, INAIL, Roma (1)

⁽²⁾ Organizzazione, Health, Safety & Environment-Tutela dell'Ambiente, Terna S.p.A., Roma (2)

⁽³⁾ Divisione di Tecnologie e Metodologie per la Salvaguardia della Salute, ENEA, Centro Ricerche Casaccia, Roma (3)

INTRODUZIONE

La direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e salute relative ai rischi derivanti dall'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici (CEM), recepita in Italia all'interno del D.lgs. 81/08 e s.m.i., presenta rilevanti differenze rispetto alla precedente direttiva 2004/40/CE, mai entrata pienamente in vigore. In considerazione dell'evoluzione legislativa intervenuta, oltre che delle nuove Linee Guida ICNIRP sull'esposizione ai CEM a radiofrequenza e microonde (di prossima pubblicazione), a livello europeo i gruppi di lavoro WG3 e WG4 del CENELEC TC-106X (recentemente confluiti nel nuovo WG21) hanno riscritto la "Procedura per la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici" (EN 50499) e la "Norma di base sulle procedure di misura e di calcolo per l'esposizione umana ai campi elettrici, magnetici ed

elettromagnetici” (EN 50413) che saranno pubblicate nel corso del 2019. Analogamente, a livello nazionale, sono stati aggiornati i riferimenti specifici e, in particolare, da parte del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), di cui gli autori fanno parte, è in fase di emissione la “*Guida Applicativa per la valutazione dei rischi e identificazione dell’esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz) ai sensi del D.lgs. 81/2008 e s.m.i.*” (*Guida Applicativa CEM*). In questo lavoro si illustreranno sinteticamente le principali differenze e novità introdotte dai nuovi riferimenti normativi italiani ed europei per la valutazione del rischio CEM e, in particolare, la *Guida Applicativa CEM* di prossima emissione.

MATERIALI E METODI

Le disposizioni contenute nella direttiva 2013/35/UE (Direttiva), recepite a livello nazionale mediante il D.lgs. 159/2016 che ha modificato il Capo IV del Titolo VIII del D.lgs. 81/2008 e s.m.i., hanno determinato la necessità di rivedere l’assetto normativo protezionistico, sia a livello europeo sia nazionale, per adeguarlo alle novità introdotte.

La Direttiva introduce un sistema di limiti che si basano sui Valori limite di esposizione (VLE), riferiti a grandezze interne al corpo umano (dosimetriche), e sui Livelli di Azione (LA), recepiti in Italia con la dizione “Valori” di Azione (VA), valori operativi riferiti a grandezze fisiche misurabili con la strumentazione utilizzata per le misure ambientali di campo. Le maggiori novità introdotte riguardano l’intervallo delle basse frequenze per le quali i limiti si articolano nei due livelli sensoriale e sanitario, secondo un approccio flessibile adottato in primis dall’ICNIRP a partire dalle Linee Guida del 2009 sui campi magnetici statici. Inoltre, la Direttiva introduce per la prima volta i limiti sui campi magnetici statici per la protezione dei lavoratori. La suddetta flessibilità dei limiti consente, a determinate condizioni debitamente giustificate dalla prassi o dal processo, il temporaneo superamento dei limiti sensoriali, purché siano messe in atto misure specifiche di prevenzione e protezione. Il sistema dei limiti per le radiofrequenze e microonde rimane, invece, invariato. La Direttiva prevede altresì delle possibilità di deroga dai limiti sanitari più estese rispetto a prima, consentendo agli Stati membri di valutare ed autorizzare deroghe su qualsiasi attività, sulla base di una richiesta specifica e, rigorosamente, dopo aver dimostrato - attraverso la valutazione del rischio - l’effettivo superamento dei limiti e che i lavoratori sono sempre protetti contro gli effetti nocivi per la salute e i rischi per la sicurezza

Il recepimento italiano, all'interno del D.Lgs 81/2008 e s.m.i., riprende quasi pedissequamente l'articolato della Direttiva e, pur nel rispetto del suddetto principio di flessibilità, introduce in più l'obbligo di comunicazione all'Organo di Vigilanza territorialmente competente in caso di superamento dei limiti sensoriali. Tale obbligo non è sanzionato direttamente; tuttavia il datore di lavoro è passibile di sanzione qualora si riscontri, durante una verifica, un superamento non comunicato.

In ambito europeo, successivamente alla pubblicazione della Direttiva, nel novembre 2014 la Direzione generale per l'Occupazione, gli affari sociali e l'inclusione ha pubblicato la *Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai CEM (Guida non vincolante)*. La Guida non vincolante, redatta da un gruppo di esperti britannici, è stata sviluppata per aiutare i datori di lavoro ad ottemperare agli obblighi previsti dalla direttiva 2013/35/UE. Essa è realizzata in maniera modulare per essere utilizzata a fascicoli secondo le necessità.

In parallelo, i gruppi di lavoro WG3 e WG4 del CENELEC - Comitato Europeo di Normazione Elettrotecnica - hanno intrapreso e concluso un percorso di revisione delle norme tecniche sulle procedure di valutazione dell'esposizione ai CEM (EN 50499), nonché sulle pertinenti procedure di misura o calcolo (EN 50413). In particolare, la nuova versione della norma tecnica EN 50499 – “Procedura per la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici” ha superato la fase finale dell'inchiesta pubblica e sarà ratificata il 19 agosto 2019, entrando in vigore il 21 ottobre 2019. Dei quindici Stati membri che hanno votato, solo due non hanno espresso voto favorevole. Alcune delle ragioni del rifiuto sono motivate dal non allineamento della norma tecnica europea alla legislazione dello Stato votante. L'inchiesta pubblica della EN 50413 – “Norma di base sulle procedure di misura e di calcolo per l'esposizione umana ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” è in corso al momento della stesura di questo lavoro e si chiuderà il 16 agosto 2019.

A livello italiano, il dettato normativo della legge n. 36 del 2001 per la tutela della salute dei lavoratori e della popolazione dagli effetti dell'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (Legge Quadro) presenta delle peculiarità rispetto all'approccio europeo. In particolare, la Legge Quadro introduce il concetto di *lavoratore professionalmente esposto* e, attraverso i due decreti attuativi del Presidente del Consiglio dei Ministri (DPCM) del 2003, rispettivamente per le alte e le basse frequenze, definisce i *limiti di esposizione* per la protezione della popolazione nonché ulteriori

restrizioni ai fini della prevenzione dai possibili effetti a lungo termine (*valori di attenzione*) e della progressiva minimizzazione dell'esposizione (*obiettivi di qualità*). I due DPCM del 2003 recepiscono i limiti raccomandati a livello europeo per la protezione della popolazione dagli effetti a breve termine (Raccomandazione 1999/519/CE) ma fissano altresì specifici *limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità* per la protezione della popolazione dalle emissioni CEM riconducibili a due particolari categorie di sorgenti:

- sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi operanti a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz;
- elettrodotti operanti alla frequenza di rete (50 Hz).

Le problematiche di coesistenza della legislazione europea ed italiana, l'interpretazione dei limiti da applicare nei suddetti casi particolari, l'individuazione del lavoratore professionalmente esposto e non, e la corretta zonizzazione hanno alimentato confronti talvolta accesi tra gli "addetti ai lavori". Per questa ragione, sono state portate avanti una serie di attività al fine di sviluppare ausili per la valutazione del rischio. Per quanto riguarda la valutazione del rischio, il novellato D.Lgs 81/2008 stabilisce espressamente che il datore di lavoro possa attingere a diverse fonti scientificamente riconosciute e, oltre a richiamare i riferimenti europei sopra menzionati, rimanda alle pertinenti norme tecniche del Comitato elettrotecnico italiano (CEI), alle specifiche buone prassi individuate o emanate dalla Commissione consultiva permanente per la salute e sicurezza sul lavoro, e alle informazioni reperibili presso banche dati dell'INAIL o delle Regioni (ad esempio il Portale Agenti Fisici).

In riferimento alle buone prassi, il 20 giugno 2019 l'Area Prevenzione e Sanità Pubblica (ex CIP) ha approvato il documento "*Decreto Legislativo 81/2008 Titolo VIII, Capo IV e s.m.i.-Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici-Indicazioni operative*", aggiornato dal Gruppo di lavoro interregionale Agenti Fisici, costituito da una raccolta delle domande più frequenti poste sull'argomento, denominate FAQ - *Frequently Asked Questions* - e pubblicate sul Portale Agenti Fisici alla sezione *CEM/normative e linee guida*.

Lo stesso *Portale Agenti Fisici* (PAF), banca dati ufficialmente e scientificamente riconosciuta, fornisce uno strumento informativo e di orientamento per la valutazione del rischio da agenti fisici. La Banca Dati è stata realizzata dal Laboratorio di Sanità Pubblica dell'Azienda Sanitaria

USL Toscana Sud Est con la collaborazione dell'INAIL e dell'Azienda USL di Modena. Nel giugno 2019, è iniziata la fase di revisione ed integrazione degli ulteriori agenti fisici.

Sulla base di quanto precedentemente espresso, e facendo altresì tesoro delle difficoltà espresse da alcuni datori di lavoro e loro collaboratori sulle modalità, criteri di valutazione del rischio di esposizione ai CEM, il gruppo di lavoro CEI - CT 106 "Esposizione umana ai campi elettromagnetici", di cui gli scriventi fanno parte, ha sviluppato, avvalendosi della collaborazione di numerosi esperti italiani nel campo, un documento a cui è stata volutamente data un'impostazione fortemente applicativa. Tale documento, denominato "*Guida applicativa per la valutazione dei rischi e identificazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz) ai sensi del D.lgs. 81/2008 e s.m.i.*" (di seguito denominata *Guida Applicativa CEM*), è rivolto al datore di lavoro, in primis, nonché a tutti coloro che, a vario titolo, sono chiamati a confrontarsi con la valutazione dell'esposizione ai CEM.

L'originalità della Guida Applicativa CEM, a parere degli autori, consiste nell'essere estremamente sintetica e, al contempo, rigorosa nel fornire l'insieme dei riferimenti necessari per la valutazione del rischio. La Guida è organizzata in tre parti, il corpo principale e due appendici (A e B), al fine di semplificarne la consultazione e l'utilizzo.

Nel corpo della Guida si è volutamente tralasciata ogni disquisizione sulla fisica dei campi elettromagnetici, definendo invece un indice che riporta gli argomenti rappresentativi delle questioni generalmente poste da chi deve affrontare la valutazione del rischio CEM.

Nell'Appendice A, sempre con l'obiettivo della chiarezza della Guida, sono raccolti gli approfondimenti su alcuni argomenti, con a corredo le relative implicazioni e motivazioni, che nel corpo della guida sono volutamente trattati sinteticamente.

L'Appendice B rappresenta, di fatto, l'idea da cui è nata la Guida Applicativa CEM. Essa include un insieme di schede operative di riferimento per la valutazione dell'esposizione a specifici apparati o sorgenti. In ciascuna scheda si è tentato di sintetizzare il ragionamento ed il percorso di valutazione da seguire, definendo l'ambiente di lavoro, le caratteristiche della sorgente, le indicazioni sulla modalità di valutazione del rischio, i riferimenti normativi, le considerazioni specifiche e le misure di prevenzione e protezione.

Le schede sviluppate costituiscono solo una parte delle schede che potranno essere sviluppate successivamente, avvalendosi anche dei suggerimenti e contributi forniti dagli utilizzatori della Guida Applicativa CEM.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono stati analizzati i riferimenti tecnico-normativi per la valutazione del rischio CEM, tra cui la direttiva 2013/35/EU recepita in Italia col decreto legislativo 159/2016 che ha modificato il Capo IV del Titolo VII del Decreto legislativo 81/2008 e il relativo Allegato XXXVI, nonché la Legge Quadro del 2001 e i relativi decreti attuativi (DPCM) del 2003.

L'entrata in vigore della direttiva del 2013 e il suo recepimento da parte degli Stati membri, hanno reso necessario, da parte del CENELEC, l'aggiornamento delle norme tecniche correlate tra cui, in particolare, la *Procedura per la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici* (EN 50499:2019) e la *Norma di base sulle procedure di misura e di calcolo per l'esposizione umana ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici* (EN 50413:2019) che stanno per sostituire le precedenti norme in vigore dal 2009.

In questo lavoro sono state pertanto illustrate sinteticamente le principali novità introdotte dai nuovi riferimenti tecnico-normativi che a breve entreranno in vigore. Inoltre, sono stati esaminati gli strumenti di ausilio alla valutazione del rischio CEM disponibili in ambito italiano, tra cui la Banca Dati presente nel Portale Agenti Fisici (PAF) e le nuove FAQ CEM pubblicate anch'esse sul PAF.

Infine, con l'obiettivo di superare le difficoltà interpretative ed applicative determinate dal disallineamento della legislazione italiana con quella europea, nonché di fornire uno strumento sintetico ed operativo che sia di ausilio ed integrazione a quelli già esistenti, è stata illustrata la *Guida applicativa per la valutazione dei rischi e identificazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz) ai sensi del D.lgs. 81/2008 e s.m.i.* (Guida Applicativa CEM) redatta dal gruppo di lavoro "Esposizione dei lavoratori ai CEM" del CEI-CT106 secondo un'impostazione fortemente applicativa.

L'attività del gruppo di lavoro CEI è stata condotta avvalendosi della collaborazione dei maggiori esperti in ambito italiano, i quali, a valle di stimolanti e accese discussioni, hanno prodotto la Guida Applicativa CEM

che si auspica sia in grado di fornire indicazioni chiare per la valutazione del rischio CEM, nonché di fugare la maggior parte dei dubbi interpretativi.

In futuro, si cercherà di integrare la *Guida Applicativa CEM* del CEI con nuove schede operative in aggiunta a quelle già contenute nell'allegato B della Guida.

BIBLIOGRAFIA

- [1] DIRETTIVA (EU) N. 35/2013 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) che ha abrogato la direttiva 2004/40/CE a decorrere dal 29 giugno 2013. G.U.U.E L179/1 del 26-6-2013.
- [2] DECRETO LEGISLATIVO 1/8/2016, 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". G.U. serie generale n.192 del 18/8/2016.
- [3] LEGGE 22/2/2001, N.36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici". G.U. n. 55 del 7 marzo 2001.
- [4] DPCM 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti". GU n. 200 del 29 agosto 2003.
- [5] DPCM 8 luglio 2003 "Limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalla esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz". GU n. 199 del 29 agosto 2003).

- [6] DECRETO LEGISLATIVO 09/4/2008 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”. S.O. N.108/L alla G.U. n. 101 del 30/4/2008.
- [7] DECRETO LEGISLATIVO 3/8/2009, N. 106 “Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 9 aprile 2008, n.81, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”. S.O. N.142/L alla G.U. n. 180 del 5/8/2009.
- [8] COORDINAMENTO TECNICO per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome – D.Lgs. 81/2008 Titolo VIII, Capo IV e s.m.i. sulla prevenzione e protezione dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici: Indicazioni operative.
- [9] GUIDA NON VINCOLANTE DI BUONE PRASSI per l’attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici. Volume 1 – Guida pratica, Volume 2 – Studi di casi, Volume 3 – Guida per le PMI. Unione Europea, 2015.
- [10] DIRETTIVA(CE) N. 40/2004, del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004 sulle norme minime per la salute e sicurezza in relazione all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (diciottesima Direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16(1) della Direttiva 391/89/EEC). G.U. UE L184 del 24 maggio 2004.
- [11] CENELEC EN 50413 “Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)”. In fase di pubblicazione.
- [12] CENELEC EN 50413 “Procedure for the assessment of the exposure of workers to electromagnetic fields”. In fase di pubblicazione.
- [13] CEI “Guida applicativa per la valutazione dei rischi e identificazione dell’esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz) ai sensi del D.lgs. 81/2008 e s.m.i.”. In fase di pubblicazione.
- [14] Portale Agenti Fisici (disponibile al seguente collegamento: http://www.portaleagentifisici.it/fo_campi_elettromagnetici_index.php?lg=IT, ultimo accesso 6/8/2019).

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

STRUMENTI OPERATIVI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA CEM

Daniele Andreuccetti ⁽¹⁾, Rosaria Falsaperla ⁽²⁾

⁽¹⁾ IFAC-CNR, via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

⁽²⁾ INAIL-DiMEILA, via Fontana Candida 1, 00078 Monte Porzio C. (RM)

RIASSUNTO

L'Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IFAC-CNR) è capofila di un progetto di ricerca finanziato dall'INAIL che vede coinvolte, oltre al Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale (DiMEILA) della stessa INAIL, anche unità operative dell'Azienda USL Toscana Sud Est, della Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo di Pavia e dell'Istituto Superiore di Sanità. In questo progetto si sta sviluppando WEBNIR, una piattaforma web ad accesso libero, attraverso la quale viene distribuita una serie di "strumenti web" pensati per fornire supporto alla valutazione dell'esposizione occupazionale ai campi elettromagnetici (con approfondimento delle problematiche specifiche dei portatori di dispositivi medici impiantabili attivi) e alle radiazioni ottiche artificiali.

In questo lavoro si riepilogano le finalità del progetto e si presentano sinteticamente le funzionalità messe a disposizione della piattaforma, con particolare riferimento a quelle orientate alla valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici.

INTRODUZIONE

Il Decreto Legislativo 1° agosto 2016 n.159 [1] di recepimento della Direttiva Europea 2013/35/UE [2], nel riformulare l'articolo 209 del Decreto Legislativo 9 aprile 2008 n.81 [3], ha previsto esplicitamente che la valutazione dell'esposizione dei lavoratori alle radiazioni non ionizzanti

possa essere effettuata anche basandosi sulle “informazioni reperibili presso banche dati dell’INAIL o delle regioni”. D’altra parte, gli art. 28 e 29 del citato D.Lgs. 81/2008 prevedono che l’INAIL renda disponibili strumenti tecnici e specialistici a supporto dei processi di standardizzazione, semplificazione e riduzione dei livelli di rischio. Basandosi anche su questi presupposti, l’INAIL ha bandito nel 2016 un progetto di ricerca in collaborazione avente l’obiettivo di sviluppare e raccogliere in una piattaforma web una serie di strumenti operativi, pensati per dare supporto agli operatori della prevenzione pubblici e privati, nelle attività di valutazione e riduzione del rischio da esposizione ai campi elettromagnetici (CEM) e alle radiazioni ottiche artificiali (ROA) e di analisi e gestione dei rischi per i portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (DMIA). Il progetto, che ha preso l’avvio nel giugno 2017 e giungerà alla conclusione a fine 2019, ha portato alla realizzazione della “piattaforma WEBNIR” [4].

LA PIATTAFORMA WEBNIR

La piattaforma WEBNIR è un sito web raggiungibile all’indirizzo <http://webnir.ifac.cnr.it> e articolato in tre sezioni; la prima di esse (“Sezione pubblica”) è ad accesso libero, mentre le altre (“Sezione gestionale” e “Sezione sviluppo”, finalizzate rispettivamente alla gestione del progetto e allo sviluppo delle applicazioni), sono protette da credenziali riservate al *team* che sviluppa il progetto stesso. Questo *team* comprende unità operative dell’IFAC-CNR, dell’INAIL-DiMEILA, dell’Azienda USL Toscana Sud Est, del Policlinico San Matteo di Pavia e dell’Istituto Superiore di Sanità.

La sezione pubblica è sostanzialmente un contenitore di documenti ed applicazioni ed è organizzato in tre aree tematiche, rispettivamente dedicate ai campi elettromagnetici (“Area CEM”), alle radiazioni ottiche artificiali (“Area ROA”) e alle problematiche dei dispositivi medici impiantabili attivi (“Area DMIA”). Una volta completata, la sezione pubblica ospiterà e renderà liberamente fruibili numerosi contenuti (genericamente denominati “strumenti web”), comprendenti:

- la presentazione e l’analisi della normativa di radioprotezione sui campi elettromagnetici;
- un inventario di sorgenti occupazionali di campi elettromagnetici;
- documenti procedurali, che riepilogano le principali indicazioni operative idonee a guidare gli operatori nel processo di valutazione dell’esposizione a CEM e ROA per alcune tipologie di sorgenti;
- documenti tecnico-scientifici, che approfondiscono questioni tecniche rilevanti e/o complesse;
- applicazioni web, pensate per risolvere alcuni tra i più comuni problemi di calcolo ed elaborazione dati che si incontrano nell’attività di

valutazione dell'esposizione occupazionale a CEM e ROA e nello studio dei rischi CEM per i portatori di DMIA.

L'Area CEM, di cui in particolare ci occupiamo in questo lavoro, raccoglie gli strumenti a supporto della valutazione del rischio da campi elettromagnetici nei luoghi di lavoro. L'accesso ai contenuti di questa Area è organizzato secondo due modalità di ricerca, denominate rispettivamente "Ricerca per tipologia di strumenti" e "Ricerca per classi di sorgenti". Nel primo caso, l'utente accede ad un elenco costruito raccogliendo gli strumenti in gruppi omogenei in base al tipo di funzione svolta. Nel secondo, all'utente viene presentato un elenco di sorgenti occupazionali di campi elettromagnetici (organizzato in classi di sorgenti affini per ambito di applicazione), per ciascuna delle quali sono indicati gli strumenti applicabili.

INFRASTRUTTURA TECNOLOGICA

L'infrastruttura tecnologica su cui si basa la piattaforma WEBNIR è già stata descritta in precedenti pubblicazioni [5,6] e verrà qui solo riepilogata.

La piattaforma è ospitata su una *workstation* di adeguate prestazioni *hardware*. Tutta l'architettura *software* installata o sviluppata su di essa (a partire dal sistema operativo Debian GNU/Linux) utilizza strumenti e linguaggi *open source*.

Le interfacce utente di navigazione e di utilizzo delle applicazioni sono state realizzate per mezzo di pagine web scritte in linguaggio HTML e supportate da procedure Javascript; per queste ultime, si è fatto largo uso del *framework* jQuery. Per la visualizzazione dei grafici con cui documentare i risultati delle applicazioni, si è utilizzata la libreria jqPlot (un *plugin* Javascript basato su jQuery), che supporta molteplici tipologie di grafico e mette a disposizione un'ampia gamma di opzioni, consentendo di realizzare grafici di buona qualità, ampiamente personalizzabili ed esportabili in formato PNG sul computer dell'utente.

Tutti i dati necessari al funzionamento della piattaforma e degli applicativi sono conservati in un *database* PostgreSQL. Il linguaggio PHP viene ampiamente utilizzato per gestire i rapporti tra le pagine web e il *database*, nonché per tutte le elaborazioni non impegnative dal punto di vista computazionale. Per queste ultime (come per esempio interpolazioni e filtri numerici), viene invece utilizzato il linguaggio Python; a questo fine, è stata implementata una interfaccia dedicata per lo scambio bidirezionale di dati tra procedure PHP e procedure Python, denominata GateWay to Python (GW2Py), basata sul protocollo WSGI (Web Server Gateway Interface) e pensata per garantire uniformità di approccio, portabilità e flessibilità.

GLI STRUMENTI PER I CEM

Nel seguito si riepilogano le principali caratteristiche di alcuni degli strumenti presenti nell'Area CEM della piattaforma WEBNIR. Molti di essi sono già stati completati e pubblicati sulla piattaforma (sebbene modifiche e perfezionamenti siano sempre possibili, almeno fino alla fine del progetto), altri sono in procinto di esserlo o si trovano in fase di sviluppo più o meno avanzata; tutti saranno in ogni caso resi fruibili entro la data di conclusione del progetto.

Ogni strumento inserito in WEBNIR viene documentato attraverso schede informative accessibili dall'interfaccia utente. Ogni scheda presenta brevemente l'applicazione, ne descrive le finalità e riporta le istruzioni per il suo uso corretto.

Consultazione di un elenco strutturato di sorgenti CEM

Viene mostrato un elenco di sorgenti occupazionali di campi elettromagnetici, che completa ed estende l'analogo elenco presente sul Portale Agenti Fisici (PAF) [7]. L'elenco è organizzato secondo una struttura gerarchica che ne facilita la consultazione. Per ciascuna sorgente si indicano l'eventuale esistenza sul PAF e la *giustificabilità* a priori e si propongono i collegamenti agli strumenti web utilizzabili in relazione ad essa. Si evidenzia in proposito che per "giustificabilità" di una sorgente ci si riferisce ai casi in cui è possibile eseguire una valutazione del rischio semplificata in considerazione della natura e entità dei rischi associati.

Visualizzazione e confronto dei limiti normativi

Vengono riportate le principali caratteristiche delle normative nazionali e comunitarie relative alla protezione dalle esposizioni ai campi elettromagnetici e viene mostrato in grafico l'andamento dei valori limite in funzione della frequenza. È possibile calcolare il limite ad una frequenza specifica. È possibile riportare in grafico e confrontare gli andamenti in funzione della frequenza di due o più limiti normativi relativi a grandezze omogenee, scelti tra le normative supportate.

Determinazione della distanza di rispetto tramite interpolazione

La *distanza di rispetto* (DR) è un parametro che si rivela molto indicato per sintetizzare i risultati di una valutazione, in quanto indica la distanza da una sorgente oltre la quale un particolare limite normativo viene rispettato.

L'applicazione per la determinazione della DR accetta un semplice file dati (redatto in un apposito formato) relativo alle misure di un indice di esposizione (indice di somma spettrale lineare o quadratica, indice di picco ponderato), rilevato in molteplici punti posti lungo una linea retta, a distanze progressivamente crescenti dalla sorgente. L'utente può opzionalmente specificare, direttamente nell'interfaccia dell'applicazione, gli errori di

misura sulla distanza e/o sull'indice. Viene quindi eseguita una interpolazione polinomiale, mediante la quale si determina la distanza a cui si intercetta il limite normativo. Vengono riportati in grafico (esempio in **Figura 1**) i valori misurati (con le barre di errore se disponibili), la curva di interpolazione e il valore della distanza di rispetto con il relativo intervallo di confidenza. Gli aspetti metodologici dell'applicazione sono descritti in [8].

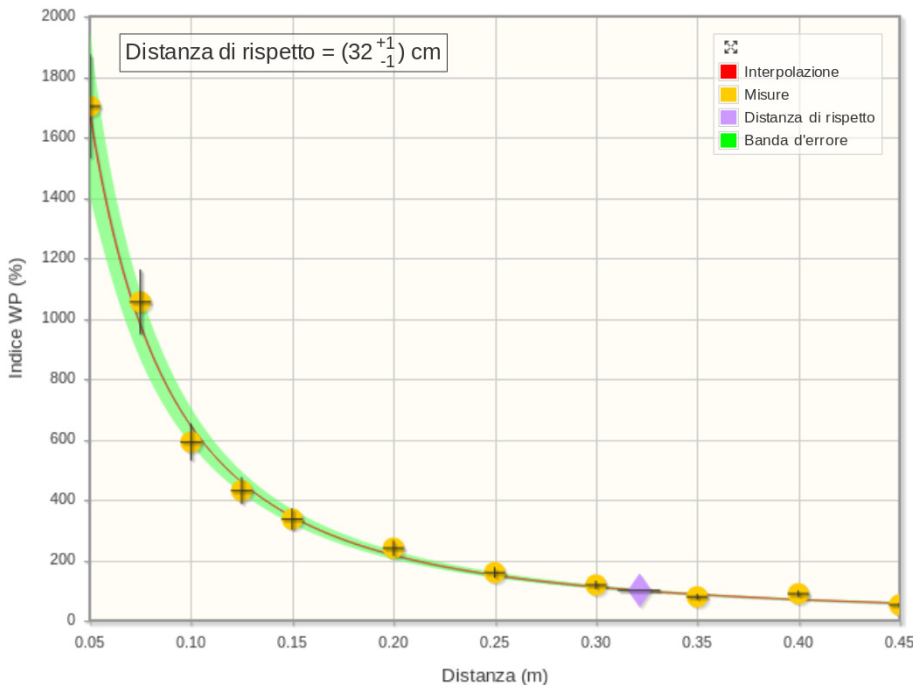


Figura 1 – Esempio di visualizzazione dei risultati dell'applicazione per l'interpolazione dei valori di indice di picco ponderato (WP) e la ricerca della distanza di rispetto, relativa a misure del campo magnetico di una saldatrice ad arco, con errore assoluto sulla distanza di 5 mm ed errore relativo sull'indice del 10%.

Elaborazione di misure di campo magnetico percepito

Viene analizzata una sequenza temporale regolare di misure vettoriali di induzione magnetica, acquisite da uno dei più comuni strumenti del settore (Narda/Metrolab THM1176 Three-axis Hall Magnetometer), indossato da un soggetto in movimento in un campo magnetostatico. Viene accettato ed elaborato il file dati salvato dallo strumento in modo nativo e vengono determinati il valore di picco dell'induzione magnetica, la sua massima variazione su 3 secondi e gli indici di picco ponderato nel dominio del tempo

relativi alle principali normative. Le grandezze misurate e calcolate vengono documentate sia graficamente, sia in forma tabellare.

Pur non essendo espressamente richieste dalla Direttiva 2013/35/UE, queste valutazioni sono ben fondate da un punto di vista tecnico-scientifico, in quanto basate sulla pertinente Linea Guida pubblicata dall'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) nel 2014 [9] e sono indicate dalla Guida non vincolante di buone prassi [10] per l'attuazione della stessa direttiva 35, qualora si vogliano effettuare valutazioni più approfondite.

Analisi di forme d'onda e calcolo dell'indice di picco ponderato

Vengono analizzate le forme d'onda relative a misure di campo elettrico o magnetico a frequenza bassa o intermedia, campionate nel dominio del tempo o della frequenza. Vengono accettati i file dati acquisiti dalle più comuni catene di misura (oppure i file dati la cui struttura viene descritta dettagliatamente dall'utente) e vengono determinati e mostrati in grafico e in tabella (esempio in **Figura 2**) alcuni parametri radioprotezionistici riepilogativi, come per esempio gli indici di picco ponderato relativi alle principali normative applicabili.

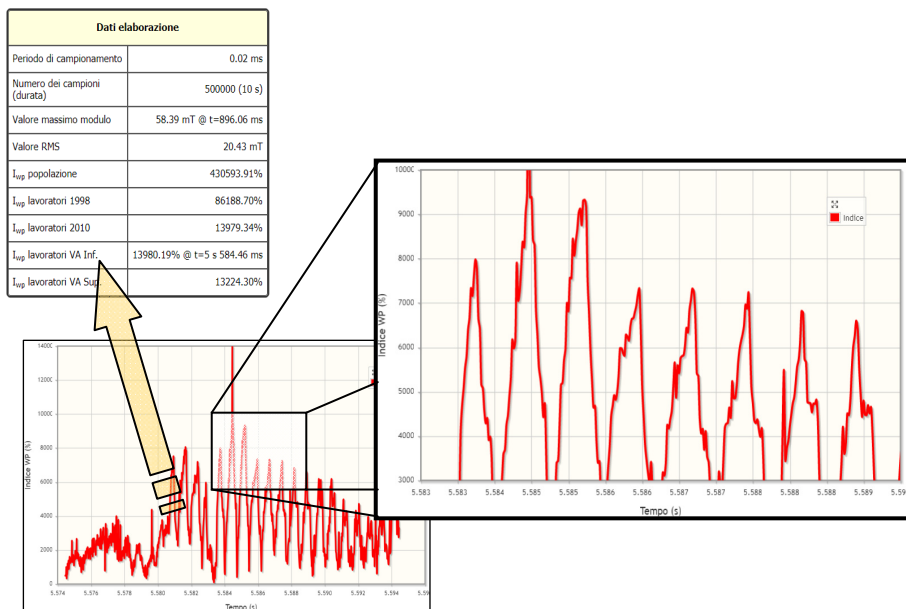


Figura 2 – Esempio di visualizzazione dei risultati dell'applicazione per l'analisi di una forma d'onda nel dominio del tempo, relativa a misure di campo magnetico di gradiente in risonanza magnetica.

Calcolo dell'induzione magnetica dispersa da un sistema di elettrodotto aerei o interrati

L'applicazione gestisce fino a 10 linee elettriche parallele, aeree o interrate, ciascuna costituita da un massimo di 30 conduttori percorsi da corrente nota. È possibile selezionare le strutture particolarmente impattanti predefinite nel sistema ed eventualmente modificarle, oppure descriverne di nuove inserendo direttamente i valori di tutti i parametri geometrici ed elettrici pertinenti. Occorre poi fornire le informazioni sulla modalità di calcolo, che viene eseguito su una sezione verticale ortogonale ai conduttori. Si determinano i valori di induzione magnetica lungo una linea perpendicolare alla direzione dei conduttori e posta ad una altezza prefissata dal terreno (supposto piano, ma non necessariamente orizzontale) e si ricercano i punti della sezione in cui l'induzione assume un particolare valore indicato dall'utente. I risultati sono riportati in due distinti grafici. La seconda modalità è particolarmente utile per l'individuazione delle cosiddette "fasce di rispetto".

Modellazione numerica di sorgenti

Questa applicazione consente di definire e modellare varie tipologie di sorgenti quasistatiche di induzione magnetica; le tipologie attualmente previste sono il segmento rettilineo, la bobina a spira singola o multipla e il solenoide; per mezzo di esse, è possibile rappresentare un'ampia gamma di sorgenti reali, costituite da conduttori filiformi e avvolgimenti di vario tipo. L'utente deve specificare i parametri che definiscono la geometria della sorgente, la sua posizione nello spazio e il valore della corrente che la percorre. L'applicazione provvede a calcolare il vettore induzione magnetica disperso nell'ambiente, utilizzando il modello analitico o numerico più idoneo caso per caso.

Valutazione dell'efficacia schermante di schermi piani omogenei

L'applicazione si colloca nell'ambito delle attività per il contenimento dell'esposizione ai campi elettromagnetici ed offre un ausilio preliminare al dimensionamento di una schermatura.

Viene utilizzato un modello semplificato per valutare la *shielding effectiveness* (SE) di uno schermo ideale, modellato come una lastra piana omogenea indefinita, costituita da materiale conduttore di data conducibilità elettrica e permeabilità magnetica. Nel caso dei materiali ferromagnetici, viene utilizzato un semplice modello Cole-Cole [11] per tenere approssimativamente conto della variazione della permeabilità con la frequenza. È possibile selezionare il materiale tra quelli, di caratteristiche note, predefiniti nell'archivio dell'applicazione, oppure definire un materiale personalizzato, inserendone le relative caratteristiche elettriche e magnetiche. Vengono valutati i contributi alla SE originati dalle riflessioni sulle

interfacce di entrata e di uscita dalla lastra-schermo, dall'assorbimento in quest'ultima e dalle eventuali riflessioni multiple. Oltre a fornire il valore della SE in un caso specifico, l'applicazione permette di costruire grafici (esempio in **Figura 3**) in cui viene riportato l'andamento della SE in funzione della variazione di uno o due parametri del problema.

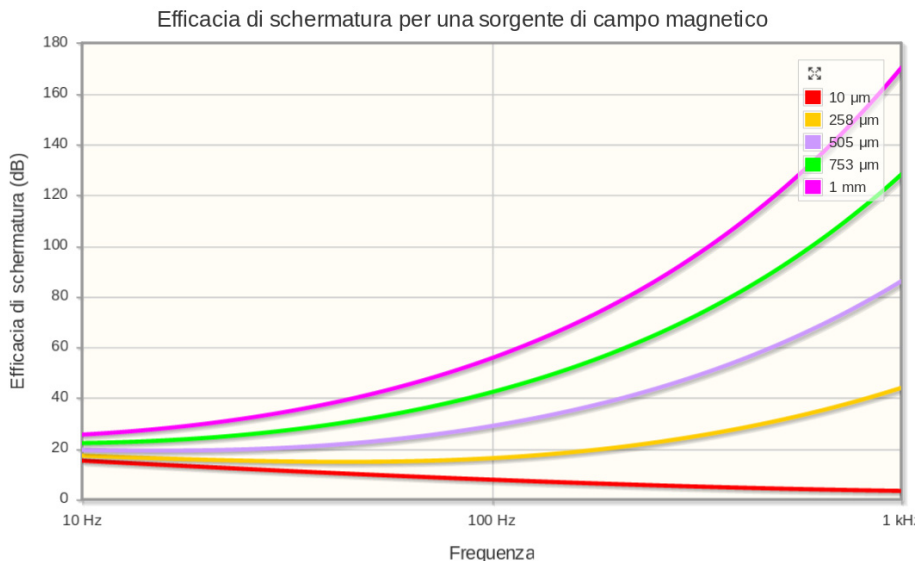


Figura 3 – Esempio di visualizzazione dei risultati dell'applicazione per la stima della Shielding Effectiveness (SE): SE di una lastra di ferro puro al 99.95%, per frequenze da 10 Hz a 1 kHz e vari spessori, nei confronti di una sorgente di campo magnetico posta a 50 cm di distanza dallo schermo.

Stima della tensione indotta all'ingresso di un pacemaker¹

Questa applicazione permette di calcolare la tensione indotta ai terminali di ingresso di un *pacemaker* in funzione delle sue condizioni di esposizione (in particolare, dei valori di intensità di campo elettrico e/o di campo magnetico), attraverso l'implementazione delle formule riportate nell'appendice della norma CEI EN 50527-2-1 [12], con riferimento alla situazione di caso peggiore, in cui l'area formata dal *pacemaker* e dall'elettrocattetero nel corpo umano è di 225 cm². Il calcolo viene effettuato inserendo la frequenza di interesse e i valori di picco massimo di campo elettrico e di campo

¹ Questa applicazione è inserita nell'Area DMIA di WEBNIR, a differenza di tutti gli altri strumenti web descritti in questo lavoro, che si trovano nell'Area CEM.

magnetico misurati. Il valore di tensione indotta così ottenuto può essere confrontato con i livelli di immunità che i *pacemaker* devono soddisfare, alle varie frequenze, per verificarne la compatibilità con le condizioni di esposizione.

Procedure di intervento schematiche standardizzate

Sono state predisposte le seguenti procedure, validate nel corso di apposite campagne di misura.

Valutazione dell'esposizione al campo magnetico generato da un apparato per stimolazione magnetica transcranica.

Valutazione dell'esposizione al campo magnetico generato da una saldatrice industriale a punti o ad arco.

Valutazione dell'esposizione al campo elettrico e magnetico generato da un elettrobisturi.

Valutazione dell'esposizione al campo magnetico di gradiente in risonanza magnetica.

Valutazione dell'esposizione dovuta al movimento di un soggetto in un campo magnetico statico.

CONCLUSIONI

La piattaforma WEBNIR mette a disposizione una serie di strumenti pensati sia con finalità di formazione individuale, sia per fornire supporto nelle fasi di conduzione delle attività di valutazione dell'esposizione e di elaborazione ed interpretazione dei dati misurati.

Essa contribuisce quindi a dare risposta in modo concreto alle aspettative aperte dal D.Lgs. 81/2008 [3], in particolare dove si chiama in causa la possibilità di far uso di informazioni reperibili presso banche dati e siti web.

La piattaforma, pertanto, può costituire un riferimento di utile e frequente consultazione per gli operatori pubblici e privati investiti dei compiti di prevenzione e protezione dalle radiazioni non ionizzanti, coadiuvandoli – specie in carenza di formazione e conoscenze specifiche e specialistiche – nell'eseguire valutazioni affidabili dell'esposizione, almeno in relazione alle sorgenti e alle problematiche più diffuse.

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] 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 n.192 del 18 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). Gazzetta ufficiale dell’Unione europea L 179/1-21, 29.6.2013.
- [3] 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”, coordinato con il D.Lgs. 3 agosto 2009, n.106 e smi. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n.101 del 30 aprile 2008, supplemento ordinario n.108.
<https://www.portaleagentifisici.it/filemanager/userfiles/TU-81-08-Edizione-Febbraio-2019.pdf.pdf>
- [4] WEBNIR. Piattaforma web sviluppata nell’ambito del progetto ex bando INAIL Bric-2016 (P4-ID30) “Strumenti web di ausilio alla valutazione del rischio da esposizione a campi elettromagnetici - anche in riferimento ai portatori di dispositivi medici impiantabili attivi - e a radiazioni ottiche artificiali”. 2017-2019. (<http://webnir.ifac.cnr.it/>).
- [5] D.Andreuccetti, M.Comelli, S.D’Agostino, R.Falsaperla, N.Zoppetti: “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 dBA-2018 “I rischi fisici nei luoghi di lavoro”, Bologna, 17 ottobre 2018. ISBN 978-88-940868-6-7, pag. 247-260.
- [6] M.Comelli, D.Andreuccetti: “Applicazione online per l’acquisizione e l’elaborazione di dati nel dominio del tempo e della frequenza nella valutazione dell’esposizione a CEM”. Atti del VII Convegno Nazionale Agenti Fisici “Monitoraggio ambientale: dalla produzione all’analisi del dato”, Stresa, 5-7 giugno 2019. ISBN 978-88-88648-47-7, pag.281-287.

- [7] PAF. Portale Agenti Fisici, Sezione Campi Elettromagnetici. (https://www.portaleagentifisici.it/fo_campi_elettromagnetici_index.php).
- [8] N.Zoppetti, D.Andreuccetti, M.Comelli, S.D'Agostino, R.Falsaperla: "Incertezza nella determinazione della distanza di rispetto mediante interpolazione spaziale di indici di esposizione a campi elettromagnetici". Atti del VII Convegno Nazionale Agenti Fisici "Monitoraggio ambientale: dalla produzione all'analisi del dato", Stresa (VB), 5-7 giugno 2019. ISBN 978-88-8864-847-7, pag.347-350.
- [9] ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection): "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, N.3, March 2014, pp.418-425.
- [10] Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici. Commissione Europea, Direzione generale per l'Occupazione gli affari sociali e l'inclusione, Unità B3. Manoscritto completato nel novembre 2014. © Unione europea, 2015.
- [11] K.S.Cole and R.H.Cole: "Dispersion and absorption in dielectrics: I. Alternating current characteristics". Journal of Chemical Physics, Vol.9 (April 1941), pages 341-351.
- [12] CEI EN 50527-2-1 (2016): "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."

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

ILLUMINAZIONE A LED E RISCHIO FOTOBIOLOGICO: COSA SAPPIAMO E COSA CREDIAMO DI SAPERE

Francesco Frigerio ⁽¹⁾, Luisa Biaszi ⁽²⁾

⁽¹⁾ ICS Maugeri Spa – Centro Ricerche Ambientali – Pavia

⁽²⁾ Università di Pavia

Introduzione

Abbiamo visto spesso che rischi da agenti fisici individuati nel luogo di lavoro, portano più o meno velocemente a prendere consapevolezza della possibile esistenza di un pericolo anche per la popolazione generale con la conseguente fissazione di normative e misure cautelative.

Questo processo si è verificato per il rumore nell'ambiente di lavoro, che ha portato poi a introdurre le norme sull'inquinamento acustico e si sta verificando, forse in modo meno consapevole e ordinato per l'esposizione a microonde.

L'International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) ha emanato le sue linee guida per i campi elettromagnetici fino a 300 GHz nel 1998, ma è solo con la diffusione di massa della telefonia mobile dopo gli anni '10 che nel pubblico si è diffusa la consapevolezza, più o meno fondata, della possibile esposizione della popolazione.

Un fenomeno simile si sta verificando per il rischio fotobiologico da radiazioni ottiche artificiali che sembra preoccupare il pubblico prevalentemente in relazione all'illuminazione a led.

Al fine di valutare il rischio fotobiologico di lampade e sistemi di lampade è stato emanato uno specifico standard CEI EN 62471:2009 che classifica tali sorgenti in 4 gruppi (4 classi di rischio) riportate in Tabella V). Questa norma prevede metodi di misura e classificazione e, anche se non definisce vincoli specifici per la marcatura, rappresenta attualmente lo stato dell'arte in termini di informazioni sulla sicurezza fotobiologica delle lampade e dei sistemi di lampade (compresi i LED).

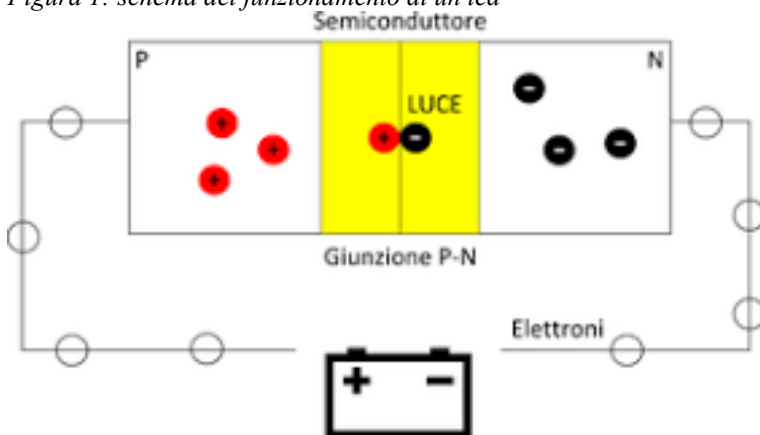
Allo stato attuale le norme IEC/CEI di sicurezza specifiche per ciascuna tipologia di sistema di illuminazione sono in corso di adeguamento per recepire i criteri di

sicurezza fotobiologica e garantirne un utilizzo sicuro in relazione al rischio oculare, così come è in passato avvenuto per i sistemi Laser.

Il led, dalle iniziali inglesi per diodo a emissione luminosa, può essere schematizzato come in Figura 1. Un diodo a stato solido è costituito da due strati di materiale semiconduttore con drogaggio diverso.

Nello strato identificato come N si produce una sovrabbondanza di portatori di carica negativi, ovvero elettroni. Nello strato P si genera, sempre mediante opportuno drogaggio del materiale, una certa concentrazione di aree con carenza di elettroni rispetto alla configurazione neutra. Queste aree si comportano come portatori di carica positiva, sono definite in lingua italiana “lacune” o, più spesso “buche”, traduzione del termine inglese hole.

Figura 1: schema del funzionamento di un led



Per effetto del drogaggio c'è una differenza di energia ΔE tra i due strati N e P, tipica dello specifico semiconduttore.

Quando il diodo è polarizzato come in figura, gli elettroni sono attratti verso la giunzione e spinti a neutralizzare un certo numero di lacune.

Il ricongiungimento elettrone-buca comporta un passaggio di corrente ma anche l'emissione di un fotone di lunghezza d'onda corrispondente al salto energetico

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (1)$$

dove h e c sono la costante di Planck e la velocità della luce.

La luce emessa rientra in un intervallo relativamente stretto intorno alla lunghezza d'onda propria del dispositivo.

In generale non è possibile, fatti salvi i processi che provocano un allargamento della riga, l'emissione di luce a lunghezza d'onda minore rispetto a quella intrinseca del dispositivo.

Per alcuni anni i led sono stati piccoli oggetti a bassa emissione luminosa con lunghezza d'onda minima corrispondente al giallo; utilizzati prevalentemente come indicatori di stato delle apparecchiature.

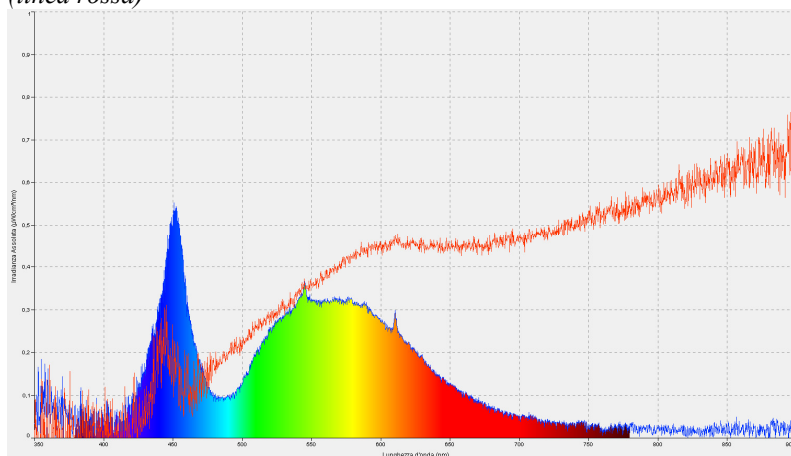
Il vero salto tecnologico si è verificato quando è stato possibile realizzare diodi con emissione nel blu e con un adeguato flusso luminoso.

La luce bianca è divenuta così realizzabile a partire da un led blu ricoperto da uno strato di materiale fluorescente che genera le componenti verdi e rosse.

Nella Figura 2, lo spettro di un led a luce bianca (linea blu) è confrontato con quello di una lampada alogena.

Si evidenzia, tra l'altro, che la lampada alogena emette una significativa frazione di energia nell'infrarosso.

Figura 2: confronto fra un led a luce bianca (linea blu), e una lampada alogena (linea rossa)



Il successo dell'illuminazione a led è dovuto, in larga parte, alla possibilità di produrre sorgenti di elevata brillantezza con basso consumo elettrico.

Nella Tabella I sono confrontate le prestazioni tipiche di diverse sorgenti luminose.

Il flusso luminoso, espresso in lumen (lm), è la grandezza che divisa per la superficie si definisce illuminamento, espresso in lux.

Tabella I: prestazioni tipiche di diverse tipologie di sorgente

Tipo di lampada	Consumo di energia W	Flusso luminoso lm	Efficienza luminosa lm/W
LED	6	470	78
Fluorescente (elettronica interna)	18	1100	61
Alogena	30	405	14
Alogenuri metallici (industriale)	35	3700	106

L'illuminamento può essere rappresentato come irradianza, ovvero energia incidente per unità di superficie, pesata sulla curva di sensibilità dell'occhio alla luce diurna (sensibilità fotopica).

$$E_{lux} = 683 \int_{\lambda=380}^{\lambda=730} E(\lambda)V(\lambda)d\lambda \quad (2)$$

Il fattore 683 serve a normalizzare all'unità di flusso luminoso.

La Tabella I mostra come con i led sia possibile ottenere un'efficienza luminosa confrontabile con quella delle lampade ad alogenuri metallici che hanno comunque costi notevoli e non si prestano per applicazioni domestiche.

L'Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'Environnement et du travail (ANSES), ente francese per la sicurezza sul lavoro, ha emanato nel 2010 e successivamente aggiornato nell'aprile 2019 [2] un parere "*sugli effetti sulla salute umana e sull'ambiente*" dei sistemi a led.

I possibili effetti sanitari individuati sono legati essenzialmente a due fenomeni:

- la presenza di luce blu;
- la modulazione temporale della luminanza.

Il rischio da luce blu, secondo le linee guida ICNIRP, recepite nella Direttiva 2006/25/CE [1] e di conseguenza nel D.Lgs 81/08 Titolo VIII Capo V e Allegato XXXVII, viene valutato mediante la grandezza

$$L_B = \int_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} L(\lambda)B(\lambda)d\lambda \quad (3)$$

rimandando ai riferimenti per dettagli e definizioni, si ricorda che la radianza L è legata all'irradianza E dalla relazione

$$L = \frac{E}{\omega} \quad (4)$$

dove ω è l'angolo sotto il quale viene osservata la sorgente.

Il rischio pertanto aumenta quanto più la sorgente è puntiforme e lo spettro spostato verso il picco dello spettro d'azione $B(\lambda)$, intorno a 440 nm.

Al fine di prevenire il danneggiamento fotochimico della fovea (regione centrale della retina), per tempi di esposizione $t < 10000$ s (circa 2 ore e mezza), il limite è rispettato se $L_B < 10^6/t$ W/m²*sr, oltre i 10000 s di esposizione deve essere $L_B < 100$ W/m²*sr

Altri effetti della luce blu sarebbero legati al fatto che questa componente dello spettro è tipica della luce diurna; come possibile conseguenza, un'eccessiva esposizione a luce blu nel periodo notturno potrebbe comportare negli uomini ma anche in piante e animali, alterazioni dei cicli fisiologici naturali, tipicamente, il ritmo sonno-veglia.

Ulteriori effetti, forse meno studiati, sono quelli legati alla modulazione temporale della luce.

Considerando la Figura 1, è evidente che se collegato direttamente alla rete di alimentazione, il led può emettere luce solo durante una delle due semionde di cui è costituita la sinusoide a 50 Hz.

L'alimentazione del led con corrente continua è in molti casi ottenuta approssimativamente, tipicamente invertendo una delle due semionde.

L'occhio umano è in grado di percepire variazioni a frequenza inferiore a 20 Hz ma anche fino a 100 Hz, (e oltre in soggetti predisposti). Lo sfarfallamento della luce, o flickering può provocare sensazioni di malessere, mal di testa e, nei casi più gravi scatenare convulsioni e attacchi epilettici [3].

L'indice più diffuso per valutare questo rischio è quello introdotto dall' Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) che per una sorgente di intensità I , è definito

$$M_{\%} = 100 * \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (5)$$

La norma IEEE 1789-2015 raccomanda i seguenti valori, dipendenti dalla frequenza f :

$$M_{\%} < 0,025 * f, \text{ per } f < 90 \text{ Hz}$$
$$M_{\%} < 0,08 * f \text{ per } 90 \leq f < 1250 \text{ Hz}$$

Per frequenze > 1250 Hz, non si ritengono necessarie restrizioni sulla modulazione. In questo lavoro, abbiamo confrontato diverse sorgenti a led, sia per impiego civile sia per l'illuminazione industriale, con attenzione ai metodi di valutazione più pratici.

Materiali e metodi

Un primo problema è quello della valutazione dello spettro della sorgente con riferimento alla componente della luce blu.

Per questo lavoro, tutte le sorgenti sono state sottoposte a misura dell'irradianza spettrale $E(\lambda)$ mediante spettroradiometro Ocean Optics HR4000.

La radianza è stata ricavata successivamente conoscendo l'angolo solido sotteso mediante la (4) e gli integrali (2) e (3) sono stati ricavati in post-elaborazione.

Per valutare la quantità di luce blu generata dalla sorgente, è utile calcolare il rapporto di luce blu $R_B = \frac{E_B}{illum.}$. Esprimendo tale rapporto in $\frac{W}{m^2 * klux}$ si ottiene una grandezza adimensionale compensata, dal punto di vista numerico per il fattore 683 che compare nella (2).

Si evidenzia che il rischio retinico fotochimico è valutato dalla radianza (3) che tiene conto dell'angolo sotteso mentre il rapporto E_B/lux valuta semplicemente la quantità di luce blu emessa.

Un indice molto popolare per esprimere lo stesso concetto, e relativamente semplice da interpretare, è la temperatura comparata di colore (CCT) o più comunemente temperatura di colore.

Per definizione, la CCT è la temperatura in °K di un corpo nero che fornisce la stessa sensazione cromatica della sorgente in esame.

Per una distribuzione di corpo nero infatti vale la relazione

$$\lambda \cdot T = w \quad (6)$$

con $w = 0,00289 \text{ m} * \text{°K}$ e λ lunghezza d'onda corrispondente al picco della distribuzione spettrale.

Pertanto, al crescere della temperatura, il picco della distribuzione si sposta verso il blu.

Il sole genera una luce assimilabile ad un corpo nero a 6000 °K; in effetti le lampade vendute oggi riportano, oltre al flusso luminoso in lm, anche un valore di CCT.

Il confronto fra le due curve della Figura 2, mostra come non sia affatto garantito che la CCT sia un parametro idoneo a valutare una sorgente a led.

Il calcolo della CCT a partire dallo spettro richiede un procedimento abbastanza complesso da descrivere in questa sede [4].

Per questo lavoro, è stato scelto il procedimento semplificato di Mc Camy [5], che richiede di calcolare le coordinate cromatiche x e y pesando lo spettro con le curve definite dalla Commission Internationale d'Eclairage (CIE) e ricavando il parametro

$$n = \frac{x-0,3320}{0,1858-y} \quad (7)$$

da qui

$$CCT = 449 * n^3 + 3525 * n^2 + 6823,3 * n + 5520,33 \quad (8)$$

La modulazione $M\%$ è stata invece misurata con un fotodiodo Electro Optics ET2000 accoppiato ad un oscilloscopio digitale Good Will Instek GDS-2104.

Risultati

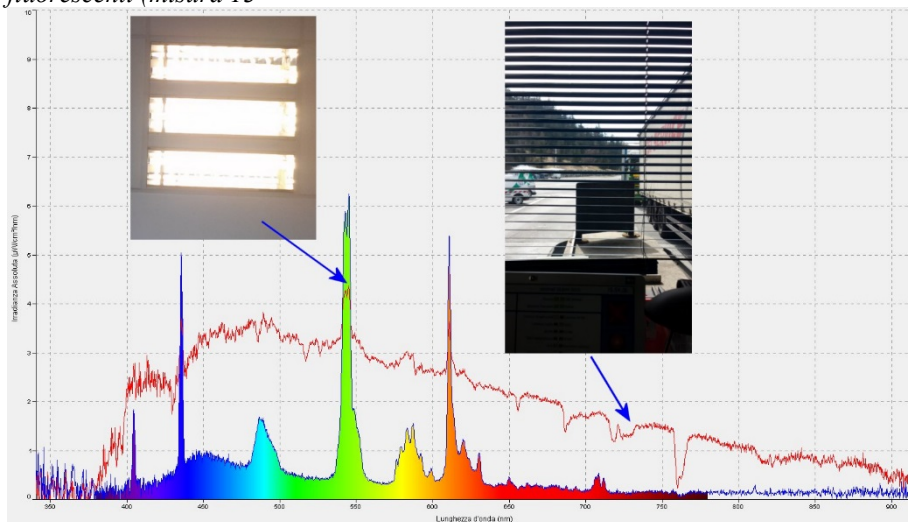
Nella Tabella II sono riportati i risultati delle misure spettrali.

Sono evidenziate in giallo le misure per le quali il valore di L_B è tale da non consentire la visione a tempo indeterminato.

Tutte le sorgenti evidenziate in giallo sono sorgenti a led, ma non tutte le sorgenti a led superano il limite per L_B , e la maggior parte di esse per tempi superiori a 1 ora di osservazione, del tutto compatibili con ambienti industriali purchè l'installazione sia fuori dal campo visivo della postazione di lavoro.

Nella stessa tabella sono riportati numerosi esempi di sorgenti con rapporti di luce blu elevati diverse dai led, compresa la luce naturale.

Figura 3: confronto fra la luce naturale (misura 12) e illuminazione a tubi fluorescenti (misura 13)



Nella Figura 4 è illustrato il faro a led di cui alla misura 4: per superare il limite per L_B sarebbe necessario fissare il faro per focalizzarne l'immagine sulla fovea per un tempo superiore a 1 ora e mezza.

All'immagine è sovrapposta la misura con l'oscilloscopio che evidenzia una modulazione alla frequenza di 100 Hz.

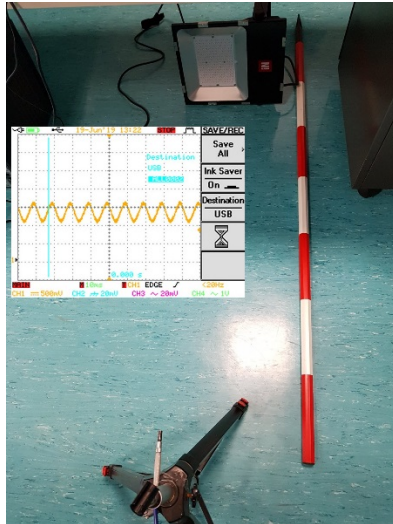
Tabella II: misure eseguite mediante spettroradiometro

Misura	Sorgente	Illuminamento lux	Irradianza pesata E_b W/m^2	Radianza da luce blu $W/m^2 \cdot sr$	Tempo massimo di osservazione per rispettare il limite per luce blu s	Rapporto di luce blu $W/m^2 \cdot klux$	Temperatura di colore comparata $^{\circ}K$
1	Led stradale, osservazione laterale in galleria	521	0,28	3,0	> 2,5 h	0,532	3385
2	Led stradale durante manutenzione	2602	1,16	58,0	> 2,5 h	0,446	3410
3	Lampada fluorescente stradale durante manutenzione	1150	0,58	6,3	> 2,5 h	0,505	3770
4	Faretto a led per illuminazione industriale	3281	2,46	169,3	5908	0,749	4528
5	Modulo led per illuminazione stadi	5574	3,20	67,7	> 2,5 h	0,574	3398
6	Plafoniera per illuminazione fluorescente da interni	328	0,14	1,9	> 2,5 h	0,430	3496
7	Faretto a led per illuminazione industriale	3019	2,76	337,5	2963	0,914	3433
8	Plafoniera per illuminazione fluorescente da interni	277	0,12	1,1	> 2,5 h	0,447	3641



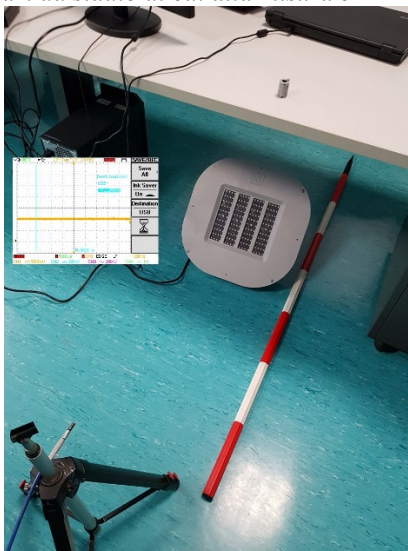
Misura	Sorgente	Illuminamento lux	Irradianza pesata E_p W/m^2	Radianza da luce blu $W/m^2 \cdot sr$	Tempo massimo di osservazione per rispettare il limite per luce blu s	Rapporto di luce blu $W/m^2 \cdot klux$	Temperatura di colore comparata $^{\circ}K$
9	Faro ad alogenuri metallici per illuminazione industriale	83	0,08	90,0	> 2,5 h	0,941	4195
10	Faro a led per illuminazione industriale	206	0,16	178,6	5600	0,756	4251
11	Faretto alogeno piattaforma idraulica	276	0,09	19,4	> 2,5 h	0,310	1650
12	Osservazione piano stradale da cabina di esazione	2275	2,04	8,1	> 2,5 h	0,895	3521
13	Osservazione corpi illuminanti fluorescenti in cabina di esazione	772	0,57	1,0	> 2,5 h	0,741	4792
14	Torcia led tascabile	11684	11,88	13614,7	73	1,017	5351

Figura 4: faro a led di cui alla misura 4 e misura della modulazione



Nella Figura 5 è mostrata la sorgente di cui alla misura 5. Questo dispositivo è progettato per essere affiancato da altri moduli in una torre-faro per illuminazione di stadi o altre aree di grande superficie. Anche il singolo modulo presenta un basso rapporto tra luce blu e illuminamento e rispetta il limite per L_B per tempi di osservazione indeterminati. La verifica con l'oscilloscopio non evidenzia alcuna modulazione apprezzabile.

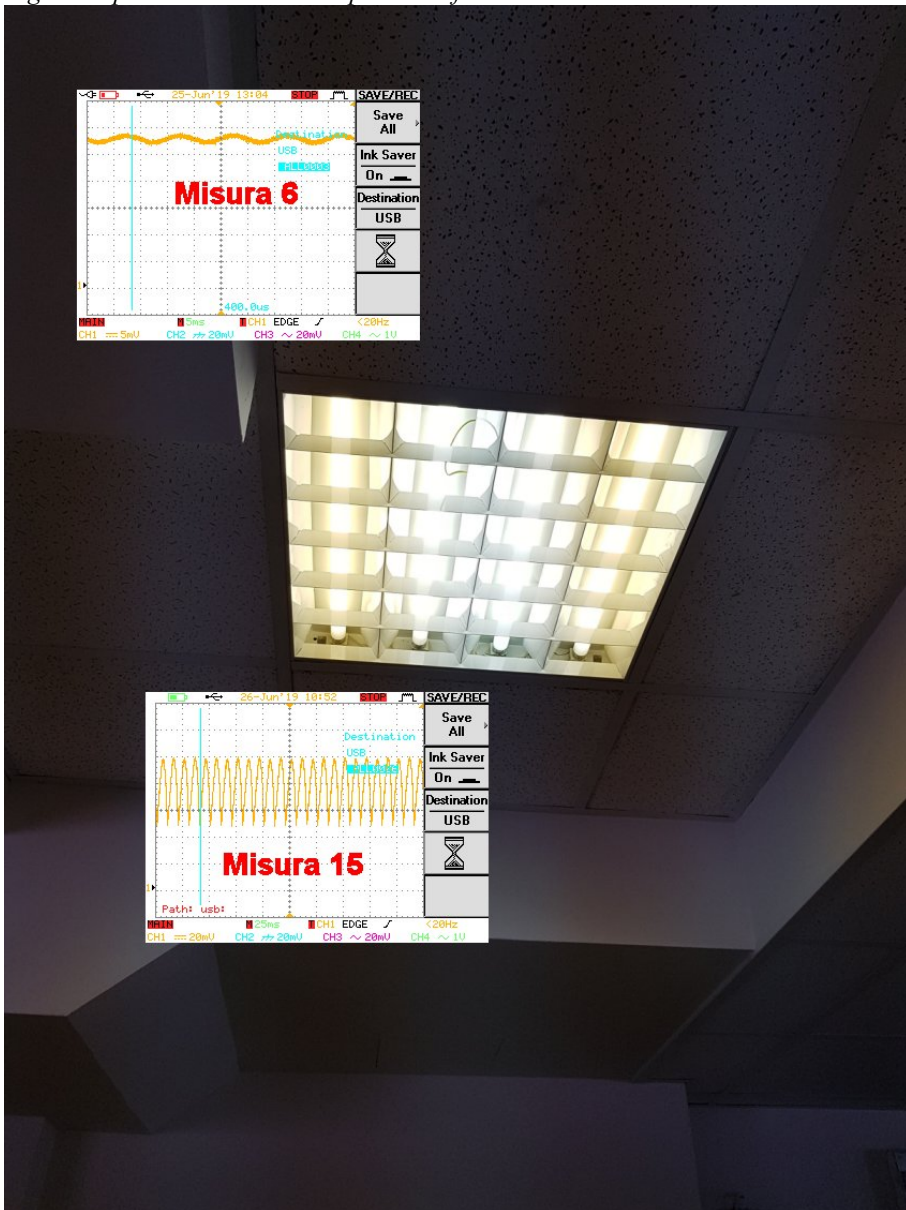
Figura 5: modulo per fari da stadio di cui alla misura 5



La Figura 6 riporta una tipica plafoniera da ufficio a tubi fluorescenti, con spettro molto simile a quello illustrato nella Figura 3.

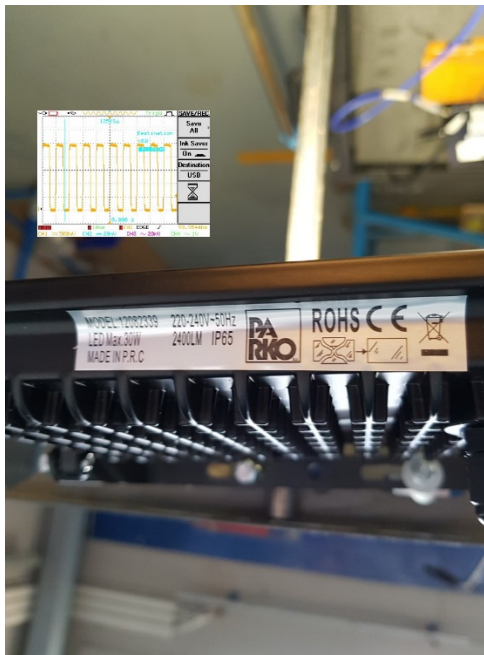
La modulazione è sempre a 100 Hz (la base dei tempi delle due acquisizioni è diversa) ma misure eseguite in due ambienti con impianti apparentemente identici hanno mostrato risultati diversi in termini di modulazione.

Figura 6: possibili modulazioni per i tubi fluorescenti



Nella Figura 7 è illustrato il faretto a led di cui alla misura 7 che presenta ancora una notevole modulazione ma con forma d'onda diversa.

Figura 7: led di cui alla misura 7 con elevata modulazione



Le diverse modulazioni misurate sono riassunte in Tabella III; in tutti i casi la frequenza è doppia della frequenza di rete, ovvero il valore di 100 Hz che secondo IEEE richiede $M\% < 8$.

Sono evidenziati in giallo i dispositivi che superano tale valore.

Tabella III: misure di modulazione

	Misura	Modulazione M%	Frequenza Hz
4	Faretto a led per illuminazione industriale	18,5	100
5	Modulo led per illuminazione stadi	0,0	--
6	Plafoniera per illuminazione fluorescente da interni	3,6	100
7	Faretto a led per illuminazione industriale	28,0	100
15	Plafoniera per illuminazione fluorescente da interni	35,1	100

Discussione

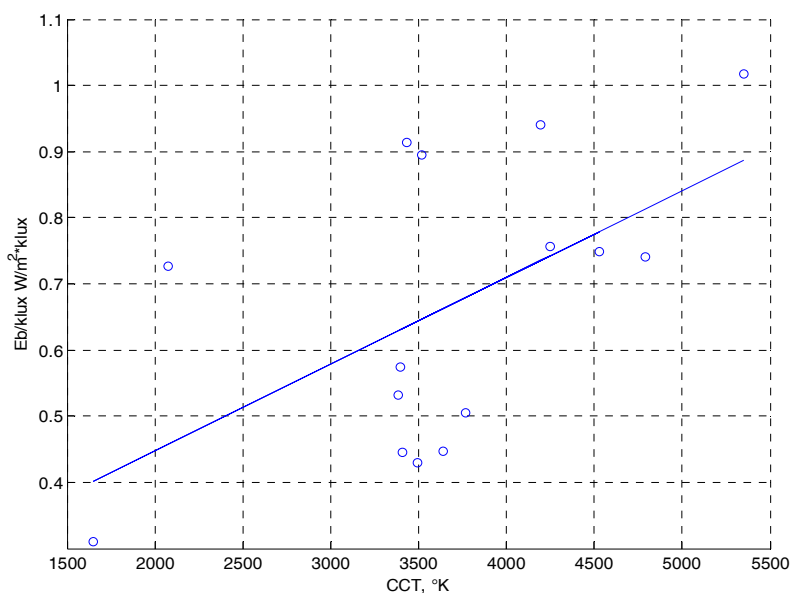
Il superamento del limite per L_B è stato effettivamente riscontrato per i dispositivi a led in quanto capaci di generare elevati flussi luminosi con piccole superfici della sorgente. Il caso della torcia a led (misura 14) ne è un esempio estremo.

L'intensità della luce blu in rapporto all'illuminamento non è risultata una prerogativa particolare dei led rispetto ad altre sorgenti così come lo sfarfallamento, che è dovuto all'elettronica dei diversi dispositivi.

Il confronto fra i valori misurati del rapporto di luce blu e le CCT, sia pure ricavate con un metodo approssimato, confermano che questo indice non è soddisfacente per caratterizzare sorgenti molto diverse dal corpo nero.

Nella Figura 8, è riportata la regressione lineare fra CCT e rapporto fra luce blu e illuminamento.

Figura 8: correlazione fra CCT e rapporto tra luce blu e illuminamento ricavata dalla Tabella I



Si conferma che valori estremi della CCT, $< 3000 \text{ °K}$ o $> 4000 \text{ °K}$ possono caratterizzare sorgenti sicuramente esenti dal rischio di luce blu e sorgenti che, se osservate sotto angoli piccoli, possono con buona probabilità comportare un rischio. Il grafico tuttavia evidenzia che a uno stesso valore di CCT possono corrispondere diverse percentuali effettive di luce blu.

Conclusioni

I dispositivi a led sono potenzialmente pericolosi per la caratteristica di produrre alti livelli di luminanza. CEI EN 62471:2009

Al fine di valutare il rischio fotobiologico di lampade e sistemi di lampade è stato emanato uno specifico standard CEI EN 62471:2009 che classifica tali sorgenti in 4 gruppi (4 classi di rischio) riportate in Tabella V). Questa norma prevede metodi di misura e classificazione e, anche se non definisce vincoli specifici per la marcatura, rappresenta attualmente lo stato dell'arte in termini di informazioni sulla sicurezza fotobiologica delle lampade e dei sistemi di lampade (compresi i LED).

Nel corso del 2018 le norme IEC/EN/CEI di prodotto specifiche per ciascuna tipologia di sistema per illuminazione a LED (IEC CEI EN 62031; IEC 62612) sono state adeguate recependo i criteri di sicurezza fotobiologica e classificazione fissati dalla IEC CEI EN 62471:2009 (tabella 1). Pertanto - a seguito di tale adeguamento - per ciascuna tipologia di sorgente LED il costruttore garantirà specifici limiti di emissione; nel caso di sorgenti potenzialmente pericolose - cioè non appartenenti al gruppo "esente", come nel caso della torcia LED precedentemente discusso, - il costruttore sarà tenuto a fornire specifici segnali di pericolo, etichette ed avvertenze che ne garantiscano un utilizzo sicuro in relazione al rischio oculare, secondo quanto specificato IEC TR 62471-2, Photobiological safety of lamps and lamp system — Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety.

Tabella V Classificazione rischio fotobiologico lampade secondo lo standard CEI EN 62471:2009

Gruppo	Stima del Rischio
Esente	Nessun rischio fotobiologico
Gruppo 1	Nessun rischio fotobiologico nelle normali condizioni di impiego
Gruppo 2	Non presenta rischio in condizioni di riflesso naturale di aversione alla luce o effetti termici
Gruppo 3	Pericoloso anche per esposizioni momentanee

Infine rischi legati alla percentuale di luce blu e alla modulazione dell'intensità devono essere considerati con maggiore attenzione e non sono prerogativa delle sole sorgenti a led.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano la dott.ssa Chiara Burattini di Uniroma1 per i preziosi suggerimenti sul calcolo della CCT e la dott.ssa Iole Pinto Fisico Dirigente dell'USL Toscana Sud Est Laboratorio di Sanità Pubblica Agenti Fisici per la costruttiva revisione bibliografica di questo articolo.

BIBLIOGRAFIA

[1] *Direttiva 2006/25/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 aprile 2006 , sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (radiazioni ottiche artificiali) (diciannovesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE)*

[2] *OPINION of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on the “effects on human health and the environment (fauna and flora) of systems using light-emitting diodes (LEDs)” ANSES Opinion Request No 2014-SA-0253 www.anses.fr*

[3] *Institute of Electrical and Electronic Engineers: IEEE 1789-2015 - IEEE Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers*

[4] *Javier Hernandez-Andre' s, Raymond L. Lee, Jr., and Javier Romero Calculating correlated color temperatures across the entire gamut of daylight and skylight chromaticities Applied Optics 20 September 1999 y Vol. 38, No. 27*

[5] *C.S. Mc Camy Correlated Color temperature as an explicit function of chromaticity coordinates Wiley Online Library; <https://doi.org/10.1002/col.5080170211>*

[6] *CEI EN 62471:2009 Sicurezza fotobiologica delle lampade e dei sistemi di lampada*

[7] *IEC TR 62471-2, Photobiological safety of lamps and lamp system — Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety.*

[8] *IEC CEI EN 62031: 2018. Moduli LED per illuminazione generale - Specifiche di sicurezza*

[9] *IEC 62612:2013+AMD1:2015+AMD2:2018 CSV Consolidated version Self-ballasted LED lamps for general lighting services with supply voltages > 50 V - Performance requirements*



Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

STRUMENTI OPERATIVI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA RADIAZIONI OTTICHE NATURALI E ARTIFICIALI.

Iole Pinto⁽¹⁾, Andrea Bogi⁽¹⁾, Nicola Stacchini⁽¹⁾, Francesco Picciolo⁽²⁾

⁽¹⁾Laboratorio di Sanità Pubblica, Usl Toscana Sud-Est

⁽²⁾Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche della Terra e dell'Ambiente

1. INTRODUZIONE

Le radiazioni elettromagnetiche nella gamma di lunghezza d'onda compresa tra 100 nm e 1 mm prendono il nome di Radiazioni Ottiche. Lo spettro delle radiazioni ottiche si suddivide in radiazioni ultraviolette, radiazioni visibili e radiazioni infrarosse, come riportato in tabella 1.

Alcuni degli effetti nocivi provocati dall'esposizione alla radiazione ottica sono noti e documentati da 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 [1] - sono



disponibili dati in letteratura scientifica da oltre 40 anni [2]. 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 Radiazioni Ottiche, sia di origine naturale che di origine artificiale, notevoli carenze nell'attuazione delle misure di prevenzione minime a tutela della salute dei lavoratori, che in genere si accompagnano ad una scarsa consapevolezza del rischio da parte degli attori della prevenzione aziendale e conseguentemente dei lavoratori esposti.

Tabella 1 - Effetti delle Radiazioni Ottiche su occhi e cute in funzione delle differenti componenti spettrali della Radiazione Ottica

Regione spettrale	Occhio	Pelle	
Ultravioletto C (da 100 nm a 280 nm)	Fotocheratite Fotocongiuntivite	Eritema (scottatura della pelle)	Tumori cutanei
Ultravioletto B (da 280 nm a 315 nm)			
Ultravioletto A (da 315 nm a 400 nm)	Cataratta fotochimica	Reazione di fotosensibilità	foto invecchiamento cute
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		Bruciatura della pelle
Infrarosso B (da 1400 nm a 3000 nm)	Cataratta, bruciatura della cornea		
Infrarosso C (3000 nm a 1 mm)	Bruciatura della cornea		

Nell'ambito del presente lavoro si individuano i principali aspetti relativi alla valutazione e prevenzione del rischio da radiazioni ottiche. Si esaminano quindi alcune attività e lavorazioni ove le esposizioni a radiazioni ottiche incoerenti di origine artificiale possono essere particolarmente elevate: saldatura ad arco,



fusione di vetro e metalli, impiego di lampade germicide, e se ne discutono gli strumenti disponibili ai fini della corretta valutazione e prevenzione del rischio in casi studio.

2. METODICHE DI VALUTAZIONE

La finalità principale della valutazione del rischio da esposizione a radiazioni ottiche è l'individuazione delle appropriate misure di tutela da mettere in atto per prevenire l'insorgenza dei danni che l'interazione della radiazione ottica con l'occhio e con la cute può provocare, sintetizzati in Tabella 1.

Il capo V del titolo VIII del D.Lgs 81/08 stabilisce i criteri e i metodi da attuare per la prevenzione del rischio da esposizione a radiazioni ottiche di origine artificiale.

L'Art. 216 del D.Lgs 81/08 "Identificazione dell'esposizione e valutazione dei rischi" prescrive che nell'ambito della valutazione dei rischi, *il datore di lavoro valuta e, quando necessario, misura e/o calcola i livelli delle radiazioni ottiche a cui possono essere esposti i lavoratori*. Nel caso delle radiazioni ottiche è in genere possibile acquisire dati adeguati ai fini della valutazione dei rischi senza effettuare alcuna misurazione, utilizzando ad esempio le fonti di seguito discusse, ovvero i dati forniti dai costruttori ai sensi di specifiche norme di prodotto, come espressamente previsto dalla normativa nel caso degli apparati Laser [3,4].

È da specificare al riguardo che la misurazione delle radiazioni ottiche sul posto di lavoro è in genere costosa, complessa e richiede personale altamente specializzato. Il costo della misura è solo in minima parte imputabile al costo intrinseco dello strumento di misura, ma è dovuto soprattutto alla complessità del controllo della correttezza dei dati acquisiti, che richiede la conoscenza a priori delle caratteristiche spettrali della sorgente ai fini della corretta calibrazione, acquisizione ed elaborazione delle misure [5]. Qualora ciò non sia realizzato le misure possono essere affette da incertezze elevate e non quantificabili [6,7].

Ai fini della valutazione del rischio è possibile utilizzare la banca dati ROA contenuta nel Portale Agenti Fisici alla sezione Radiazioni Ottiche Artificiali [8]. Essa include i dati di emissione dei principali apparati che emettono ROA di interesse fotobiologico, e riporta i risultati analitici delle misure di irradianza/radianza effettuate a differenti distanze e/o condizioni di impiego della sorgente. Viene inoltre fornita la durata massima di esposizione consentita per occhi/cute non protetti di un soggetto esposto alla distanza presa in esame (figura 1). Vengono infine fornite informazioni sulle misure di tutela attuabili per la sorgente specifica (es. DPI, schermi, procedure operative etc.). Alla



sezione radiazioni ottiche artificiali del Portale Agenti Fisici [8] sono altresì disponibili calcolatori interattivi di esposizione e procedure guidate on line che consentono di valutare il rischio di esposizione alle radiazioni ottiche emesse da sistemi per illuminazione a LED ed alogenuri, Laser, Saldatrici ad arco, acquisendo i dati relativi alle modalità di impiego ed alla geometria espositiva inseriti dall'utente. Nel caso delle saldatrici ad arco la procedura consente anche la scelta ed il dimensionamento dei DPI appropriati per gli operatori che si trovino ad operare nei pressi della postazione di saldatura e che sono comunque soggetti al rischio di superamento dei limiti di esposizione a radiazioni ottiche per occhi e cute qualora stazionino o transitino in prossimità dall'arco di saldatura. (figura 2).

Radiazione UV Solare

Le radiazioni ottiche naturali sono escluse dal campo di applicazione del titolo VIII. Ciò rappresenta un vuoto nell'impianto normativo, soprattutto se si considera che la radiazione UV solare è nel gruppo dei cancerogeni certi per l'uomo indicati dalla IARC [1].

Le linee guida del Coordinamento tecnico delle regioni sugli agenti fisici [4], 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...". 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 [2]; 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 all'UV index fornito dai bollettini meteorologici, alle modalità espositive e alle condizioni ambientali di esposizione.

È disponibile sul Portale agenti fisici di Regione Toscana – INAIL, alla sessione Radiazioni Ottiche Naturali [8], una procedura guidata on line 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 nelle lavorazioni outdoor, ed individuare le appropriate misure di tutela in relazione ai differenti scenari espositivi outdoor.

d-A2019

Figura 1 - Esempio di presentazione delle misure contenute in banca dati ROA del Portale Agenti Fisici: Misure su Lampada Germicida installata in cappa sterile da laboratorio



DISTANZA SENSORE SORGENTE

20
cm

TEMPO DI ESPOSIZIONE MASSIMO

6
secondi

Rif.D.lgs 81/08	INTERVALLO DELLO SPETTRO	ORGANI BERSAGLIO	RISULTATO	Val.
a	E _g (Ultravioletto)	Occhi e cute	Non esente: maggiore del VLE	4.6 W m ⁻²
b	E _{UVA} (Ultravioletto A)	Occhi	da 20% ÷ 50% del limite	0.1 W m ⁻²
c,d	L _g (Luce blu, sorgente estesa)	Occhi	Irrilevante	
e,f	E _B (Luce blu, sorgente piccola)	Occhi	Non applicabile	
	L _{AFA} (Luce blu, sorgente estesa, afachici)	Occhi	Irrilevante	
	E _{AFA} (Luce blu, sorgente piccola, afachici)	Occhi	Non applicabile	
g,h,i	L _R (Visibile e Infrarosso A)	Occhi	Irrilevante	
j,k,l	L _R (Infrarosso A)	Occhi	Irrilevante	
m,n	E _{IR} (Infrarosso A + Infrarosso B)	Occhi	Irrilevante	
o	E _{skin} (Visibile + Infrarosso A + Infrarosso B)	Cute	Irrilevante	

3. CASI STUDIO

3.1 Saldatura ad Arco

Come si evince dai dati di letteratura [2,3] e dai dati disponibili on line sul Portale Agenti Fisici [8], l'esposizione a radiazione UV emessa dall'arco di saldatura è rilevante anche a distanze di decine di metri dalla postazione di saldatura. Dai dati di misura presenti in banca dati ROA, acquisiti in differenti attività di saldatura, emerge che coloro che operano in postazioni in prossimità dell'attività di saldatura ad arco, anche se non direttamente addetti alla saldatura, risultano 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. Pertanto 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 [9], al fine di evitare esposizioni delle persone non direttamente coinvolte nell'attività di saldatura che operano in

d-A2019

prossimità della stessa. Si ricorda in merito che il Capo V del Titolo VIII del D.Lgvo 81/08 prevede specifiche sanzioni 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”.

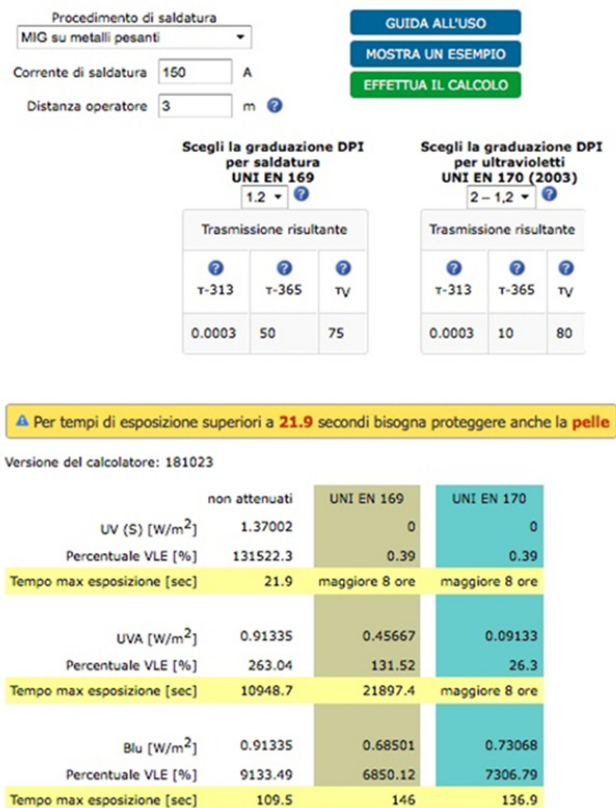


Figura 2 - Risultati del calcolo dell'esposizione a Radiazione UV e luce blu da arco di saldatura sulla base dei parametri impostati dall'utente forniti dal calcolatore saldature disponibile on line sul Portale Agenti Fisici. Nell'esempio sono impostati i seguenti parametri: Saldatura MIG su metalli pesanti; Corrente di Saldatura 150 A; distanza del soggetto esposto: 3 metri dall'arco di saldatura. La scelta della graduazione dei DPI è effettuata nei due menu a tendina: Nella colonna UNI EN 169 si seleziona la graduazione qualora venga scelto un DPI da saldatore; nella colonna UNI EN 170 si sceglie la graduazione per un DPI da UV.



I soggetti che a qualsiasi titolo si trovino a permanere nelle aree ove si svolgono attività di saldatura non schermate dovrebbero indossare DPI per occhi e cute idonei, che possono essere scelti utilizzando la procedura di calcolo disponibile on line sul Portale Agenti Fisici [8] e descritta al precedente paragrafo (figura 2). 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 [10]. 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 per gli operatori addetti. Durante i lavori di saldatura dovrebbero essere sistematicamente utilizzati cappucci per saldatori per la protezione di testa e collo ovvero indumenti di lavoro e DPI di pari efficacia nella protezione della cute.

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 esamini 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) [11].

3.2 Fonderie

Nella fusione di vetro e metallo la sorgente di radiazione ottica è il metallo o il vetro alla temperatura di fusione, con emissione rilevante da un punto di vista del rischio fotobiologico nell'Infrarosso [12]. Gli organi bersaglio per questa tipologia di esposizione sono camera anteriore dell'occhio (cataratta del cristallino) e cute (ustione da infrarosso).

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 [12, 13]. 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) [14] e non per Infrarosso (filtro n. 4 norma EN 171) [15].

In genere i filtri per UV non sono efficaci nell'attenuazione dell'infrarosso, e possono comportare un incremento dell'esposizione oculare alla radiazione Infrarossa emessa dal corpo incandescente. La criticità scaturisce dal fatto 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, e sono da utilizzarsi esclusivamente nelle fasi di maggiore esposizione ad infrarosso in prossimità del materiale incandescente (prelievo da forno, colata, etc.). Viceversa tali filtri 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 - in funzione della durata dell'esposizione alla radiazione IR effettivamente necessaria all'espletamento delle differenti mansioni - 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.

3.3 Lampada 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 a parete per sterilizzare ambienti, sono costituite da lampade al mercurio, con emissione dominante nella riga spettrale a 253 nm (UVC). Gli organi bersaglio sono la cornea e la cute. Le misurazioni effettuate in condizione di esposizione diretta dell'operatore (ad altezza operatore) alla radiazione emessa da lampade installate 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 [16].

Analoghi risultati sono stati ottenuti per lampade germicida installate in cappe da laboratorio, in posizione operatore ed a cappa aperta [16].

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 accedano 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 ed inconsapevoli del rischio, nel caso in cui l'accesso avvenga 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 [16]. Tali elementari e fondamentali misure di tutela non sembra siano ancora sistematicamente messe in atto in tutte le realtà operative ove tali lampade sono utilizzate, sia in ambito sanitario che nel terziario (palestre, pubblici esercizi, etc.); talvolta gli operatori non sono consapevoli dell'esistenza del rischio espositivo a radiazione UVC e ciò può causare esposizioni rilevanti con danni gravi ad occhi e cute dei soggetti accidentalmente esposti.

Documentazione dettagliata inerente le misure di prevenzione e protezione attuabili per tali sorgenti sono disponibili on line alla sezione documentazione della sezione Radiazioni Ottiche Artificiali del Portale Agenti Fisici. [16]

4. CONCLUSIONI

L'attuale quadro normativo, in vigore ormai da dieci 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 controllo del rischio per i lavoratori esposti.

Nel presente lavoro si sono discussi gli strumenti disponibili on line sul Portale Agenti Fisici che consentono di valutare e controllare il rischio da radiazioni ottiche negli scenari espositivi più diffusi in ambito indoor ed outdoor.

È auspicabile che la diffusione dell'impiego di tali strumenti contribuisca al superamento delle principali criticità ancora riscontrabili ai fini della prevenzione e protezione dei lavoratori in attività ove tale rischio è rilevante, anche dal punto di vista degli infortuni causati da esposizioni accidentali ed incontrollate.

Appare indispensabile che 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 acquisiscano un crescente livello di consapevolezza e competenza sul rischio da radiazioni ottiche e sugli appropriati strumenti da mettere in atto ai fini della prevenzione e del controllo dello stesso.



BIBLIOGRAFIA

- [1] 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://http://monographs.iarc.fr))
- [2] 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
- [3] Guida non vincolante alla buona prassi nell'attuazione della direttiva 2006/25/CE «Radiazioni ottiche artificiali» ISBN 978-92-79-19811 Unione Europea, 2011
- [4] 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/>
- [5] Larason T.C., Cromer C.L. Sources of Error in UV Radiation Measurements J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 106, 649–656 (2001)
- [6] UNI EN 14255-1: 2006 Misurazione e valutazione dell'esposizione personale a radiazioni ottiche incoerenti - Parte 1: Radiazioni ultraviolette emesse da sorgenti artificiali nel posto di lavoro
- [7] UNI EN 14255-2: 2006 Misurazione e valutazione dell'esposizione personale a radiazioni ottiche incoerenti - Parte 2: Radiazioni visibili ed infrarosse emesse da sorgenti artificiali nel posto di lavoro
- [8] <https://www.portaleagentifisici.it>
- [9] UNI EN 1598:2004 Salute e sicurezza in saldatura e tecniche connesse - Tende, strisce e schermi trasparenti per procedimenti di saldatura ad arco
- [10] UNI EN 169: 2003 Protezione personale degli occhi – Filtri per saldatura e tecniche connesse – Requisiti di trasmissione e utilizzazioni raccomandate



- [11] UNI EN 379: 2004 Protezione personale degli occhi – Filtri automatici per saldatura
- [12] ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Incoherent Visible and Infrared Radiation Published in: Health Physics 105(1):74-96; 2013
- [13] Sisto R., Pinto I., Stacchini N. et. al. AIHAJ - American Industrial Hygiene Association 01/2000; 61(1):5-10 Infrared Radiation Exposition Risk in “Glass Traditional Factories”
- [14] UNI EN 170: 2003 Protezione personale degli occhi - Filtri ultravioletti - Requisiti di trasmissione e utilizzazioni raccomandate
- [15] UNI EN 171: 2003 Protezione personale degli occhi - Filtri infrarossi – Requisiti di trasmissione e utilizzazioni raccomandate
- [16] Pinto I, Bogi A., Picciolo F. et. al. Procedure operative per la prevenzione del rischio da esposizione a Radiazioni Ottiche Artificiali: Cappe sterili e Lampade Germicide Rapporto PAF 1/15: 2015
https://www.portaleagentifisici.it/filemanager/userfiles/DOCUMENTAZIONE/ROA_DOCUMENTAZIONE/report_paf_roa_2_04_2015_UVC.pdf?lg=IT

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

ESPOSIZIONE ALLA LUCE BLU E DANNO OCULARE. UN RISCHIO DA VALUTARE O DA RIVALUTARE?

E. Zinzini⁽¹⁾, P.U. Carletti⁽²⁾

⁽¹⁾ Medico Oculista a RLP Sede INAIL di Brescia,

⁽²⁾ Dirigente Medico Sede INAIL di Brescia

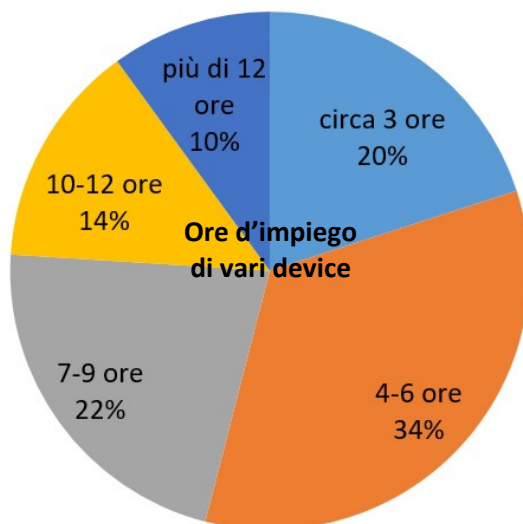
Introduzione

L'emissione dello spettro luminoso della luce blu (380-500 nm), sia da fonte naturale (sole) che artificiale, fa parte del range della luce visibile (380-780nm) ed è considerato potenzialmente dannoso per i tessuti biologici soprattutto nella frazione compresa tra 415 e 455 nm (luce blu-viola).

La frazione compresa tra 455 e 485 nm (luce blu-turchese) è ritenuta essere un ambito spettrale potenzialmente benefico agli organismi viventi tramite l'influenza sull'omeostasi ormonale dei viventi. Per quanto riguarda la visione, poi, la frazione spettrale blu migliora la profondità di campo stimolando la miosi, la risoluzione, la qualità delle immagini, la nitidezza dei colori ed il contrasto.

La sola lunghezza d'onda non rappresenta tuttavia l'unico elemento da considerare; infatti i tempi di esposizione sono in media piuttosto elevati (Fig.1), come pure la distanza dell'operatore dalla fonte di emissione, possono influenzarne il grado di lesività.

Fig.1



Bisogna considerare infine, ma non perché ultime, le caratteristiche fisiologiche e fisiopatologiche individuali degli esposti che possono influenzare in modo anche rilevante la lesività delle radiazioni stesse.

Le fonti artificiali di luce blu sono numerose e si ritrovano in tutti gli ambienti: luoghi aperti, ambiente domestico, ricreativo, luoghi di cura ove inoltre vengono anche impiegate a scopi terapeutici, ambienti di lavoro, ecc. Si parla di vero e proprio inquinamento da luce blu. Verosimilmente è anche la loro diffusione a rendere difficile la quantificazione dell'esposizione e la relativa valutazione del rischio.

Le fonti più diffuse sono lampade a LED (Light Emitting Diode) per l'illuminazione di ambienti vari (abitazioni, uffici, industrie, scuole, strade, insegne, segnalazioni stradali, ecc), fari delle auto, computer, smartphone, tablet, schermi televisivi di nuova generazione, strumenti di lavoro in ambito metalmeccanico, in biologia, nei laboratori di analisi, ecc.

La massiva diffusione di queste emissioni, ma principalmente quelle provenienti da PC, tablet, smartphone, e-readers, ecc. ha quindi stimolato la ricerca in vari settori della medicina compreso l'ambito oftalmologico dove la produzione scientifica rivolta allo studio delle potenziali alterazioni retiniche a lungo termine è cresciuta esponenzialmente negli ultimi 20 anni.

Luce blu emessa da varie fonti e livello del rischio

I livelli di rischio legati all'esposizione a radiazioni non ionizzate vengono periodicamente valutati da varie organizzazioni come l'International Commission of Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP) tramite la pubblicazione di Linee Guida che rappresentano i livelli di esposizione al di sotto dei quali sono improbabili effetti negativi sulla salute. Il limite di esposizione alla luce blu ICNIRP2 (2013) per la visione a lungo termine (es.: fissando il cielo) è di $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$. (1)

Un recente studio ha confrontato l'entità di emissione di luce blu da parte di lampade (a incandescenza e LED), schermi (computer, laptop, tablet e smartphone) e del cielo sereno e in condizioni di nuvolosità, con la standardizzazione sia delle modalità di esposizione che di rilevazione strumentale delle emissioni. Lo studio ha evidenziato che le esposizioni al cielo sereno e a quello nuvoloso rappresentano rispettivamente il 10,4% e il 3,4% del limite di esposizione ICNIRP2, con un hazard ratio pari a $1,09 \times 10^{-3}$ in una giornata estiva e $1,46 \times 10^{-3} \text{ W lm}^{-1}$ nell'inverno. Questo parametro è utile per valutare fonti simili che possono variare in luminanza, ma aventi spettri di emissione identici, consentendo quindi una valutazione del rischio da luce blu misurando la luminanza. La tabella 1 riporta i valori medi \pm DS dei dati rilevati dallo studio, dai quali si evince che l'esposizione ragionevolmente prevedibile alle radiazioni ottiche da lampade, schermi di computer e dispositivi mobili, come gli smartphone, mostra che l'irradianza effettiva ponderata spettrale è inferiore alle esposizioni naturali. (2)

Tabl Luminanza e rischio da luce blu da computer, laptop, tablet, smartphone

MONITOR COMPUTER						
Luminanza cd m^{-2}		Radianza pesata $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$		% limite esp. ICNIRP	Hazard ratio W lm^{-1}	
Media	\pm ds	Media	\pm ds	%	Media	\pm ds
98,50	38,89	0,082	0,040	0,08	$8,17 \times 10^{-4}$	$7,92 \times 10^{-5}$
SCHERMO LAPTOP						
Luminanza cd m^{-2}		Radianza pesata $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$		% limite esp. ICNIRP	Hazard ratio W lm^{-1}	
Media	\pm ds	Media	\pm ds	%	Media	\pm ds
1340,44	44,76	0,107	0,039	0,10	$8,16 \times 10^{-4}$	$3,16 \times 10^{-5}$

SCHERMO PC PORTATILE						
Luminanza cd m ⁻²		Radianza pesata W m ⁻² sr ⁻¹		% limite esp. ICNIRP	Hazard ratio W lm ⁻¹	
Media	± ds	Media	± ds	%	Media	± ds
143,22	65,92	0,127	0,061	0,12	8,74x10 ⁻⁴	4,24x10 ⁻⁵
SCHERMO SMARTPHONE						
Luminanza cd m ⁻²		Radianza pesata W m ⁻² sr ⁻¹		% limite esp. ICNIRP	Hazard ratio W lm ⁻¹	
Media	± ds	Media	± ds	%	Media	± ds
292,60	97,77	0,262	0,093	0,26	8,91x10 ⁻⁴	4,91x10 ⁻⁵

Nello studio citato gli AA riferiscono che i risultati peggiori in merito sia ai valori percentuali rispetto al limite di esposizione ICNIRP e Hazard ratio sono stati rilevati con le lampade a LED; le rilevazioni erano comunque inferiori a quelle relative all'esposizione alla luce naturale.

La maggior parte della radiazione ottica viene assorbita dalle strutture oculari antistanti la retina; essa viene raggiunta dalla radiazione visibile che innesca i meccanismi intracellulari da cui origina alla percezione visiva. La luce blu quindi attraversa immodificata le strutture oculari e raggiunge la retina; questo particolarmente nei bambini e giovani adulti nei quali la trasparenza dei mezzi diottrici (cornea e cristallino) non interferisce con la trasmissione. Con l'avanzare dell'età il cristallino perde gradualmente la sua trasparenza virando verso il giallo ed interferendo quindi con il passaggio di luce blu. Pertanto i dati emersi dallo studio citato devono essere interpretati anche alla luce delle caratteristiche fisiologiche e patologiche individuali.

Si pensi ad esempio ad un soggetto pseudofachico (sottoposto ad intervento per cataratta con impianto di lente intraoculare), ad una persona con esiti di chirurgia refrattiva, ad un soggetto di età superiore a 60 anni affetto da patologie sistemiche o oculari, o ancora a persone in terapia con farmaci fotosensibilizzanti.

A proposito dei sistemi di illuminazione con lampade a LED anch'esse sono fonte di emissione di luce blu ed in particolar modo quelle cosiddette a luce 'bianca/fredda' che possiedono una temperatura di colore elevata (6000K). Infatti è consigliato l'impiego di lampade a LED con temperatura non superiore a 3000K. (3)

Si tratta di lampade ampiamente utilizzate negli esercizi commerciali, nelle industrie, magazzini, ecc. cioè in quegli ambienti di grandi dimensioni che necessitano di elevata illuminazione.

Nelle immagini che seguono (tratte dal sito <http://www.energie-environnement.ch>) è possibile confrontare lo spettro di emissione della luce naturale con quello delle lampade più comunemente usate.

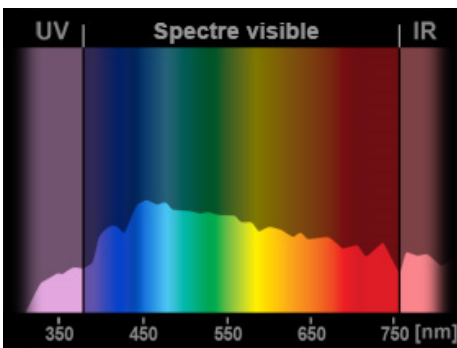


Fig. 2: emissione alle ore 12:00

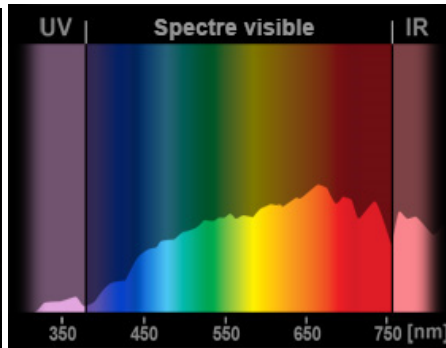


Fig. 3 emissione al tramonto

Nelle ore centrali della giornata la quota di luce blu (luce fredda) è elevata e a ciò corrisponde al picco diurno di illuminazione ambientale (2); approssimandosi il crepuscolo l'emissione di luce blu si riduce e la temperatura cromatica tende maggiormente ai toni rossastri.

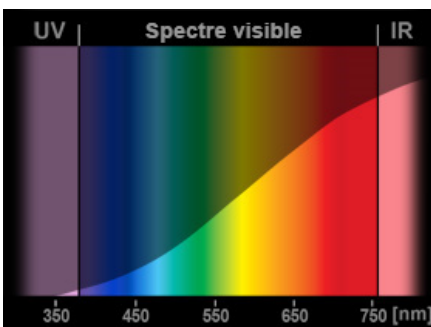


Fig. 4: emissione luce alogena

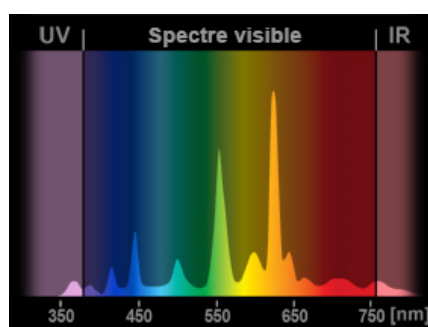


Fig. 5: emissione luce a fluorescenza

Le lampade illustrate in fig 4 e 5 hanno basse emissioni di luce blu e producono tonalità di luce più calda; la lampada alogena (2800-3000K) emette anche nell'infrarosso producendo molto calore. I picchi disomogenei della lampada in Fig 5 corrispondono all'emissione di atomi di mercurio.

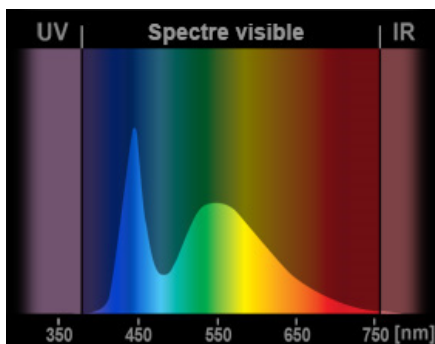


Fig. 6: spettro di lampada a LED a 6000K (bianca fredda - daylight lamp)

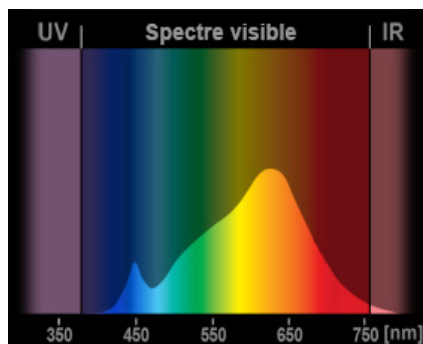


Fig. 7 spettro di lampada a LED a 2700K (luce bianca calda)

Dal confronto emerge che solo le lampade a LED bianco freddo (Fig.6) hanno un'elevata emissione di luce blu e nell'ambito spettrale potenzialmente più pericoloso.

Danno oculare da luce blu: evidenze scientifiche

Come precedentemente accennato negli ultimi 30 anni la ricerca scientifica si è sempre più interessata ai danni oculari correlati all'esposizione a luce blu. Dalla disamina delle pubblicazioni risulta che il primo lavoro scientifico che riferiva di un incremento dei fenomeni ossidativi a livello degli strati retinici interni della retina di topi sottoposti a luce blu risale al 1992. L'alterazione del metabolismo non era accompagnata da lesioni visibili della retina ed era reversibile con la sospensione dell'esposizione.

In epoca più recente studi su colture cellulari retiniche, sia fotorecettori che epitelio pigmentato retinico (EPR), hanno evidenziato nei fotorecettori (cellule ad elevatissimo consumo di ossigeno) alterazioni del metabolismo cellulare indotte da incremento di fenomeni ossidativi (3,4); nelle cellule dell'EPR si è osservata degenerazione delle cellule fino alla necrosi (5,6). Poiché l'EPR svolge un ruolo fondamentale nell'omeostasi dei fotorecettori retinici, anch'essi bersaglio dei processi degenerativi indotti dall'esposizione alla luce blu, il complesso di alterazioni rilevate agirebbero sulla retina come una tempesta perfetta.

Una pubblicazione del gennaio 2019 (6) ha pure evidenziato nelle cellule ganglionari retiniche modificazioni del DNA dopo esposizione a luce blu.

d-A2019

I quadri istologici rilevati non si discostano da quelli noti della degenerazione maculare legata all'età.

È stato però osservato che i rilievi di cui sopra rappresentano ancora oggi un modello teorico di lesione, ancora lontano dalla vita reale per una serie di motivi (7,8):

- i modelli sperimentali non sono in grado di riprodurre ciò che effettivamente avviene in vivo nell'occhio umano
- Le cellule impiegate nelle colture non derivano direttamente dalla retina o non sono completamente differenziate, potendo quindi manifestare processi degenerativi che non si osserverebbero nelle cellule 'mature'.
- Le modalità di esposizione alla luce blu delle cellule studiate è molto differente da quanto avviene nel bulbo oculare nella real life.
- In generale le condizioni sperimentali anche degli studi in vivo su animali non consentono di trarre conclusioni definitive in merito alla pericolosità dell'esposizione dell'occhio umano ai LED e alla luce blu.

Le evidenze scientifiche hanno comunque dimostrato danni retinici acuti correlati ad elevate esposizioni a luce blu sia in termini di tempo di esposizione che di lunghezza d'onda della radiazione. Non ci si può invece ancora esprimere sui danni stocastici da esposizione cronica, siano essi rappresentati da danni retinici (degenerazione maculare), cataratta o alterazioni della superficie oculare. (2,4,8)

Le ricerche si stanno anche indirizzando all'asseverazione dell'efficacia della protezione fisica dai danni retinici da luce blu con lenti filtranti specifiche, tramite integratori alimentari come il Lactobacillus Paracasei e gli antiossidanti (Luteina, Zeaxantina, curcumina, Vit.E, ecc). (9,10)

È stato pure prospettato che l'esposizione alla luce blu emessa da PC, tablet, smartphone, e-reader, ecc. possa contribuire alla secchezza oculare spesso lamentata in seguito a prolungato impiego di tali device (4,9). In realtà nulla è stato ancora approfondito ma è diffusamente condiviso il parere che la prolungata fissazione di uno schermo riducendo la frequenza dell'ammiccamento porti ad evaporazione dello strato acquoso del film lacrimale ed alla comparsa o all'aggravamento della secchezza oculare.

L'invecchiamento demografico della popolazione generale ha portato ad un aumento di frequenza delle patologie oculari correlate.

Tra queste bisogna richiamare la cataratta il cui trattamento chirurgico rappresenta, ovunque, la stragrande maggioranza degli interventi oculari.

Precedentemente si è accennato al fatto che il cristallino perde progressivamente la sua trasparenza alla luce blu, fornendo un maggior grado di protezione alla retina. L'asportazione chirurgica della cataratta prevede l'impianto di una lente intraoculare (IOL=intra ocular lens).

Una review condotta in Australia su circa 5000 pazienti ha verificato che l'impianto di IOL bluelight-filtering non fornisce ulteriore protezione retinica. L'autore stesso segnalava comunque la difficoltà ad esaminare dati non uniformi (11).

Nel corso del 2019 è in corso di realizzazione uno studio randomizzato giapponese per il follow-up di pazienti sottoposti ad intervento per cataratta con impianto di IOL blue-blocking per un periodo di 20 anni dopo la chirurgia; il confronto dei dati con un gruppo di controllo con IOL non filtranti consentirà importanti deduzioni sull'effetto stocastico della radiazione blu-violetta.

Conclusioni

Da quanto esposto pare emergere che l'emissione di luce blu proveniente da device non debba rappresentare un'emergenza sanitaria per la salute retinica né per la popolazione generale né per i lavoratori (Hazard ratio < a quello della luce naturale).(2,3) Al rischio sarebbero però particolarmente esposti i bambini sia per le caratteristiche di trasparenza dei mezzi diottrici oculari attraversati dalla radiazione blu (cornea e cristallino), sia per la distanza dalla alla fonte di esposizione, che nei piccoli è abitualmente breve.

Tuttavia mentre è abbastanza consolidata la protezione con occhiali filtranti all'aperto, non può dirsi altrettanto in merito all'uso di filtri specifici durante l'impiego di device.

Pare anche debole la correlazione sostenuta da alcuni (4) tra la condizione di secchezza oculare e l'esposizione a luce blu emessa da PC, tablet, smartphone; sarebbe invece ben chiaro che la fissazione prolungata degli schermi riduca la frequenza dell'ammiccamento a cui consegue alterazione dell'omeostasi del film lacrimale (9).

Un potenziale rischio più significativo per la salute retinica, pare invece essere l'esposizione a lampade a LED con temperatura di 6000K (luce bianca fredda) che, come illustrato (Fig. 6) presentano un elevato picco di emissione di luce blu nella frazione potenzialmente più dannosa (415-455nm, luce blu-violetta).

L'illuminazione a LED è spesso presente negli esercizi commerciali, nelle industrie (es.: controllo ottico delle verniciature), illuminazione stradale e nelle gallerie, segnalazioni stradali, nelle abitazioni (daylight lamp), ecc.

È importante sottolineare che allo stato dell'arte, le ricerche e gli studi effettuati hanno delucidato i meccanismi patogenetici del danno retinico acuto, indotto da un'esposizione alla radiazione blu-violetta 'preternaturale', ottenuta in laboratorio. Non si può escludere a priori che un'esposizione diffusa, cronica, ubiquitaria e sempre crescente alle lampade a LED o ad altre fonti di emissione presenti e future, possa nel tempo condurre ad evidenze cliniche che sostengano la relazione causale tra malattia retinica ed esposizione alla luce blu.



d-A2019

A ciò si aggiunga la considerazione che la potenziale esposizione possa incominciare fin dalla nascita e, visto l'invecchiamento demografico, durare per molti decenni.

La degenerazione maculare legata all'età è in costante aumento e rappresenta la prima causa di cecità civile oltre i 60 anni nei paesi industrializzati, con elevatissimi costi sociali sia in termini di spesa sanitaria che di gestione dei malati da parte delle famiglie. È a tutt'oggi considerata una malattia multifattoriale, nella quale l'esposizione a raggi UV ed il fumo di sigaretta sono risultati essere fattori di rischio di peso elevato.

Le evidenze emerse nel presente lavoro in merito al rischio da esposizione alla luce blu, devono quindi sollevare un alert nei confronti di un potenziale rischio stocastico che interesserebbe trasversalmente tutta la popolazione, i cui effetti si render ebbero evidenti solo tra molti anni.

Pur trattandosi quindi di un rischio trasversale, una particolare attenzione va riservata ai lavoratori esposti sui quali graverebbe, vista l'ubiquitaria diffusione delle fonti, sia l'esposizione lavorativa che quella ambientale.

In base alla rilevazione che l'hazard ratio della luce naturale è maggiore rispetto a quello delle fonti artificiali, sono da considerare soggetti a rischio gli outdoor workers.

Tra le fonti artificiali ad emissione di luce più energetica abbiamo segnalato le lampade a LED con luce bianca fredda, quindi gli impiegati nelle industrie auto motive con mansioni di controllo qualità delle verniciature, i lavoratori del comparto ricerca, personale sanitario addetto a specifici trattamenti, addetti alla produzione di corpi illuminanti.

E l'elenco proposto non è certamente esaustivo.

Analogamente a quanto avviene nella valutazione di qualsiasi rischio lavorativo, va poi considerato che condizioni fisiopatologiche individuali possono amplificare la suscettibilità al danno da esposizione a luce blu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation. *Health Phys* 2013; 105: 74–96.
- [2] JB O’Hagan, M Khazova, LLA Price: Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye (Lond)* 2016 Feb; 30(2): 230–233
- [3] Bullough JD, Bierman A., Rea MS: Evaluating the blue-light hazard from solid state lighting. *Int.J Occup Saf. Ergon* 2019 Jun;25(2):311-320.
- [4] Renard G, Leid J: The danger of blue light: True story. *J Fr Ophthalmol.* 2016 May;39(5):483-8.
- [5] Chen P, Lai Z, Wu Y, Xu L, Cai X, Qiu J, Yang P, Yang M, Zhou P, Zhuang J, Ge J, Yu K, Zhuang J. : Retinal Neuron Is More Sensitive to Blue Light-Induced Damage than Glia Cell Due to DNA Double-Strand Breaks. *Cells.* 2019 Jan 18;8(1).
- [6] Chao-Wen Lin, Chung-May Yang and Chang-Hao Yang: Effects of the Emitted Light Spectrum of Liquid Crystal Displays on Light-Induced Retinal Photoreceptor Cell Damage. *Int. J. Mol. Sci.* 2019, 20(9),
- [7] Kasun Ratnayake John L. Payton, O. Harshana Lakmal, Ajith Karunarathne: Blue light excited retinal intercepts cellular signaling Nature- International Journal of Sciens – Scientifics Reports. 05 July 2018
- [8] Dan T. Gudge, S. Garg, Janet R. Sparrow: No, blue light by your smartphone s not blinding you. *Lettera American Accademy of Ophthalmologist.* 20 August, 2018
- [9] Arrigo A., Aragona E., Capone L.: Occhio e luce blu: facciamo il punto. *Eye Doctor.* 28 febbraio 2018
- [10] Morita Y, Jounai K, Miyake M, Inaba M, Kanauchi O: Effect of heat-killed *Lactobacillus paracasei* KW3110 ingestion on ocular disorders caused by visual display terminal (VDT) loads: a randomized, double-blind, placebo-controlled parallel-group study. *Cochrane Central Register of Controlled Trials.* 31 October, 2018

- [11] Downie LE, Busija L, Keller PR. Blue-light filtering intraocular lenses (IOLs) for protecting macular health. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018 May 22.

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

L'ESPOSIZIONE AL SOLE DEI LAVORATORI OUTDOOR: UN RISCHIO SOTTOSTIMATO.

Massimo Borra¹, Chiara Burattini², Luca Gugliermetti², Alberto Modenese³

⁽¹⁾ INAIL-DiMEILA, Dipartimento Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale.

⁽²⁾ Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica, Sapienza Università di Roma.

⁽³⁾ Dipartimento di Scienze Biomediche, Metaboliche e Neuroscienze, Università di Modena e Reggio Emilia.

INTRODUZIONE

Più di un decennio è ormai trascorso dall'entrata in vigore del Decreto Legislativo 9 aprile 2008 n.81 e il mondo della prevenzione e della sicurezza nei luoghi di lavoro è cresciuto e si è arricchito dell'esperienza maturata dalla sua applicazione nelle realtà produttive del nostro Paese al punto che è molto difficile trovare oggi attività lavorative nelle quali non sia disponibile il Documento di Valutazione dei Rischi (DVR) ben redatto e rispondente alle indicazioni fornite in ciascun Titolo e Capo specifico del Decreto stesso.

Il Testo Unico, tuttavia, rappresenta uno strumento fondamentale ma ovviamente non esaustivo; limitandoci al solo Titolo VIII che tratta i rischi da Agenti Fisici, non sono previste indicazioni mirate per il Microclima o l'Iperbarismo lasciando al datore di lavoro molta autonomia nell'impostazione e nella stesura della specifica relazione di valutazione per il suo inserimento nel DVR.

Se poi consideriamo il rischio di esposizione alle Radiazioni Ottiche Artificiali (ROA) definito al Capo V il legislatore, con l'inserimento dell'aggettivo, ha voluto escludere di proposito la sola sorgente ottica *non artificiale* di rilevante importanza protezionistica: il Sole. A poco serve che

l'art. 28 del decreto obblighi comunque il datore di lavoro alla valutazione di *tutti i rischi* per recuperare consapevolezza sulla necessità di provvedere comunque alla valutazione del rischio di esposizione alla Radiazione Solare (RS).

Considerando che 30 Joule/m² sono il valore limite (VL) per la dose efficace giornaliera individuata dall'ICNIRP¹ e indicata nell'Allegato XXXVII al D.Lgs. 81/08 a tutela dell'esposizione a radiazione UV artificiale (*esposizione radiante efficace H_{eff}*) e che in una giornata estiva alla latitudine del nostro Paese si possono tranquillamente ricevere dosi anche 100 volte maggiori, si pone legittimo il dubbio che il rischio di esposizione alla RS sia quanto meno *sottovalutato* dai datori di lavoro e dagli addetti ai lavori, siano essi in quota datoriale o degli organi di vigilanza. Accade, infatti, che trovare nel DVR aziendale una sezione dedicata alla valutazione del rischio di esposizione alla RS sia, ad oggi, più un'eccezione che la regola. Questo nonostante la componente ultravioletta (UV) della RS sia storicamente un cancerogeno tabellato anche da INAIL per i suoi *effetti a lungo termine* e che i recenti eventi di cronaca ricordino come la RS, estesa a tutto lo spettro, sia tristemente in grado di aumentare la statistica delle morti bianche per i suoi possibili *effetti acuti* che si manifestano soprattutto come colpi di calore e disidratazione all'origine di problemi cardiocircolatori fatali o di stordimento e perdita di equilibrio con eventuale caduta dall'alto.

LA RADIAZIONE SOLARE E IL RISCHIO UV

L'esposizione alla Radiazione Solare (RS) e in particolare alla sua componente spettrale ultravioletta (UV) rappresenta, anche per il numero degli esposti, uno dei più diffusi e importanti, ma al tempo stesso più trascurati, fattori di rischio occupazionale.

La grandezza utilizzata per misurare l'entità dell'esposizione in ambito di prevenzione da UV è l'*irradianza*, ovvero il flusso di potenza incidente su una superficie unitaria, espressa in W/m². L'efficacia della RS nel produrre degli effetti biologici (o effetti avversi) è molto variabile in funzione della lunghezza d'onda; pertanto, per poter confrontare esposizioni con composizioni spettrali differenti, è stato necessario definire delle *grandezze efficaci*, derivate dalle grandezze radiometriche, e *pesate* attraverso appositi *fattori* di ponderazione.

L'*irradianza efficace E_{eff}* e l'*esposizione radiante efficace H_{eff}* sono quindi le grandezze protezionistiche per valutare l'esposizione a UV.

Per rispondere alla necessità di un indicatore sintetico in grado di fornire una stima del rischio da esposizione a UV applicabile alla popolazione in

¹ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *ICNIRP Statement on protection of workers against ultraviolet radiation*. Health Phys. 2010, 99, 66-87

generale, grazie ad una collaborazione tra l'Organizzazione Mondiale della Sanità, il Programma per l'Ambiente delle Nazioni Unite (UNEP), l'Organizzazione Meteorologica Mondiale e l'International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) si è pervenuti alla definizione dell'**UV Index** (UVI), uno standard per la misura dell'esposizione a UV che descrive il valore dell'irradianza efficace alla superficie terrestre in una determinata area geografica (Fig. 1).

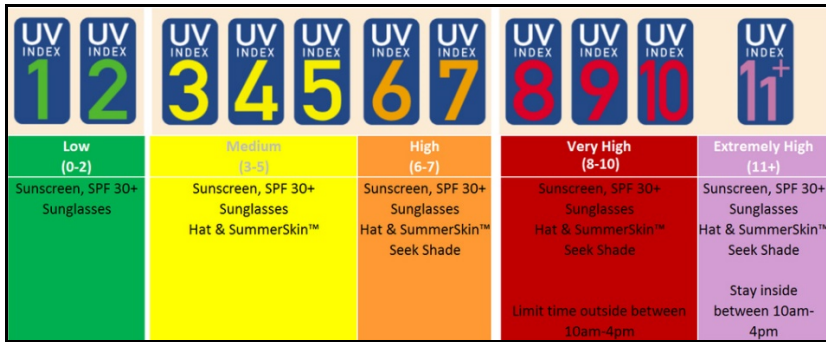


Fig. 1 UV Index e indicazioni preventive per la popolazione (da www.WHO.int)

I valori dell'indice variano da 1 a 11+: maggiore è il valore, maggiore è il potenziale di danno per cute e occhi, e minore il tempo necessario perché tale danno si verifichi. L'UVI rappresenta una stima del rischio dovuto all'irradianza, ed è stato concepito nell'ottica di aumentare la consapevolezza sui rischi di un'eccessiva esposizione alla RS. A partire da un punteggio di 3 (rischio moderato) è consigliato l'utilizzo di protezioni solari. In generale il valore dell'UVI può essere ottenuto attraverso misure o modelli di calcolo.

Una stima dell'esposizione a RS sufficientemente precisa e riproducibile è la quantità definita "*Minimal Erythema Dose*" (MED) che rappresenta la minima dose di irradianza UV in grado di indurre un eritema percettibile nell'area irradiata, entro 8-24 ore dall'esposizione.

Poiché però la sensibilità agli UV è altamente variabile in funzione di vari fattori, quali la composizione spettrale della radiazione, la sensibilità individuale e l'adattamento, anche la dose di una determinata radiazione necessaria per indurre un eritema percettibile (ovvero la MED) varia sensibilmente in funzione dei medesimi fattori. Pertanto, a scopi protezionistici, è stato necessario definire un'unità standardizzata, la *Standard Erythemal Dose* (SED): 1 SED è equivalente a un'esposizione eritemigena radiante effettiva di 100 J/m². Un UVI pari a 1 è equivalente a un po' meno (circa il 10%) di 1 SED per ora. Sia la MED che la SED sono

unità di misura standardizzate a norma dell'International Standards Organization (ISO) e della Commission Internationale d'Eclairage (CIE)².

I lavoratori esposti maggiormente alla RS sono nel settore dell'agricoltura, della caccia e dell'edilizia; si stima che siano circa 14,5 milioni i lavoratori in Europa esposti a RS per almeno il 75% del proprio orario di lavoro, la grande maggioranza dei quali (90%) sono di genere maschile.

I risultati di alcuni studi consentono di definire i principali gruppi di lavoratori con un'elevata esposizione a RS: agricoltori, giardinieri, lavoratori forestali, silvicoltori e orticoltori, pescatori, marinai, assistenti bagnanti (lifeguards), lavoratori dei cantieri edili, navali e stradali, alle cave a cielo aperto, oltre agli addetti ad altre attività prevalentemente all'aperto quali portalettere, addetti alla consegna dei giornali, insegnanti di educazione fisica, allenatori di varie specialità outdoor, ed anche addetti all'assistenza all'infanzia³.

Come evidenziato anche dall'EU-OSHA⁴, il settore edile è certamente uno di quelli che possono comportare le maggiori esposizioni alla radiazione solare UV. Anche se non sono molti gli studi che hanno specificamente misurato l'esposizione occupazionale individuale in edilizia, nella quasi totalità di questi sono stati rilevati livelli eccedenti il limite di 30 J/m² proposto dall'ICNIRP (pari a 0,3 SED). Uno studio australiano condotto su ben 493 lavoratori "outdoor", di cui circa il 50% impiegati in edilizia, ha misurato in oltre il 90% dei soggetti un'esposizione a UV superiore al VL; le mansioni risultate maggiormente a rischio erano quelle di posatore sui tetti e di asfaltatore, la cui SED media è risultata rispettivamente di 9,98 e 7,6, corrispondente a un'esposizione radiante efficace eccedente il limite di circa 30 volte⁵. Uno studio svizzero del 2007 ha seguito da luglio a settembre 20 lavoratori del settore edile, monitorati con dosimetri individuali applicati su varie parti del corpo. In tutti i casi è stato riscontrato un superamento del VL, con un'esposizione giornaliera media compresa tra 11,9 e 28,6 SED in dipendenza dell'altitudine del luogo in cui era situato il cantiere. Queste dosi

² International Standards Organization, Commission Internationale d'Eclairage; *Erythema reference action spectrum and Standard Erythema Dose*, ISO 17166:1999(E)/CIE S 007-1998

³ Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro. *Rischi nuovi ed emergenti in materia di sicurezza e salute sul lavoro*. Lussemburgo, Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee, 2009

⁴ EU-OSHA – European Union information Agency for Occupational Safety and Health

⁵ Gies P, Wright J *Measured Solar Ultraviolet Radiation Exposures of Outdoor Workers in Queensland in the Building and Construction Industry* Photochem Photobiol, 2003,78(4):342–348

superano i VL applicati alle ROA di un fattore compreso tra le 30 e le 40 volte⁶.

Così come per l'edilizia, sono pochi gli studi che hanno misurato l'esposizione a UV in addetti all'agricoltura. Esposizioni eccedenti i limiti in tutti i lavoratori sono stati rilevati in un gruppo di addetti all'orticoltura seguiti per una settimana lavorativa in Nuova Zelanda⁷ e risultati simili sono stati ottenuti in Australia⁸. In Europa esposizioni più contenute sono state misurate per un gruppo di giardinieri in Irlanda e Danimarca mentre, in Toscana, una rilevazione condotta nel mese di Aprile su una ventina di agricoltori ha misurato una dose media di irradianza efficace sulla schiena dei soggetti di 18,7 SED; più recentemente, sempre in Toscana, un superamento del Valore Limite d'Esposizione è stato osservato in tutti i 32 viticoltori monitorati nello studio⁹.

Per quanto riguarda altre categorie di lavoratori outdoor, nel 2008 a Valencia, Spagna, un monitoraggio con dosimetri personali di 4 giardinieri e 5 guardaspiaggia ha rilevato una dose di irradianza efficace media rispettivamente di 4,13 e 11,4 SED, anche qui ben al di sopra dei limiti¹⁰.

Un recente studio australiano del 2009 ha rilevato esposizioni medie giornaliere comprese tra 6,9 e 1,7 SED in 168 guardaspiaggia, che in quasi il 70% dei casi risultavano avere un'esposizione oltre i limiti consentiti¹¹.

IL SOLE E IL LAVORO OUTDOOR: UN RISCHIO SOTTOSTIMATO

In questi anni passati “all'ombra” del D.Lsg. 81/08, nonostante l'avvento di una crisi economica da cui ancora il Paese non riesce a uscire e che certamente ha influito negativamente sugli investimenti per la sicurezza sul lavoro e la formazione dei lavoratori, i dati ufficiali disponibili dei “morti sul lavoro” mostrano un netto trend discendente dal 2008 al 2018, passando da 1.624 denunce di infortunio con esito mortale nel 2008 a “solamente” 1.029

⁶ Milon A et al. *Effective exposure to solar UV in building workers: influence of local and individual factors*. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2007;17(1):58-68

⁷ Hammond V et al. *Patterns of real-time occupational ultraviolet radiation exposure among a sample of outdoor workers in New Zealand*. Public Health, 2009;123:182-187.

⁸ Airey DK et al. *An estimate of the total UV-B exposure for outdoor workers during a south-east Queensland summer*. Health Phys. 1997;72(4):544-549

⁹ Siani AM et al. *Occupational Exposures to Solar Ultraviolet Radiation of Vineyard Workers in Tuscany (Italy)*. Photochem Photobiol, 2011;87:925-934

¹⁰ Serrano MA et al. *Erythemat Ultraviolet Exposure in Two Groups of Outdoor Workers in Valencia, Spain*. Photochem Photobiol, 2009;85:1468-1473

¹¹ Gies P et al. *Measured occupational solar UVR exposures of lifeguards in pool settings*. Am J Ind Med, 2009; 52(8):645-653

casi nel 2017¹²; purtroppo è anche ipotizzabile una tendenza alla loro risalita a causa di fattori che, come spesso è accaduto nel nostro Paese, hanno a che fare con le conseguenze di scelte politiche poco lungimiranti e quanto meno discutibili¹³. In controtendenza invece, nell'ultimo decennio, l'andamento delle denunce di malattia professionale che mostrano solo dal 2017, una leggera flessione dopo 10 anni di aumenti più che significativi¹⁴. Sia per gli infortuni che per le denunce di malattie professionali dovremmo in realtà applicare alle statistiche ufficiali dei fattori correttivi che tengano conto del *sommerso* e del lavoro *in nero*. Quando si parla infatti di statistiche INAIL queste, ovviamente, prendono in considerazione i soli casi, comprensivi degli incidenti “in itinere”, nei quali risulta coinvolto un “assicurato”; nelle banche dati dell'INAIL non sono quindi ricompresi i lavoratori *sommersi*, *irregolari* o *in nero* che, a secondo del Macrosettore economico, possono rappresentare anche il 20% degli occupati¹⁵, come nel caso delle Costruzioni o dell'Agricoltura, Silvicoltura e Pesca dove anche la stagionalità favorisce l'irregolarità del rapporto di lavoro. Di questa realtà non si riesce ovviamente ad avere conto e potendo mostrerebbe numeri ben diversi da quelli ufficiali.

Limitando l'analisi successiva per il rischio di esposizione dei lavoratori outdoor alla radiazione UV solare osserviamo che le statistiche ufficiali INAIL¹⁶ per il 2018 riportano 111 denunce di Malattia Professionale (MP) in Agricoltura dovuta a *radiazione solare* su un totale di 11.499 denunce; questo numero è quasi triplicato rispetto ai quattro anni precedenti e rispetto alla generale diminuzione delle denunce complessive nel Settore. La RS rappresenta così la 5° causa di MP denunciata in ambito agricolo (con circa l'1,0% delle denunce) dopo l'*ipoacusia da rumore* (2,2%), l'*ernia discale lombare* (8,1%), il *sovraccarico biomeccanico degli arti superiori* (20,8%) e le *Malattie non tabellate* (66,5%) destinate, queste ultime, a non essere in gran parte riconosciute. Nella sottostante Tabella i dati relativi alle denunce di malattia professionale presentate complessivamente nel 2018 per il Macrosettore Agricoltura, riportante tutte le denunce di MP presentate,

¹² Dati INAIL nr.1 - Gennaio 2018

¹³ “*Tornano a crescere le vittime sul lavoro*”, R. Giovannini, LA STAMPA, 3 aprile 2018

¹⁴ Dati INAIL nr.1 - Gennaio 2018

¹⁵ *Dimensioni e caratteristiche del lavoro sommerso/irregolare in agricoltura*, ISFOL – 162 I Libri del Fondo Sociale Europeo

¹⁶ INAIL – Banca Dati Statistica

https://internetwts.inail.it/BDSbi/saw.dll?Dashboard&NQUser=PUBLIC2&PortalPath=/shared/BDS%202.0%20-%20Prestazioni/_portal/MP_DN_AG_CM_QLG_TEM&Page=MP_DN_AG_CM_QLG_TEM_Setto

quelle generiche aventi per causa la RS e quelle presentate come Tumori (C43-C44) della cute; di ciascuna di queste è riportato il numero di domande definite positivamente (accolte) e il rapporto con il totale delle domande.

2018 - AGRICOLTURA Denunce	Totale	Definite Positive	Rapporto Positive/Totale
Tutte le Malattie professionali	11499	5077	44.1%
19) Malattie causate da radiazioni solari	111	95	85,6%
C43-C44 Melanoma e altri tumori maligni della cute	75	58	73,3%

Tab. 1 Denunce di malattia professionale all'INAIL protocollate nel 2018 per il settore Agricoltura

In Italia gli *epiteliomi cutanei delle sedi fotoesposte* o NMSC¹⁷ da esposizione a UV sono inclusi nelle Tabelle delle Malattie Professionali, sia per l'Industria (voce 84) che per l'Agricoltura (Voce 19), oltre che essere ricompresi nel gruppo 6 della Lista I delle Malattie per cui vige l'obbligo di denuncia da parte dei medici.

In generale i lavoratori regolarmente esposti all'UV solare per più del 75% del tempo lavorativo sono, in Italia, più di 700.000¹⁸; questo numero sale a più di 2.500.000 di lavoratori nel caso si considerino esposizioni più limitate nel corso della giornata ma con dosi giornaliere comunque superiori al limite per l'UV per le sorgenti artificiali. Nonostante i NMSC siano patologie professionali riconosciute in Italia, negli ultimi anni sono stati denunciati ad INAIL meno di 40 casi all'anno di epitelomi cutanei UV indotti, casi diventati 75 nel 2018, contro un'incidenza attesa¹⁹ nei lavoratori outdoor, prendendo solamente la prima delle due cifre di occupati sopra riportate, di 1.000 casi circa all'anno (di cui circa 800 BCC²⁰ e 200 SCC²¹); questa stima

¹⁷ NMSC - Non Melanoma Skin Cancer

¹⁸ 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):55-63

¹⁹ Gobba F, Modenese A, John SM. *Skin cancer in outdoor workers exposed to solar radiation: a largely underreported occupational disease in Italy*. J Eur Acad Dermatol Venereol. 2019 Jul 2. doi: 10.1111/jdv.15768.

²⁰ BCC – Basal Cell Carcinoma

²¹ SCC – Squamous Cell Carcinoma

è coerente con la frequenza attesa di NMSC nella popolazione, pari a circa il 10%, della popolazione stessa.

I tumori cutanei professionali indotti da UV sono quindi largamente sotto-denunciati in Italia²² e vi è ragione di ritenere che se fosse intrapreso un percorso di segnalazione sistematica dei casi ritenuti di origine professionale, queste patologie sarebbero certamente tra le malattie professionali più frequenti, come recentemente avvenuto in Germania, dove le denunce di NMSC riconducibili all'esposizione a UV lavorativa sono nell'ordine di alcune migliaia di casi all'anno²³. Molteplici e complessi possono essere i motivi di questa tendenza alla mancata denuncia dei tumori cutanei di origine professionale: manifestazione delle patologie in tarda età, spesso dopo l'interruzione dell'attività lavorativa, diagnosi clinica che spesso non include una sufficiente e adeguata anamnesi lavorativa, carenza di conoscenze sulla possibile origine professionale della patologia sia da parte dei medici curanti che da parte dei pazienti/lavoratori²⁴. Problematica aggiuntiva per i NMSC è il loro trattamento che avviene spesso in regime semi-ambulatoriale, con pratiche di registrazione nei Registri Tumori molto disomogenee sul territorio nazionale con un conseguente mancato riconoscimento da parte dei pazienti della gravità e della natura neoplastica della patologia²⁵.

Anche in caso di presentazione dei tumori cutanei in età lavorativa in soggetti sottoposti a sorveglianza sanitaria va ricordato che, non essendo la radiazione UV solare inclusa tra i rischi fisici specifici del Titolo VIII è spesso difficile far accettare la sua origine nell'attività professionale e la sua successiva gestione assicurativa.

Ricordiamo infine che anche le cheratosi attiniche, nei lavoratori outdoor, sono patologie professionali tabellate (L57.0) con periodo di indennizzabilità di due anni. La frequenza stimata di queste patologie, per cui ancora oggi non esiste accordo nella comunità scientifica sulla classificazione come lesioni cutanee pre-maligne o come carcinomi squamocellulari in situ, è ancora superiore a quella dei NMSC.

²² Calabretta VM, Acciai MC *Le neoplasie professionali da esposizione a radiazione solare UV: denunce e riconoscimenti* Rivista degli infortuni e delle malattie professionali – Parte I, Fascicolo n.1/2012

²³ Gobba F, Modenese A, John SM. *Skin cancer in outdoor workers exposed to solar radiation: a largely underreported occupational disease in Italy.* J Eur Acad Dermatol Venereol. 2019 Jul 2. doi: 10.1111/jdv.15768.

²⁴ Porru S, Carta A, Toninelli E, et al. *Reducing the underreporting of lung cancer attributable to occupation: outcomes from a hospital-based systematic search in Northern Italy.* Int Arch Occup Environ Health 2016;89: 981–989

²⁵ Moldovan HR, Voidazan ST, John S M, et al. *The Eastern European experience on occupational skin diseases. Make underreporting an issue?.* J Eur Acad Dermatol Venereol 2017;31(Suppl 4): 5–11.34

Anche se sottostimato, il rischio di esposizione dei lavoratori outdoor alla radiazione UV solare è comunque correlato alla manifestazione, anche tardiva, di malattie professionali *a lungo termine* quali i NMSC, i MM²⁶ e le cheratosi attiniche. Ma la RS estesa a tutto lo spettro (oltre alla componente UV che rappresenta il 5%, ricordiamo che il restante 95% dell'irradianza che raggiunge la superficie terrestre è data dalla componente Visibile e Infrarossa) è certamente responsabile di un elevato numero di infortuni mortali anche se, spesso, non immediatamente ad essa riconducibili.

E' sintomatico il recente caso di cronaca del bracciante 55enne morto per la fatica raccogliendo meloni a 40° a Giugliano in Campania (NA) e *assunto un'ora dopo la morte*²⁷. Questo evento è stato preceduto a metà agosto da un altro caso analogo avvenuto a Parete, frazione di Aversa (CE) a pochi chilometri di distanza dal primo, dove un bracciante agricolo (anch'egli non in regola) è morto dopo essere stato abbandonato a se stesso dai *caporali*²⁸ in seguito ad un malore avuto mentre lavorava nei campi sotto il sole cocente.

Colpa del caldo, diranno i più, cercando così di distogliere l'attenzione dalla vera sorgente del Microclima severo che qualsiasi bracciante agricolo sperimenta, soprattutto d'estate, lavorando nei campi: il Sole.

Secondo le statistiche INAIL²⁹, i casi denunciati per esito mortale nel 2017 in Agricoltura sono stati il 15% del totale delle morti sul lavoro con 155 eventi *ufficiali*; l'Osservatorio ASAPS sulle Morti Verdi 2017³⁰ riporta 178 vittime in Agricoltura delle quali ben 146 schiacciati dai propri trattori (82% del totale).

Un numero simile di vittime caratterizza il settore delle Costruzioni che vede nello stesso anno 115 infortuni mortali (di cui circa un terzo sono statisticamente cadute dall'alto³¹).

Quanti di questi conducenti e operai, la cui causa di morte evidente è stata lo schiacciamento o la caduta dall'alto, hanno perso anche *solo per un istante* il controllo del mezzo agricolo o l'equilibrio e la presa per una vertigine, un mancamento, un rallentamento dei riflessi a causa del caldo, della disidratazione o dell'abbagliamento magari dopo ore di lavoro "sotto il Sole" senza alcuna pausa?

²⁶ MM – Malignant Melanoma

²⁷ *"Pasquale, al lavoro con 40 gradi e assunto un'ora dopo la morte"*, C. Sannino, La Repubblica, 2 settembre 2019

²⁸ *"Accusa malore nei campi, lo abbandonano a casa e muore"*, G. Vigoroso, Otopagine.it, 3 settembre 2019

²⁹ Dati INAIL nr.4 - Aprile 2019

³⁰ G. Biserni, *Osservatorio ASAPS sulle Morti Verdi 2017*, ASAPS.it Il portale della Sicurezza Stradale, 20 aprile 2018

³¹ INAIL – DiMEILA *Le cadute dall'alto dei lavoratori* – InforMO - Scheda 2, 2017

Purtroppo è una domanda a cui nessuno potrà mai dare una risposta precisa ma che lascia intravedere una verità che non è solamente quella descritta dalle statistiche ufficiali.

Una possibile verità è che la mancanza di un'adeguata Valutazione dei Rischi dell'esposizione alla RS in tutti quegli ambiti lavorativi nei quali quest'ultima rappresenta un agente fisico di rilievo non può più essere tollerata, sia per quanto attiene agli effetti a *lungo termine*, dovuti alla componente UV che è all'origine delle Malattie Professionali della cute, che per quelli a *breve termine*, dove il Sole determina condizioni microclimatiche lavorative spesso estreme e obiettivamente difficili da valutare ma il cui esito, se non valutato, può rivelarsi fatale.



Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

LA SEZIONE MICROCLIMA DEL PORTALE AGENTI FISICI.

Iole Pinto⁽¹⁾, Andrea Bogi⁽¹⁾, Nicola Stacchini⁽¹⁾, Francesco Picciolo⁽²⁾, Simona Del Ferraro⁽³⁾, Vincenzo Molinaro⁽³⁾, Antonio Moschetto⁽³⁾, Domenico Gioia⁽⁴⁾

⁽¹⁾Laboratorio di Sanità Pubblica - Agenti Fisici - Usl Toscana Sud-Est

⁽²⁾Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche della Terra e dell'Ambiente

⁽³⁾INAIL – DiMEILA

⁽⁴⁾Mirigo srl - Siena

INTRODUZIONE

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

Tale articolo, al comma 1, specifica che la valutazione del rischio di tutti gli agenti fisici deve essere tale da *“identificare e adottare le opportune misure di prevenzione e protezione” facendo “particolare riferimento alle norme di buona tecnica e alle buone prassi”*.

Considerato che al microclima non viene dedicato un capo specifico all'interno del Titolo VIII, è necessario fare ricorso a specifiche norme tecniche di settore che consentono di effettuare una valutazione quantitativa del rischio e di adottare le opportune misure di prevenzione e protezione. Tali norme differiscono a seconda del tipo di ambiente termico in esame.

La sessione microclima del PAF nasce dall'esigenza di facilitare e rendere



immediatamente fruibile agli operatori della prevenzione il percorso valutativo di tale importante fattore di rischio, che va assumendo una crescente rilevanza in termini di ricadute sulla salute e sicurezza dei lavoratori [1, 2].

È da notare in merito che, secondo recenti stime, circa il 30% della popolazione mondiale è attualmente esposta a condizioni di caldo particolarmente critiche per la salute per almeno 20 giorni all'anno e tale percentuale è destinata ad aumentare nei prossimi anni anche se le emissioni di gas serra tenderanno a ridursi [2]. I lavoratori, in particolare quelli che trascorrono la maggior parte delle loro attività all'aperto, quali ad esempio i lavoratori nei comparti edilizia ed agricoltura, o lavoratori che operino in ambienti indoor non climatizzati, sono tra i soggetti maggiormente esposti agli effetti del caldo e in generale a tutti i fenomeni meteorologici estremi [2, 3]. Molte lavorazioni outdoor avvengono spesso in condizioni di esposizione diretta e prolungata alla radiazione solare, con temperature elevate e alti tassi di umidità dell'aria. Situazione aggravata dal fatto che spesso il lavoratore, per svolgere specifiche mansioni, è obbligato ad indossare indumenti protettivi che ne limitano la dispersione del calore. In alcuni settori occupazionali, inoltre, i lavoratori sono a contatto con materiali o macchinari che rappresentano una fonte di calore aggiuntiva, oppure utilizzano sostanze chimiche che possono ulteriormente aggravare gli effetti del caldo. Tali condizioni sono in grado di determinare effetti sulla salute e sicurezza dei lavoratori soprattutto nel caso di soggetti caratterizzati da un'alterata capacità di termoregolazione fisiologica, conseguente ad esempio all'assunzione di farmaci che influiscono sul sistema di termoregolazione, o in presenza di varie patologie. La sezione MICROCLIMA del Portale Agenti Fisici è articolato nelle seguenti sottosezioni, il cui contenuto è presentato nei successivi paragrafi:

- ✓ Descrizione del rischio
- ✓ Normativa: contiene i riferimenti alle norme di buona tecnica, alcune delle quali sono indicate in bibliografia
- ✓ Metodiche di Valutazione
- ✓ Calcolatore per la stima dello stress termico mediante sollecitazione termica prevedibile [4]
- ✓ Prevenzione e Protezione
- ✓ Documentazione: contiene documenti scaricabili on line utili ai fini della valutazione del rischio microclima, alcuni dei quali sono indicati in bibliografia.

1. DESCRIZIONE DEL RISCHIO

Con il termine microclima si intende il complesso di parametri ambientali che caratterizzano localmente l'ambiente in cui l'individuo vive e lavora e che



congiuntamente a parametri individuali quali l'attività metabolica correlata al compito lavorativo, la resistenza termica del vestiario determinata dalle caratteristiche dell'abbigliamento indossato, condizionano gli scambi termici tra soggetto e ambiente circostante. L'approccio al problema, la metodologia d'indagine e le relative norme di riferimento, dipendono dalla tipologia di ambiente termico in questione.

Per questo motivo gli ambienti termici vengono distinti generalmente in ambienti moderati e severi (caldi o freddi).

Fondamentalmente, **negli ambienti moderati** l'obiettivo da perseguire è il raggiungimento di una condizione di comfort, non essendo presente in genere, in questa tipologia di ambienti, un vincolo dettato da esigenze produttive tali da impedire un intervento di carattere tecnico, organizzativo o procedurale che possa rendere l'ambiente termico confortevole ai fini dell'espletamento delle attività ivi svolte.

Negli **ambienti severi**, al contrario, esiste di solito un vincolo legato alle necessità produttive o alle condizioni ambientali che non consente di poter conseguire le condizioni di comfort. In tal caso, l'obiettivo da porsi è la **salvaguardia della sicurezza e della salute dei lavoratori**, il cui sistema di termoregolazione può essere sollecitato in maniera significativa nel tentativo di mantenere la temperatura centrale nei limiti fisiologici. In tali ambienti, così come negli ambienti moderati in condizioni esterne agli intervalli di applicabilità dell'indice PMV/PPD illustrato al successivo paragrafo, sarà necessario tenere conto in primis dei rischi legati all'esposizione di **sogetti particolarmente sensibili** caratterizzati da una alterata capacità di termoregolazione fisiologica, come avviene ad esempio nelle donne durante la gravidanza, o indotta da patologie preesistenti che possono alterare la percezione termica, quali ad esempio patologie dell'apparato cardiocircolatorio o del sistema endocrino, o patologie che richiedano trattamento con farmaci che influiscono sul sistema di termoregolazione.

Nel contesto occupazionale si stima che ci siano 2 lavoratori su 1000 a rischio a causa di questo agente. Un fattore discriminante è l'abitudine al lavoro al caldo/freddo, la consapevolezza del rischio, l'essere o meno in condizioni individuali di suscettibilità; è infatti stato spesso riscontrato come i maggiori problemi interessino coloro che non sono abituati né fisicamente né psicologicamente ad affrontare il caldo/freddo.

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, come tipicamente avviene nel caso delle esposizioni



in edilizia, agricoltura, o nel caso degli operatori dell'emergenza, come sanitari, vigili del fuoco, pubblica sicurezza etc.

Pertanto, i gruppi professionali a rischio, devono essere informati sulle possibili misure da adottare per prevenire **gli effetti avversi** dell'esposizione al microclima **caldo o freddo**.

FISIOLOGIA DELLA TERMOREGOLAZIONE

L'organismo umano viene definito "omeotermo", è in grado, cioè, di mantenere costante la propria temperatura centrale in un range ristretto di 37 ± 1 °C nelle più diverse condizioni climatiche, attraverso continui scambi termici con l'ambiente circostante che avvengono per convezione, evaporazione, irraggiamento e, in misura minore, per conduzione, tramite la superficie cutanea e per convezione ed evaporazione attraverso l'attività respiratoria. Nella maggior parte dei casi, gli scambi termici tra l'ambiente e le persone che operano al suo interno sono condizionati da quattro parametri ambientali (temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria, temperatura media radiante) e due parametri legati al soggetto (metabolismo energetico e isolamento termico dell'abbigliamento).

I quattro parametri ambientali sono misurabili direttamente mediante una centralina microclimatica e consentono di caratterizzare l'ambiente termico in esame; i due parametri "soggettivi", al contrario, non sono misurabili direttamente, pertanto le valutazioni del metabolismo energetico e dell'isolamento termico vengono effettuate mediante l'utilizzo di opportune norme tecniche. Noti i sei parametri citati, si è in grado di svolgere le procedure analitiche che conducono al calcolo degli indici che hanno alla base, nella maggior parte dei casi, l'equazione di bilancio termico.

L'equazione di bilancio energetico applicata al corpo umano, in termini di energia per unità di tempo ovvero di potenza, assume la seguente forma:

$$S = M - W \pm C_{RES} \pm E_{RES} \pm K \pm C \pm R - E \quad (1)$$

Dove:

S = variazione di energia intera, ovvero differenza tra la potenza termica acquisita e dissipata dal corpo umano;

M = metabolismo energetico

W = potenza meccanica impegnata per compiere lavoro meccanico;

C_{RES} = potenza termica scambiata nella respirazione per convezione;

E_{RES} = potenza termica scambiata nella respirazione per evaporazione;

K = potenza termica scambiata per conduzione;

C = potenza termica scambiata per convezione;



R = potenza termica scambiata per irraggiamento;

E = potenza termica ceduta per traspirazione e sudorazione;

Nell'equazione (1) i singoli termini hanno segno + se si ha un guadagno di energia, mentre hanno segno – se si ha una perdita di energia.

L'equazione (1) può assumere i seguenti valori:

- $S = 0$ rappresenta la condizione di equilibrio termico, non c'è variazione di energia all'interno del corpo, la temperatura tende a rimanere costante, la sensazione è di neutralità termica;
- $S > 0$ la potenza termica in ingresso nel corpo è maggiore di quella in uscita. Tale variazione positiva di energia interna determina un incremento della temperatura centrale con conseguente sensazione di caldo;
- $S < 0$, la potenza termica in ingresso è minore di quella in uscita. Tale variazione negativa di energia interna determina un decremento della temperatura centrale con conseguente sensazione di freddo.

Il mantenimento dell'equilibrio termico è assicurato da un complesso sistema di termoregolazione in cui l'ipotalamo, nella sua regione anteriore e nell'area preottica, svolge la funzione di un vero e proprio termostato. A queste aree giungono informazioni provenienti dai termocettori profondi centrali che rendono conto delle variazioni della temperatura centrale dell'organismo e dai termocettori periferici sensibili al caldo (corpuscoli di Ruffini) e al freddo (corpuscoli di Krause), diffusi su tutta la superficie corporea. Il centro di termoregolazione ipotalamico integra tali informazioni e con un meccanismo di controllo nervoso a *feed-back* attiva gli effettori periferici modulando la risposta in relazione alla necessità di dissipare il calore o di incrementarne la produzione. Nel caso di esposizione ad ambienti severi caldi, con tendenza all'incremento della temperatura centrale e conseguente necessità di disperdere calore verso l'esterno, il primo meccanismo ad essere attivato è la vasodilatazione periferica. Il sangue ha elevata capacità termica specifica e conducibilità termica, pertanto il suo passaggio nel sistema venoso dei distretti periferici e il conseguente riscaldamento della superficie cutanea consentono la dispersione del calore accumulato centralmente verso gli strati d'aria immediatamente contigui alla superficie, nel caso in cui l'aria circostante si trovi ad una temperatura inferiore rispetto alla pelle, innanzitutto con meccanismo convettivo. La cessione di calore continua man mano che l'aria riscaldata viene sostituita da strati d'aria più fresca. Al meccanismo di dissipazione del calore contribuisce in misura importante l'irraggiamento, molto meno la conduzione a causa della ridotta



superficie di contatto, soprattutto per soggetti in piedi, l'evaporazione dall'epidermide e gli scambi respiratori.

Successivamente, nonché in caso di temperatura dell'aria superiore a quella della superficie del corpo, che porterebbe ad un trasferimento di calore in senso inverso, il meccanismo prevalente e decisamente più efficace di raffreddamento del corpo è rappresentato dalla evaporazione del sudore. L'aumento della velocità dell'aria rende più efficiente il meccanismo di termodispersione per convezione e per evaporazione. Poiché la velocità di evaporazione è dipendente dalla tensione di vapore d'acqua, è esplicito che quanto più l'aria ambiente è satura di umidità tanto minore è l'evaporazione. Va detto che tale meccanismo è reso più efficiente, in termini di velocità di produzione e di efficacia del processo evaporativo del sudore, dall'acclimatamento del soggetto rispetto al soggetto non acclimatato. Anche la deplezione di sali per esposizioni prolungate ad ambienti severi caldi risulta ridotta nel soggetto acclimatato e sono inferiori le ripercussioni sull'apparato cardiovascolare nel complesso. Le risposte effettrici che l'ipotalamo mette in atto nel caso di esposizione ad ambienti che si configurano come severi freddi sono esattamente opposte a quelle finora descritte, essendo finalizzate ad impedire la dispersione di calore all'esterno e ad assicurare il mantenimento della temperatura centrale nei limiti fisiologici. La vasocostrizione periferica è il primo meccanismo ad innescarsi in tal senso, a seguire viene prodotto calore mediante il meccanismo della termogenesi con brivido per attivazione dei muscoli scheletrici. In entrambe le condizioni, quando i meccanismi fisiologici non sono più sufficienti a contrastare il prolungato stress termico, l'organismo mette in atto dei meccanismi "comportamentali": riduzione del movimento fino al blocco di ogni attività muscolare volontaria con lo scopo di evitare la produzione di calore endogeno negli ambienti severi caldi; attivazione volontaria delle masse muscolari per incrementare la produzione di calore in caso di esposizione ad ambienti severi freddi.

SOGGETTI PARTICOLARMENTE SENSIBILI ALL'AMBIENTE TERMICO

Donne in gravidanza

In gravidanza, l'organismo femminile va incontro ad una serie di cambiamenti fisiologici: l'aumento del volume del sangue materno per un adeguato flusso sanguigno alla placenta, richiede una sufficiente idratazione. Il caldo può essere causa di disidratazione, con la perdita, attraverso la sudorazione, di liquidi e sali minerali, preziosi per l'equilibrio materno-fetale.



Minori

La tutela dei lavoratori minorenni è prevista da disposizioni normative, a partire dalla Legge n° 977 del 17 ottobre 1967 “Tutela del lavoro dei bambini e degli adolescenti”, e successivamente dal Decreto Legislativo 4 agosto 1999, n° 345 “Attuazione della direttiva 94/33/CE relativa alla protezione dei giovani sul lavoro” e dal Decreto Legislativo 18 agosto 2000, n. 262 "Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 4 agosto 1999, n° 345, in materia di protezione dei giovani sul lavoro, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128".

Relativamente agli ambienti termici, nell'Allegato I alla Legge 977/1967, introdotto dall'articolo 15, comma 1, del decreto legislativo 4 agosto 1999, n° 345, che elenca le mansioni alle quali non possono essere adibiti gli adolescenti, viene fatto esplicito riferimento a:

- *Esercizio dei forni a temperatura superiore a 500 C come ad esempio quelli per la produzione di ghisa, ferroleghe, ferro o acciaio; operazioni di demolizione, ricostruzione e riparazione degli stessi; lavoro ai laminatoi;*
- *Lavorazioni nelle fonderie;*
- *Lavorazioni in gallerie, cave, miniere, torbiere e industria estrattiva in genere;*
- *Lavori in pozzi, cisterne ed ambienti assimilabili;*
- *Lavori nei magazzini frigoriferi;*
- *Pulizia di camini e focolai negli impianti di combustione;*

Persone con malattie croniche

Persone ipertese e cardiopatiche.

I soggetti ipertesi e cardiopatici sono particolarmente sensibili agli effetti negativi del caldo e del freddo e, in particolare, possono manifestare episodi di abbassamento della pressione arteriosa che possono causare anche perdita di coscienza in ambienti caldi, incrementi pressori al freddo. In caso di esposizione lavorativa ad ambienti severi bisogna quindi tener conto di un'eventuale modifica del dosaggio farmacologico, sotto controllo medico.

Persone con diabete

Nei diabetici si verifica una globale alterazione nella reattività microvascolare, con conseguente ridotta vasocostrizione in risposta all'esposizione a basse temperature e ridotta vasodilatazione al caldo, condizioni esacerbate nei soggetti affetti da neuropatia periferica, i quali sembrano essere ancora più suscettibili all'esposizione a temperature ambientali estreme, che richiederebbero una rapida e valida attivazione dei meccanismi termoregolatori.

Nel caso di esposizione a basse temperature, quindi, nel soggetto diabetico, la ridotta vasocostrizione comporta un aumento della dispersione di calore,



accentuata dall'inibizione del meccanismo del brivido indotta dall'ipoglicemia, ed un conseguente maggior rischio di sviluppare ipotermia. Numerosi studi correlano questa condizione ad un aumentato rischio di patologie cardiovascolari, favorite dalla coesistenza di neuropatie periferiche.

In caso di esposizione ad ambienti severi caldi, alla già citata ridotta vasodilatazione, si associa la ridotta risposta ortostatica al caldo a seguito delle alterazioni del sistema nervoso autonomo. Ne consegue una minore dispersione termica con rischio di incremento della temperatura centrale e il manifestarsi di patologie correlate all'esposizione ad alte temperature, tanto più se l'attività lavorativa dovesse comportare un elevato dispendio energetico.

Persone con insufficienza renale e/o dializzate

I soggetti con grave insufficienza renale o dializzati sono maggiormente a rischio poiché, soprattutto nel caso—di nefropatia diabetica, è riportata in letteratura una frequente associazione con ipertensione arteriosa e malattie cardiovascolari ad alta mortalità.

Persone affette da disturbi psichici

Le persone che soffrono di disturbi psichici possono essere più vulnerabili perché a causa del loro minore grado di consapevolezza del rischio possono assumere comportamenti inadeguati. Inoltre, è bene ricordare che questo gruppo di persone fa abituale uso di farmaci e ciò può aggravare gli effetti indotti dall'esposizione a temperature severe.

Persone che assumono regolarmente alcuni tipi di farmaci

Alcuni farmaci possono favorire disturbi causati da ambienti severi, perché interferiscono con i meccanismi della termoregolazione o perché influenzano lo stato di idratazione del soggetto. Ad esempio i farmaci assunti per:

- ipertensione e malattie cardiovascolari
- disturbi della coagulazione
- malattie neurologiche
- malattie psichiatriche
- disturbi della tiroide
- malattie respiratorie croniche

Di seguito si riporta una tabella di sintesi delle principali disabilità termiche e delle disabilità primarie associate (tratta da EN ISO 28803:2012)



PATOLOGIE DA AMBIENTI SEVERI

Una situazione di comfort termico prevede quindi un equilibrio tra la quantità di calore prodotta dall'organismo e la quantità di calore assunta dall'ambiente o ceduta all'ambiente attraverso i diversi meccanismi di termoregolazione.

Allorché il bilancio termico diventa positivo (o negativo) intervengono i meccanismi termoregolatori al fine di mantenere la temperatura entro i limiti compatibili con le funzioni vitali.

L'impegno esasperato di tali meccanismi dà luogo ad una situazione di stress termico, che può preludere allo sviluppo di veri e propri processi patologici se l'esposizione non viene limitata nel tempo.

Un'attivazione intensa e prolungata dei meccanismi deputati alla termoregolazione può portare infatti ad un cedimento del sistema di controllo, con conseguente insorgenza di manifestazioni patologiche da calore o da freddo anche gravi, conseguenti ad un progressivo ed inesorabile innalzamento o riduzione della temperatura centrale, che possono essere schematizzate nelle manifestazioni fisiopatologiche di seguito riportate.

Tabella 1 - Principali tipologie di disabilità termiche e disabilità primarie associate (tratta da EN ISO 28803:2012) [5]

Tipo di Disabilità termica	Effetto termico della disabilità	Tipo di Ambiente termico	Patologia o disabilità fisica originaria
Alterazioni della termoregolazione corporea	Impedimento nella sudorazione (congestione da calore)	Caldo	Lesioni del midollo spinale, età, lebbra, etc.
	Iperproduzione termica (Cinetica)	Caldo	Paralisi cerebrale, etc.
	Iperproduzione termica (endogena)	Caldo	Morbo di Basedow-Graves, ipertiroidismo etc.
	Ipoproduzione termica (endogena e/o cinetica)	Freddo	Disturbi nella deambulazione
Alterazioni nella percezione termica	Patologie vasomotorie periferiche inclusi effetti collaterali di farmaci (eccessiva dissipazione termica)	Freddo / correnti d'aria	Lesioni del midollo spinale, età etc. Effetti di farmaci anti - ipertensivi, patologia coronarica, diabete mellito, sindrome di Raynaud, patologie vascolari periferiche
	Paralisi dei termorecettori	Caldo e freddo	Lesioni del midollo spinale, età, lebbra, etc.
Peggioramento di altre disabilità		Freddo	Lesioni da freddo, esiti da poliomielite, etc.
	Peggioramento di paralisi, convulsioni e dolore	Freddo / umidità elevata	Paralisi cerebrale, Lesioni del midollo spinale , reumatismi, etc.
	Effetti sulla funzionalità renale	Freddo	Nefriti croniche, invecchiamento, ipertensione, etc.
	Infarto	Caldo/Freddo/ sbalzi di temperatura	Infarto del miocardio, infarto cerebrale, etc.
	Effetti sulla pressione sanguigna	Caldo/Freddo/ sbalzi di temperatura	Disturbi ipertensivi
	Peggioramento della funzionalità respiratoria	Freddo/ bassa umidità	Asma, paralisi cerebrale, bronchiti croniche, etc.
Altre affezioni	Peggioramento cutaneo dovuto a sudorazione	Caldo	Epidermolysis bollosa ereditaria, etc.
	Pollachiuria (disfunzioni urinarie)	Freddo	Lesioni del midollo spinale , etc.
	Indumenti pesanti (in condizioni di disabilità fisiche)	Freddo	Vari tipi di paralisi motorie
	Diarrea	Freddo	Esiti di poliomieliti, lesioni del midollo spinale , etc.



PATOLOGIE DA ALTE TEMPERATURE

Un'attività lavorativa ad elevato impegno fisico effettuata in ambienti severi caldi impone richieste conflittuali al sistema cardiovascolare: da una parte la vasodilatazione periferica aumenta il flusso di sangue verso la superficie corporea nel tentativo di dissipare il calore che tende ad incrementare la temperatura centrale; dall'altra, il lavoro muscolare intenso richiede a sua volta un incremento del flusso sanguigno verso i distretti muscolari interessati dallo sforzo. Poiché la gittata cardiaca non può comunque eccedere il flusso garantito dal ritorno venoso, la capacità cardiaca costituisce un fattore limitante per il lavoro intenso svolto in ambienti severi caldi e il sistema cardiovascolare può trovarsi in una condizione di sovraccarico tale da non poter soddisfare adeguatamente entrambe le esigenze.

Una patologia tipicamente correlata al lavoro in ambienti caldi è la **sincope da calore**, dovuta a un'eccessiva vasodilatazione che dà luogo a stasi venosa periferica, ipotensione e insufficiente flusso sanguigno cerebrale, manifestandosi con una perdita di coscienza preceduta da pallore, stordimento e vertigini. Nei soggetti che svolgono attività lavorativa in ambienti severi caldi, in particolare se non acclimatati, si accompagna spesso ad una ipertermia che può raggiungere i 39 °C, ma non comporta né abolizione della sudorazione né agitazione motoria.

Una condizione più grave di quella descritta è rappresentata dall'**esaurimento della termoregolazione**, che può manifestarsi tramite due forme cliniche in cui l'elemento comune è costituito dall'innalzamento della temperatura centrale al di sopra dei 40.5 °C e dall'arresto della sudorazione, dovuti al blocco dei meccanismi centrali della termoregolazione, mentre si distinguono essenzialmente per la diversa intensità dei sintomi nervosi: agitazione o delirio nel caso di *iperpiressia*, con cute secca e ardente, prostrazione, grave ipotonia muscolare, polipnea, tachicardia, incoordinazione motoria; convulsioni epilettiformi o coma nel *colpo di calore*, che costituisce un aggravamento della forma precedente e può essere letale se non trattato rapidamente.

I **crampi da calore** costituiscono una condizione patologica caratterizzata da spasmi muscolari dolorosi della durata di 1-3 minuti a carico di polpaccio, addome, colonna vertebrale, causati dallo svolgimento di attività muscolari intense in ambiente caldo-umido. Sono preceduti in genere da astenia ingravescente, cute umida, calda e arrossata, ipotensione, e possono essere prevenuti da un'adeguata assunzione di acqua e dalla somministrazione di soluzioni isotoniche di cloruro di sodio.

L'inadeguato ripristino delle perdite d'acqua conseguenti alla sudorazione può portare nel giro di qualche ora al **deficit idrico**. I disturbi da disidratazione cominciano a manifestarsi quando le perdite raggiungono il 5% del volume



d'acqua totale con sintomi e segni clinici rappresentati da: sete marcata, polso rapido, sudorazione ridotta o abolita, densità urinaria elevata, sodio plasmatico aumentato. Il **deficit sodico** è dovuto ad inadeguato ripristino del sodio perso con il sudore e si instaura generalmente dopo almeno 3-5 giorni di esposizione, con i seguenti sintomi e segni: intensa sensazione di fatica, polso lento, sete discreta, frequenti vertigini, crampi e vomito, emocostrazione precoce e pronunciata, marcata diminuzione di sodio e cloro urinari, riduzione del sodio plasmatico.

Tra le manifestazioni da esposizione ad ambienti severi caldi rientrano patologie a carico della pelle e delle ghiandole sudoripare quali le **ustioni**, sia per contatto con un solido o un liquido caldi, sia per irradiazione; un disturbo più lieve è rappresentato dall'**eritema da calore**, che consiste in un'eruzione papulovesiculosa con eritema e prurito, conseguente ad eccessiva e prolungata presenza di sudore sulla pelle. Tale manifestazione può essere seguita da **anidrosi**, cioè arresto della secrezione di sudore, dovuta all'ostruzione dei canali escretori delle ghiandole sudoripare da parte di tappi di cheratina.

PATOLOGIE DA BASSE TEMPERATURE

Si distinguono patologie sistemiche e patologie localizzate. Del gruppo delle **patologie sistemiche** fa parte l'**orticaria da freddo**, tipica di soggetti con abnorme reattività alle basse temperature, nei quali l'esposizione anche breve al freddo non eccessivo può essere seguita da vasodilatazione prolungata, con formazione di elementi eritemato-pomfoidi dolenti e pruriginosi. Tali elementi possono estendersi a tutto il corpo e può accompagnarsi una reazione sistemica con tachicardia, ipotensione, vampate al volto e anche sincope. Decisamente più grave è l'**assideramento**, sindrome connessa all'abbassamento della temperatura del nucleo corporeo causata dall'esposizione prolungata al freddo e caratterizzata da progressiva depressione delle funzioni vitali. Si distinguono generalmente tre fasi:

FASE DI RESISTENZA

- produzione di ACTH, TSH, catecolamine
- vasocostrizione, brivido, cefalea, senso di fame, assunzione di posizione fetale
- aumento di PA, HR, ventilazione polmonare, consumo di O₂
- aumentano diuresi e viscosità del sangue, diminuisce il volume plasmatico

FASE DI SCOMPENSO TERMICO

- diminuzione progressiva della temperatura corporea
- depressione dei centri termoregolatori e dell'attività cardiaca e respiratoria



- astenia, apatia, sonnolenza, disorientamento, confusione mentale
- quadro ematico di sindrome da consumo conseguente a CID
- acidosi metabolica e respiratoria

FASE DI COMA

- raffreddamento corporeo fino a 32 °C
- progressiva depressione delle funzioni vegetative (ipotensione, bradicardia, bradipnea con superficialità del respiro)
- polso aritmico per fibrillazione atriale
- iporeflessia, coma, morte

Tra le **patologie localizzate**, viene descritta l'**acrocianosi**, dermatosi caratterizzata da aspetto cianotico-violaceo, ipotermia ed iperidrosi delle zone distali degli arti, cui si associano ipoestesi e parestesie delle zone interessate, prevalente nel sesso femminile. Alla base vi è una circolazione periferica torpida per spasmo arteriolare ed atonia venulo-capillare. Geloni ed eritema pernio sono invece manifestazioni localizzate alle estremità, causate dalla esposizione al freddo e che interessano soggetti predisposti (linfatisimo, anemia, distonia neurovegetativa), prevalentemente di sesso femminile, alla cui base vi è un'alterata regolazione del tono e della permeabilità vascolare con edema localizzato. Nello specifico, il **gelone acuto** si manifesta con un gonfiore caldo, arrossato, ben delimitato, molto pruriginoso, nel contesto di cute iperidrosica, tesa, lucida, sul dorso delle dita delle mani e dei piedi, sui talloni, oppure ai padiglioni auricolari o al naso. L'**eritema pernio** interessa le zone distali delle gambe con formazione bilaterale e simmetrica di lesioni piccole, non dolenti, rotondeggianti, di color rosso opaco o violaceo, a volte con vescicole emorragiche centrali. Possono residuare esiti cicatriziali ed atrofia della cute e del tessuto sottocutaneo.

Il congelamento interessa prevalentemente le estremità (mani, piedi, orecchie, naso) ed è caratterizzato da una successione di fasi:

-FASE "PREIPEREMICA": parestesie con ipoestesia locale, dolenzia, difficoltà nei movimenti con cute fredda, pallida, edematosa

FASE DI "CONGELATIO ERITEMATOSA" (1° grado): aumento di parestesie, insensibilità e dolore con cute rosso-cianotica, tumefatta, screpolata

FASE DI "CONGELATIO BOLLOSA" (2° grado): iperidrosi spiccata con vescicole e flittene emorragiche

FASE DI "CONGELATIO NECROTICA" (3° grado): necrosi della cute che si estende progressivamente ai tessuti sottostanti fino alla gangrena, con febbre associata e stato tossico-stuporoso



2. VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Il D.Lgs. 81/08, all'art. 180 del Titolo VIII – Agenti fisici, ha inserito il Microclima tra gli agenti fisici per i quali viene resa obbligatoria la valutazione del rischio ai sensi dell'art.181. Tale valutazione deve essere *programmata ed effettuata con cadenza almeno quadriennale da personale qualificato nell'ambito del servizio di prevenzione e protezione in possesso di specifiche conoscenze in materia*". *La valutazione dei rischi è aggiornata ogni qual volta si verificano mutamenti che potrebbero renderla obsoleta, ovvero, quando i risultati della sorveglianza sanitaria rendano necessaria la sua revisione. I dati ottenuti dalla valutazione, misurazione e calcolo dei livelli di esposizione costituiscono parte integrante del documento di valutazione del rischio.* In aggiunta alle disposizioni contenute nel titolo VIII, il d.lgs. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i si occupa di microclima anche in una parte dell'allegato IV (Luoghi di lavoro), a sua volta richiamato dall'art. 63 (Requisiti di salute e sicurezza), il quale richiede la conformità dei luoghi di lavoro agli elementi ivi indicati. In particolare il microclima compare ai punti 1.9.2 e 1.9.3 del citato allegato IV, che riportiamo integralmente:

1.9.2. Temperatura dei locali

1.9.2.1 La temperatura nei locali di lavoro deve essere adeguata all'organismo umano durante il tempo di lavoro, tenuto conto dei metodi di lavoro applicati e degli sforzi fisici imposti ai lavoratori.

1.9.2.2. Nel giudizio sulla temperatura adeguata per i lavoratori si deve tener conto della influenza che possono esercitare sopra di essa il grado di umidità ed il movimento dell'aria concomitanti.

1.9.2.3 La temperatura dei locali di riposo, dei locali per il personale di sorveglianza, dei servizi igienici, delle mense e dei locali di pronto soccorso deve essere conforme alla destinazione specifica di questi locali. □

1.9.2.4 Le finestre, i lucernari e le pareti vetrate devono essere tali da evitare un soleggiamento eccessivo dei luoghi di lavoro, tenendo conto del tipo di attività e della natura del luogo di lavoro.

1.9.2.5 Quando non è conveniente modificare la temperatura di tutto l'ambiente, si deve provvedere alla difesa dei lavoratori contro le temperature troppo alte o troppo basse mediante misure tecniche localizzate o mezzi personali di protezione. □

1.9.3 Umidità - 1.9.3.1 Nei locali chiusi di lavoro delle aziende industriali nei quali l'aria è soggetta ad inumidirsi notevolmente per ragioni di lavoro, si deve evitare, per quanto è possibile, la formazione della nebbia, mantenendo la temperatura e l'umidità nei limiti compatibili con le esigenze tecniche.



Il D.Lgs. 81/08 e s.m.i. non fornisce metodologie o strumenti analitici per effettuare una valutazione numerica. È necessario, pertanto, far riferimento alla normativa tecnica di settore (Ergonomia degli Ambienti Termici) riportata nella sezione Normativa e di seguito illustrata. Ai fini di una valutazione quantitativa dell'esposizione ad ambienti termici, è necessario comprendere se, per l'ambiente che si sta valutando, esistono dei vincoli sui parametri microclimatici legati all'attività produttiva o meno: Se la risposta è negativa si tratta di **ambienti moderabili**, che vengono valutati con l'indice PMV in associazione con l'indice PPD, tenendo presente che, **nelle condizioni esterne agli intervalli di applicabilità indicati in tabella 2**, possono insorgere **rischi sulla salute**, con particolare riferimento ai sottogruppi **particolarmente sensibili** che operino in tali ambienti. Se la risposta è affermativa si tratta di **ambienti vincolati (ambienti severi), caldi o freddi**.

2.1 AMBIENTI MODERATI

Si definiscono ambienti moderati quegli ambienti nei quali non esistono vincoli in grado di pregiudicare il raggiungimento del comfort termico laddove per "comfort termico" si intende *lo stato psicofisico nel quale il soggetto esprime soddisfazione verso l'ambiente termico in esame*. Questi ambienti non espongono in genere il lavoratore a rischi per la salute.

La norma tecnica di riferimento per la valutazione degli ambienti moderati è la **UNI EN ISO 7730:2006 [6]**: 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.

Gli indici descritti nella norma tecnica permettono di valutare:

- se il soggetto (nella sua globalità) si trova in una condizione di comfort termico o quanto è distante da quella condizione (indici di comfort globale PMV e PPD);
- se esistono delle condizioni termiche locali che possono creare dei discomfort per specifiche parti corporee (discomfort locali).



Comfort Globale

Gli indici maggiormente utilizzati derivano da un approccio teorico basato sull'applicazione dell'equazione di bilancio termico al corpo umano, cercando di stabilire una relazione tra la sensazione termica ed i 6 parametri fondamentali. La condizione di benessere microclimatico coincide con la sensazione di neutralità termica (omeotermia = temperatura interna costante). Scostamenti dalla condizione di omeotermia producono sensazioni crescenti di discomfort.

L'indice più utilizzato è il **Predicted Mean Vote (PMV)** che deriva dagli studi che Ole Fanger (1934–2006) condusse nella seconda metà degli anni '60. Fanger creò un modello predittivo confrontando i risultati ottenuti applicando l'equazione di bilancio termico al corpo umano con i voti di sensazione termica ottenuti dal campione di studenti del college che espose in camera climatica per 3 ore, facendogli eseguire attività prestabilite.

Gli indici PMV e PPD

Il PMV rappresenta il giudizio medio previsto che verrebbe espresso da un ampio gruppo di persone esposte alle medesime condizioni microclimatiche in esame, in una scala di sensazione termica a 7 punti.

+3 molto caldo,

+2 caldo,

+1 leggermente caldo

0 neutro

-1 leggermente freddo

-2 freddo

-3 molto freddo

L'indice PMV è ritenuto affidabile quando assume valori compresi tra -2 e +2.

La UNI EN ISO 7730 raccomanda di utilizzare l'indice PMV quando tutti i principali 6 parametri, necessari per la sua valutazione, assumono valori compresi nei seguenti intervalli:



Tabella 2 - Intervalli di applicabilità dei criteri di comfort da norma UNI EN ISO 7730

PARAMETRO	INTERVALLO
Attività metabolica M	$46 \text{ W/m}^2 \div 232 \text{ W/m}^2$ (0.8 Met \div 4 Met)
Isolamento termico I_{cl}	$0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \div 0.31 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (0 clo \div 2 clo)
Temperatura dell'aria t_a	$10^\circ\text{C} \div 30^\circ\text{C}$
Temperatura media radiante \bar{t}_r	$10^\circ\text{C} \div 40^\circ\text{C}$
Velocità relativa v_r	$0 \text{ m/s} \div 1 \text{ m/s}$
Pressione parziale di vapore p_a	$0 \text{ Pa} \div 2700 \text{ Pa}$

Per valutare il metabolismo energetico si può utilizzare la UNI EN ISO 8996:2005 [7].

Per valutare l'abbigliamento termico si fa riferimento alla UNI EN ISO 9920:2009 [8].

Considerato che il PMV quantifica un voto medio, esiste, quindi, una percentuale di persone che non sono soddisfatte rispetto alle condizioni termiche in esame e che voterebbero *caldo*, *molto caldo*, o *freddo*, *molto freddo*.

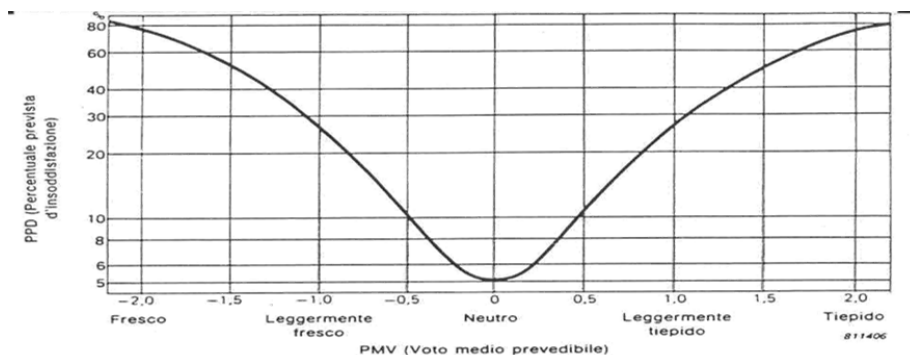
Tale percentuale viene quantificata dall'indice PPD, Predicted Percentage of Dissatisfied.

L'indice PPD viene calcolato attraverso la seguente equazione, una volta noto il PMV:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2)}$$

L'andamento dell'indice PPD in funzione del PMV è illustrato in figura 1.

Fig. 1. Percentuale di insoddisfatti (PPD) in funzione del voto medio previsto (PMV).





La Figura 1 mostra che anche nella condizione di neutralità termica ($PMV=0$) esiste comunque una percentuale di persone insoddisfatte pari al 5%.

Il modello PMV fornisce un giudizio di comfort globale o una misura della distanza dalla condizione di neutralità termica, ma non tiene conto di specifiche disomogeneità che possono essere presenti nell'ambiente e che possono determinare dei discomfort locali.

Discomfort Locali

L'indice PMV fornisce un giudizio medio sulla condizione di comfort/discomfort globale, ovvero relativo al corpo nella sua interezza, non tiene, quindi, conto di specifiche disomogeneità che possono essere presenti nell'ambiente e che possono determinare dei disagi locali per il soggetto.

Le UNI EN ISO 7730 individua quattro principali cause di discomfort locali:

- a) Correnti d'aria;
- b) Differenza verticale di temperatura tra la testa e le caviglie;
- c) Pavimento troppo caldo o troppo freddo;
- d) Asimmetria della temperatura radiante.

È disponibile un documento PDF scaricabile on line che descrive in maniera dettagliata criteri valutativi discomfort locali

Criteri di Accettabilità

La UNI EN ISO 7730 condiziona l'accettabilità dell'ambiente termico in esame al soddisfacimento simultaneo dei criteri globali e locali, secondo le 3 categorie di comfort riportate nella Tabella 3.

I criteri devono essere soddisfatti contemporaneamente per ogni categoria.

Un metodo per individuare l'intervallo di accettabilità da utilizzare ai fini della valutazione del comfort, è stato sviluppato negli ultimi anni, partendo dalle indicazioni presentate nella tabella 3.5 della EN 16798-2, qui riportate nella Tabella 4.

La EN 16798-1 e la EN 16798-2 articolano gli ambienti su quattro categorie e non su tre, come invece fa la UNI EN ISO 7730. I limiti di accettabilità delle categorie che la EN 16798-1 e la EN 16798-2 indicano 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 EN 16798-1 e EN 16798-2 si configura come una categoria aggiuntiva.



Tabella 3. Categorie di comfort

Categoria	Stato termico del corpo nella sua interezza		Discomfort locali			
	PPD %	PMV	DR %	PD % Causato da		
				Differenza verticale di temperatura dell'aria	Pavimento caldo o freddo	Asimmetria radiante
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

Nella Tabella 4 risultano di particolare importanza:

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

Tabella 4 -Definizione qualitativa delle categorie di accettabilità termica

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

Si fa presente che l'allegato 1 del *Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione* (G.U. n. 16 del 21 gennaio 2016) prevede che nella costruzione, ristrutturazione o manutenzione degli edifici pubblici il progettista presenti una relazione di calcolo in cui si dimostri che la progettazione del sistema edificio-impianto è avvenuta tenendo conto di tutti i parametri che influenzano il comfort e che ha raggiunto almeno i



valori di PMV e PPD richiesti per ottenere la **classe B** secondo la norma ISO 7730:2005. Tale relazione deve inoltre includere una descrizione delle caratteristiche progettuali volte a rispondere ai requisiti sui ponti termici.

Nella stessa sezione del Portale è disponibile un link ad un calcolatore on line del PMV.

Il rischio da stress da calore in ambienti moderabili

Nelle condizioni esterne agli intervalli di applicabilità degli indici di comfort indicati in tabella 2 potrebbero insorgere condizioni di “stress da calore”, in relazione alle caratteristiche individuali ed all’attività svolta dalle persone esposte. Uno degli indicatori più comuni usati per valutare se e in che misura le condizioni dell’ ambiente termico possono compromettere la salute degli individui della popolazione generale, in cui rientrano i lavoratori che operano in “*ambienti moderabili*” o lavoratori che siano comunque “*inconsapevoli*” del rischio da calore, è l'utilizzo dell'indice di calore (Heat Index) basato sulla lettura dei valori di temperatura e di umidità relativa, adottato anche dall’Istituto Nazionale Francese per la Ricerca sulla Sicurezza [INRS]. Tale indice, attraverso un algoritmo i cui risultati sono riportati in una tabella semplificata, permette di identificare 4 livelli di allerta, dalla “cautela per possibile affaticamento” fino al “rischio elevato di colpo di calore”, ed è correntemente utilizzato in molti paesi per fornire allerte metereologiche in caso di rischio da caldo per la popolazione generale. Il rischio viene valutato mediante “***L’indice di calore***”, ricavato dalla misura della temperatura ambiente (termometro) e dell’ umidità relativa (igrometro), facendo riferimento alla Tabella 4, sviluppata dal Dipartimento della Nazionale di Meteorologia francese. L'utilizzo dell'indice di calore risulta valido per lavoro all’ombra e con leggera ventilazione



Tabella 5- Valori dell'indice Heat Index e possibilità di insorgenza di disturbi tra gli individui della popolazione

da 80 a 90:	Cautela per possibile affaticamento; cautela per soggetti sensibili
da 90 a 104:	Estrema cautela, possibili crampi muscolari, esaurimento fisico
da 105 a 129:	Rischio possibile di colpo di calore
130 e più:	Rischio elevato di colpo di calore

È disponibile on line nella stessa sessione un foglio di calcolo in formato excel per il calcolo dell'Heat Index.

2.2 AMBIENTI SEVERI CALDI O FREDDI

Gli ambienti severi caldi o freddi sono ambienti nei quali sussistono esigenze produttive che determinano un vincolo su uno o più dei parametri microclimatici in grado di pregiudicare il raggiungimento del comfort. In questo tipo di ambienti è prioritario tutelare la salute e sicurezza del lavoratore a seguito della sollecitazione intensa e prolungata del sistema di termoregolazione che può determinare condizioni di stress termico per il soggetto esposto.

Ambienti caldi

Allo stato attuale, la valutazione dello stress prodotto da un ambiente caldo viene effettuata in due modi, utilizzando:

- l'indice WBGT, di facile utilizzo per una valutazione preliminare ed esplorativa dell'ambiente in esame;
- il modello PHS, procedura utilizzata per una valutazione più approfondita. Il portale contiene un calcolatore on line che consente di effettuare i calcoli previsti da tale procedura.

Tali criteri NON possono essere applicati nella valutazione del rischio per soggetti sensibili, che necessitano di una valutazione specifica in relazione alle condizioni individuali ed alla tipologia di attività svolta.

Indice WBGT

L'indice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) è un indice empirico, di facile valutazione, che viene utilizzato in prima battuta per comprendere se l'esposizione ad un determinato ambiente caldo genera o meno stress termico. La stima è grossolana ma permette di comprendere se è necessaria una valutazione più approfondita dell'ambiente in esame.

La norma di riferimento in cui viene descritto l'indice WBGT è la UNI EN ISO 7243:2017 [11].



Si applica per valutare la presenza o meno di stress termico provocato da un ambiente caldo sia indoor che outdoor, su un soggetto adulto, sia maschio che femmina.

La valutazione avviene attraverso i seguenti passi:

a) Calcolo del WBGT

b) Correzione del valore $WBGT_{eff}$ calcolato, nel caso di abbigliamento diverso da quello preso come riferimento, aggiungendo al WBGT il valore CAV (Clothing Adjustment Value) che viene stimato attraverso la Tabella 3 della UNI EN ISO 7243:2017, ottenendo il valore del $WBGT_{eff}$.

Se il valore del WBGT valutato risulta inferiore ai valori di riferimento non sono richieste ulteriori azioni da intraprendere.

Se viceversa tale indice risulta maggiore del rispettivo valore di riferimento è necessario:

- ridurre lo stress termico con metodi appropriati (controllo dell'ambiente, del livello di attività, del tempo trascorso nell'ambiente in esame);
- procedere eventualmente ad una analisi più dettagliata dello stress termico utilizzando la UNI EN ISO 7933:2005 (modello PHS) [4].

Indicazioni dettagliate sulla valutazione mediante WBGT sono ottenibili scaricando il documento PDF con link contenuto nella stessa sezione.

Modello Predicted Heat Strain (PHS)

Quando è necessario effettuare una valutazione più approfondita dello stress termico determinato da un ambiente caldo, si procede al calcolo della sollecitazione termica prevedibile utilizzando il modello PHS (Predicted Heat Strain).

La norma di riferimento in cui viene descritto il modello PHS è la UNI EN ISO 7933:2005 [4].

Il modello analitico è complesso ed articolato.

Alla sessione microclima del PAF è disponibile un calcolatore on line che consente la valutazione del PHS.

La procedura di calcolo è di tipo iterativo e permette di seguire nel tempo la risposta fisiologica del corpo umano alla sollecitazione termica restituendo come risultati gli andamenti temporali della temperatura rettale (T_{re}) e della perdita totale di acqua (SW_{tot}).

È basata sul principio che lo stress termico è tanto più intenso quanto maggiore è il guadagno di energia (ovvero l'aumento di energia interna al corpo).

Per poter applicare il modello PHS è necessario che i sei parametri fondamentali



assumano valori compresi nei seguenti intervalli:

Parametri		Minimo	Massimo
t_a	°C	15	50
p_a	kPa	0	4,5
$t_r - t_a$	°C	0	60
v_a	m/s	0	3
M	W	100	450
I_{cl}	clo	0,1	1,0

La procedura è articolata nelle seguenti fasi:

- ✓ Calcolo dell'andamento nel tempo della temperatura rettale e della perdita totale di acqua;
- ✓ Calcolo dei valori limite per la temperatura rettale e per la perdita totale d'acqua;
- ✓ Confronto tra gli andamenti temporali ed i valori limite;
- ✓ Calcolo dei tempi in cui si raggiungono i valori limite per la temperatura rettale e per la perdita totale di acqua;
- ✓ Determinazione della durata limite dell'esposizione come il minimo dei tempi calcolati nel punto precedente.

Informazioni dettagliate sono contenute nel file PDF scaricabile dalla sezione microclima del PAF e nelle istruzioni per l'uso del calcolatore on line PHS disponibile sul PAF.

Valore limite per la temperatura rettale

$T_{re,max}$ rappresenta il valore massimo accettabile per la temperatura rettale.

La norma pone: $T_{re,max} = 38$ °C

Calcolo dei limiti per la perdita totale di acqua

D_{Max} rappresenta la massima perdita totale di acqua compatibile con il mantenimento dei parametri fisiologici.

Si individuano due limiti:

- D_{Max50} : protegge il 50% della popolazione lavorativa;
- D_{Max95} : protegge il 95% della popolazione lavorativa (limite più protettivo);

Calcolo del limite del tempo massimo di esposizione



Confrontando gli andamenti nel tempo della temperatura rettale e della perdita totale di acqua si ottengono due stime indipendenti del tempo di esposizione massimo quotidiano:

D_{limTre} rappresenta il tempo dopo il quale la temperatura rettale raggiunge il valore limite;

$D_{limloss50}$ rappresenta il tempo dopo il quale la perdita totale di acqua supera il limite D_{Max50}

$D_{limloss95}$ rappresenta il tempo dopo il quale la perdita totale di acqua supera il limite D_{Max95}

$$D_{lim} = \text{MIN} (D_{limTre}; D_{limloss95})$$

AMBIENTI FREDDI

L'esposizione ad ambienti freddi può comportare sia il raffreddamento del corpo nella sua interezza sia il raffreddamento di singole parti (soprattutto le estremità quali mani, piedi e testa), che può comportare il deterioramento delle capacità manuali o fisiche, come sinteticamente riportato in tabella 6.

La norma di riferimento per la valutazione degli ambienti freddi è la UNI EN ISO 11079 [12].

La norma si applica ad esposizioni continue, intermittenti o occasionali; a lavori al chiuso o all'aperto.

Essa non si applica per valutare effetti specifici associati a fenomeni meteorologici (es. precipitazioni) che sono valutati con altri metodi.

La norma valuta il:

- raffreddamento globale: relativo al corpo nella sua totalità, attraverso la quantificazione dell'indice IREQ;
- raffreddamento locale: è il raffreddamento di singole parti del corpo



Tabella 6 - Tipologie di raffreddamento localizzato e metodi valutativi

Raffreddamento locale	Effetto	Valutazione
Convective cooling	Raffreddamento dovuto all'effetto del vento in presenza di bassa temperatura. Il vento accelera le perdite di calore. Rischio di raffreddamento per le parti non protette (viso e a volte mani).	Viene valutato attraverso la wind chill temperature
Conductive cooling	Raffreddamento da contatto con superfici fredde.	Far riferimento alla norma UNI EN ISO 13732 – 3
Extremity cooling	Raffreddamento delle estremità (soprattutto dita delle mani e dei piedi) dovuto alla vasocostrizione.	Il raffreddamento delle estremità può essere prevenuto o ridotto utilizzando i guanti. Per i guanti di protezione far riferimento alla UNI EN 511 “Guanti di protezione contro il freddo”.
Airway cooling	Raffreddamento delle prime vie respiratorie dovuto all'inalazione di aria a bassa temperatura, che può essere dannoso per i tessuti. Alti livelli di attività fisica rendono questo tipo di raffreddamento evidente perché coinvolgono grandi volumi di aria inspirata.	

RAFFREDDAMENTO GLOBALE

Valutazione dell'IREQ

La valutazione del raffreddamento globale è basata sulla quantificazione dell'indice IREQ e dell'eventuale tempo massimo di esposizione Dlim

IREQ - Insulation Required è l'isolamento termico risultante richiesto nelle condizioni termiche in esame per mantenere il corpo in equilibrio termico per



livelli accettabili di temperatura interna del corpo e di temperatura della pelle.

L'equilibrio termico può essere raggiunto a diversi livelli di attivazione del sistema di termoregolazione.

L'indice IREQ viene ricavato risolvendo l'equazione di bilancio termico rispetto a questo parametro, in due particolari condizioni di attivazione del sistema di termoregolazione, ottenendo due valore distinti $IREQ_{min}$ e $IREQ_{neutral}$ così definiti:

Valore di IREQ	Definizione	Condizione del sistema di termoregolazione	Condizioni analitiche impostate
$IREQ_{min}$	Isolamento termico minimo richiesto per mantenere il corpo in equilibrio termico per livelli subnormali di temperatura media interna corporea.	Condizione I – high strain condition condizione limite di inizio di attivazione del sistema di termoregolazione in cui l'equilibrio viene mantenuto attraverso il meccanismo della vasocostrizione in assenza di sudore. In questa condizione una persona percepirebbe la sensazione di "freddo".	- temperatura sup. della pelle $t_{sk} = 33,34 - 0.0354M$ - Frazione di pelle bagnata $w = 0.06$
$IREQ_{neutral}$	Isolamento termico richiesto per garantire l'equilibrio termico	Condizione I – low strain condition Condizione di neutralità termica con livelli normali di temperatura media interna.	- temperatura sup. della pelle $t_{sk} = (35.7 - 0.0285M)$ - Frazione di pelle bagnata $w = 0.001M$
Con $IREQ_{min} < IREQ_{neutral}$			

La valutazione mediante l'indice IREQ risulta affidabile quando si verificano le seguenti condizioni:

Parametri
$t_a \leq 10^\circ C$
$0,4m/s \leq v_a \leq 18m/s$
$I_{cl} > 0,078m^2K/W$ (0,5 clo)

Informazioni dettagliate sono contenute nel file PDF scaricabile nella stessa sezione del Portale, dove è altresì disponibile il link a un calcolatore on line IREQ



La procedura è articolata nelle seguenti fasi:

- Valutazione dell'isolamento termico risultante $I_{cl,R}$ (UNI EN ISO 9920);
- Calcolo di $IREQ_{neutral}$
- Confronto tra $I_{cl,R}$ e $IREQ_{min}$, $IREQ_{neutral}$

Si possono verificare 3 casi:

N°	Condizione	interpretazione	Azione	Necessario calcolare D_{lim} ?
1	$I_{cl,r} < IREQ_{min}$	Isolamento termico insufficiente	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentare l'isolamento termico: l'abbigliamento non fornisce adeguato isolamento per prevenire il raffreddamento; - Dopo l'esposizione al freddo prevedere un periodo di ricovero per riportare il corpo in condizioni di equilibrio 	Si. Bisogna calcolare anche la durata del periodo di ricovero D_{rec}
2	$IREQ_{min} < I_{cl,r} < IREQ_{neutral}$	Isolamento termico sufficiente	<ul style="list-style-type: none"> - Nessuna azione ai fini del raffreddamento globale; - Valutazioni degli effetti dei raffreddamenti locali 	No
3	$I_{cl,r} > IREQ_{neutral}$	Isolamento termico eccessivo, rischio di sudorazione	Ridurre abbigliamento	No

Nel caso di $I_{cl,R}$ minore di $IREQ_{min}$ è necessario calcolare la durata limite di esposizione (D_{lim}) per prevenire il progressivo raffreddamento del corpo e del periodo di recupero (D_{rec}) necessario per ristabilire il normale equilibrio termico del corpo.

Calcolo della durata limite di esposizione D_{lim}

La durata massima di esposizione al freddo è definita come il massimo tempo di esposizione all'ambiente in esame con l'abbigliamento selezionato.

Calcolo del tempo di recupero D_{rec}

Il tempo necessario per il recupero dell'equilibrio termico (D_{rec}) in seguito all'esposizione ad ambiente freddo viene calcolato nello stesso modo di D_{lim} , sostituendo le condizioni ambientali che non sono più quelle dell'ambiente freddo in esame ma quelle del luogo dove avviene il recupero

Ulteriori dettagli sono contenuti nel file PDF scaricabile nella stessa sessione.



RAFFREDDAMENTO LOCALE

Raffreddamento locale dovuto al vento (convective cooling)

Tale tipo di raffreddamento viene valutato attraverso il calcolo della Wind Chill Temperature, definita come la temperatura dell'ambiente che, in presenza di una velocità del vento pari a 4,2 Km/h, produce lo stesso potere di raffreddamento (sensazione) dell'ambiente in esame.

La procedura è articolata nelle seguenti fasi:

- Calcolo della Wind Chill Temperature t_{wc}
- Noto il valore di t_{wc} si individua la classificazione del rischio e si valutano i possibili effetti dovuti a questo tipo di raffreddamento locale secondo la tabella d.2 della UNI EN ISO 11079

Ulteriori dettagli sono contenuti nel File PDF scaricabile nella stessa sezione

Tabella d.2 della UNI EN ISO 11079

Classificazione del rischio	t_{wc} in °C	Effetti
1	da -10 a -24	Freddo non confortevole
2	da -25 a -34	Molto freddo, rischio di congelamento della pelle
3	Da -35 a -59	Freddo pungente, la pelle esposta può congelare in 10 minuti
4	Da -60 in poi	Estremamente freddo, la pelle esposta può congelare in 2 minuti

Raffreddamento locale dovuto al contatto di superfici fredde (conductive cooling)

Si fa riferimento alla norma UNI EN ISO 13732 - 3

Raffreddamento locale dovuto al raffreddamento delle estremità (extremity cooling)

Questo tipo di raffreddamento è dovuto all'attivazione del meccanismo di vasocostrizione che richiama il sangue dalla periferia per riscaldare il "core" provocando il progressivo abbassamento delle temperature delle estremità del corpo (soprattutto delle dita delle mani e dei piedi).

Il raffreddamento delle estremità può essere prevenuto o ridotto utilizzando i guanti.

Per i guanti di protezione si può far riferimento alla UNI EN 511 "Guanti di protezione contro il freddo".



La Tabella B.1 dell'allegato B della norma UNI EN ISO 11079 riporta i seguenti valori di temperatura delle dita per le due condizioni fisiologiche considerate per la valutazione di IREQ.

Tabella B.1 dell'allegato B della norma UNI EN ISO 11079

	Condizione I – high strain condition	Condizione II – low strain condition
Temperatura delle dita	15	24

Raffreddamento locale dovuto al raffreddamento delle vie respiratorie (airway cooling)

Questo tipo di raffreddamento locale viene valutato attraverso l'indicazione della temperatura dell'aria raccomandata per l'inalazione.

Per temperature al di sotto dei -15°C , le protezioni alle vie respiratorie sono raccomandate per livelli di attività elevati (con crescenti volumi di ventilazione).

Per temperature al di sotto dei -30°C , le protezioni alle vie respiratorie sono fortemente raccomandate.

La Tabella B.1 dell'allegato B della norma UNI EN ISO 11079 riporta i valori di temperatura dell'aria per il tratto respiratorio per le due condizioni fisiologiche considerate per la valutazione di IREQ.

Estratto dalla Tabella B.1 dell'allegato B della norma UNI EN ISO 11079

Tratto respiratorio	Condizione I – high strain condition	Condizione II – low strain condition
Attività leggera $M < 115 \text{ W/m}^2$	$t_a = - 40$	$t_a = - 20$
Attività intensa $M > 115 \text{ W/m}^2$	$t_a = - 30$	$t_a = - 15$

3. PREVENZIONE E PROTEZIONE

La sezione prevenzione e protezione è suddivisa nelle seguenti sotto sezioni

- ✓ AMBIENTI MODERATI
- ✓ AMBIENTI CALDI OUTDOOR
- ✓ AMBIENTI CALDI INDOOR
- ✓ AMBIENTI FREDDI



AMBIENTI MODERATI

Le metodiche di prevenzione e protezione in tutti gli ambienti "moderabili" (es. scuole, uffici, ospedali, mezzi di trasporto etc.) sono finalizzate al mantenimento delle condizioni di comfort, facendo riferimento ai criteri di accettabilità specifici di ciascun ambiente.

Un metodo per individuare l'intervallo di accettabilità da utilizzare ai fini della valutazione del comfort in relazione alla differente destinazione d'uso degli ambienti è stato sviluppato negli ultimi anni partendo dalle indicazioni presentate nella tabella 3.5 della EN 16798-2, riportate nella Tabella 3 alla sezione "metodiche di valutazione".

È da tener presente che, nelle condizioni esterne agli intervalli di applicabilità DEI CRITERI DI COMFORT (tabella 2), possono insorgere condizioni di "stress da calore" che vanno prevenute, in quanto queste possono compromettere la salute degli individui della popolazione generale, in cui rientrano i lavoratori che operano in "ambienti moderati" o lavoratori che siano comunque "inconsapevoli" e non formati a prevenire adeguatamente il rischio da calore. Uno degli indicatori più comuni usati per valutare se e in che misura le condizioni dell'ambiente termico possono compromettere la salute degli individui della popolazione generale è l'utilizzo dell'indice di calore (*Heat Index*) basato sulla lettura dei valori di temperatura e di umidità relativa, adottato anche dall'Istituto Nazionale Francese per la Ricerca sulla Sicurezza [INRS]. In relazione agli esiti di tale valutazione aggiuntiva, in attesa dell'attuazione degli interventi necessari al conseguimento di idonee condizioni di comfort termico, andranno attuate misure specifiche per la tutela dei lavoratori, con particolare riferimento ai soggetti sensibili.

Andranno quindi messi in atto specifici interventi mirati al ripristino delle condizioni termiche appropriate in relazione alla destinazione d'uso dell'ambiente, in relazione ai requisiti di accettabilità specifici.

Si fa presente che in genere nel caso di ambienti ove operano **oggetti particolarmente sensibili**, o con requisiti termici speciali, si raccomanda di mantenere sempre condizioni termiche molto prossime alla "neutralità" (vedi Categoria A in tabella 3 sezione Valutazione), secondo quanto indicato nella norma specifica EN 16798-2.

Requisiti e standard prestazionali per l'aerazione ed i parametri termoigrometrici di riferimento per il conseguimento delle condizioni di benessere termico negli ambienti di lavoro "moderabili" quali edifici scolastici, strutture sanitarie, uffici etc. sono riportati alle tabelle, inserite nella Parte II "Requisiti e standard progettuali nelle principali tipologie produttive" delle Linee Guida del 2006 a cura del Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei



luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome e dell'ex Ispesl su microclima, aerazione ed illuminazione nei luoghi di lavoro scaricabili alla sezione **documentazione**.

L'allegato 1 del *Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione* (G.U. n. 16 del 21 gennaio 2016) prevede che nella costruzione, ristrutturazione o manutenzione degli edifici pubblici il progettista presenti una relazione di calcolo in cui si dimostri che la progettazione del sistema edificio-impianto è avvenuta tenendo conto di tutti i parametri che influenzano il comfort e che ha raggiunto almeno i valori di PMV e PPD richiesti per ottenere la **classe B** secondo la norma ISO 7730:2005. Tale relazione deve inoltre includere una descrizione delle caratteristiche progettuali volte a rispondere ai requisiti sui ponti termici.

AMBIENTI CALDI OUTDOOR

REGOLE GENERALI

Le procedure, che è sempre opportuno siano scritte, sono un insostituibile elemento di gestione di condizioni di esposizione:

- tecnicamente non controllabili (es.: l'esposizione a condizioni estreme in luoghi all'aperto);
 - ad alto rischio potenziale, se non affrontate con la dovuta attenzione.
- Relativamente a questi due aspetti, risulta importante **la formalizzazione di procedure per lavori all'aperto, in quota (es.: in edilizia) o isolati (es.: in agricoltura).**

In questi casi, ove le lavorazioni vengono eseguite anche in pieno sole durante la stagione estiva, è importante **definire le condizioni limite** per l'effettuazione delle attività più a rischio. Ciò può essere fatto utilizzando i dati termogrametrici della zona, associati a dati indicativi per la temperatura radiante $t_r = 75^\circ\text{C}$ per lavori agricoli, $t_r = 80^\circ\text{C}$ per lavorazioni edili (che possono essere svolte in vicinanza di materiali moderatamente riflettenti). L'indicazione che si fornisce è quella di evitare esposizioni di durata prossima alla durata limite (tempo massimo) calcolata dal software PHS per le condizioni ambientali valutate, e comunque **escludere l'attività quando la durata limite dell'esposizione calcolata dal software PHS (tempo massimo) risulta inferiore a 30 minuti.**

ORGANIZZAZIONE DEL LAVORO

Rendere disponibile sui luoghi di lavoro un termometro ed igrometro;

Programmare i lavori più faticosi in orari con temperature favorevoli (ad esempio la mattina presto o nel tardo pomeriggio - sera)



Programmare pause in un luogo possibilmente fresco e comunque in aree ombreggiate. Le pause non vanno lasciate alla determinazione del singolo lavoratore ma devono essere programmate per garantire la sicurezza del lavoratore;

Laddove possibile prevedere lavorazioni all'ombra o al chiuso nelle ore più calde altrimenti sospendere i lavori

Prevedere un programma di acclimatamento per i lavoratori alle condizioni termiche di esercizio con lo scopo di migliorare la loro capacità di lavorare in ambienti caldi: aumentare gradualmente l'esposizione del lavoratore alle condizioni termiche in un arco temporale compreso tra 7 e 14 gg:

- Per lavoratori che non hanno esperienza con il lavoro da effettuare: la durata dell'esposizione del 1 giorno non deve superare il 20% della durata usuale giornaliera; nei giorni successivi l'incremento dell'esposizione non deve superare il 20%;
- Per i lavoratori che hanno esperienza con il lavoro da effettuare: la durata dell'esposizione del 1 giorno non deve superare il 50% della durata usuale giornaliera, il 60% il secondo giorno, l'80% il terzo giorno per arrivare al 100% il quarto giorno.

Laddove possibile programmare una rotazione nel turno fra i lavoratori esposti;

Organizzare il lavoro in modo tale che in condizioni particolarmente a rischio vi siano almeno due lavoratori;

Programmare i turni di lavoro dei lavoratori maggiormente "vulnerabili" nelle ore meno calde con pause programmate più lunghe oppure la sospensione dal lavoro;

Garantire sempre sul posto di lavoro la disponibilità di :

- ✓ acqua potabile con eventuale aggiunta di sali minerali;
- ✓ acqua per il rinfrescamento dei lavoratori durante le pause
- ✓ divieto di assunzione di bevande alcoliche

INFORMAZIONE /FORMAZIONE

Informare i lavoratori su:

- ✓ Possibili problemi di salute causati dal calore e le procedure da seguire per ridurre il rischio di insorgenza (bere acqua, monitorare il colore e la quantità delle urine etc);
- ✓ Condizioni di suscettibilità individuale
- ✓ Segni e sintomi premonitori;



- ✓ Opportunità di consultare il medico competente o il proprio medico di fiducia su eventuali modifiche/sospensioni dei trattamenti farmacologici in corso;
- ✓ “Modalità” di lavoro appropriate (turni di lavoro, necessità di idratazione, pause etc.);
- ✓ Quali procedure seguire nel caso un lavoratore presentasse sintomi compatibili con le patologie da caldo, incluse le procedure di emergenza;
- ✓ Come utilizzare i dati meteo;
- ✓ Come rispondere agli avvisi meteo;

Formazione specifica degli addetti al Primo Soccorso aziendali su:

- ✓ possibili problemi di salute causati dal calore;
- ✓ segni e sintomi premonitori;
- ✓ nozioni di primo soccorso
- ✓ condizioni di suscettibilità individuale

DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE ED INDUMENTI DA UTILIZZARE DURANTE IL LAVORO

- ✓ mettere a disposizione idonei dispositivi di protezione individuale ed indumenti protettivi quali cappelli a tesa larga e circolare per la protezione del capo, orecchie, naso e collo;
- ✓ occhiali per protezione dai raggi solari;
- ✓ creme protettive solari SOLO SU INDICAZIONE MEDICA;
- ✓ abiti leggeri di tessuto traspirante (cotone);
- ✓ scarpe di sicurezza /protezione di modello estivo

AGRICOLTURA ED EDILIZIA

È consigliabile che sia le aziende agricole, da quelle di grandi dimensioni a quelle a gestione familiare, che le imprese edili, predispongano un adeguato piano di risposta al calore, a vantaggio sia del datore di lavoro che dei dipendenti.

Per ciascuna attività/fase lavorativa dovrebbero essere identificate procedure di sicurezza, singole o combinate, che andranno poi tradotte in azioni specifiche, e misure di protezione che i lavoratori possono intraprendere quando le temperature diventano eccessive. Le informazioni dovrebbero raggiungere i lavoratori per tempo, all’inizio della stagione estiva, e promemoria periodici dovrebbero essere loro indirizzati nel corso della stagione stessa.

È importante sottolineare che i lavoratori devono avere il tempo di acclimatarsi al calore.



Sono necessari alcuni giorni per l'acclimatazione; il tempo necessario varia sulla base delle condizioni fisiche e dell'eventuale esposizione pregressa a temperature elevate nei giorni o nelle settimane precedenti, tuttavia è necessaria almeno una settimana perché i lavoratori si adattino al caldo eccessivo.

Restare idratati è fondamentale per il mantenimento della salute e della produttività; tuttavia generalmente i lavoratori non riescono a reidratarsi giorno per giorno.

Evidenze recenti mostrano come oltre il 50% dei lavoratori, sia nel settore agricolo, che in quello delle costruzioni, arrivi già al lavoro con uno stato di idratazione inadeguato. Ciò è problematico, poiché l'esposizione al calore combinata con la disidratazione pregiudica notevolmente le prestazioni cognitive e fisiche, aumentando lo stress termico. **Iniziare il lavoro già in stato di disidratazione comporta un aumento del rischio di sviluppare malattie da calore, danni renali e una riduzione delle prestazioni.** Per ovviare a ciò, i lavoratori dovrebbero bere almeno 500-750 ml (due/tre bicchieri di acqua) prima di iniziare il lavoro, un'analoga quantità d'acqua durante la pausa a metà giornata e dopo il lavoro, e per ogni ora di lavoro svolta.

In condizioni di stress i lavoratori possono valutare il proprio stato di idratazione controllando la quantità e il colore dell'urina emessa: si è in buono stato di idratazione se si avverte lo stimolo a urinare una volta ogni due o tre ore e se l'urina è di colore chiaro. Se la sudorazione è copiosa, dovrebbero essere reintegrati con la dieta i sali persi, tuttavia, i lavoratori ipertesi o affetti da altre malattie cardiovascolari o altre condizioni di suscettibilità dovrebbero seguire questa raccomandazione solo dopo aver sentito il parere del medico.

Pause aggiuntive (ad esempio 1-2 minuti, ogni 30 minuti) **possono essere pianificate e incluse senza compromettere il tempo di lavoro effettivo.**

È stato infatti dimostrato che inserire pause di lavoro programmate durante i periodi di caldo migliora la salute e il benessere dei lavoratori e non causa perdite di produttività. Questo perché in condizioni di caldo eccessivo i lavoratori lavorano più lentamente e fanno pause non pianificate più frequenti, mentre l'introduzione di pause programmate consente loro di abbassare la temperatura e limitare il surriscaldamento corporeo. **Le pause programmate dovrebbero avere luogo in aree ombreggiate e ampiamente ventilate.**

Sebbene l'utilizzo di aria condizionata sia il metodo più efficace per ridurre lo stress da calore ambientale, il costo per il suo utilizzo è spesso proibitivo, non può comunque essere effettuato all'aperto e comporta effetti negativi per l'ambiente.

Tuttavia, possono essere previste specifiche "oasi di raffreddamento" in stanze di limitate dimensioni o azionando l'aria condizionata nelle auto dei lavoratori.



L'efficienza del condizionamento dell'aria può essere ulteriormente migliorata combinando questo con la ventilazione e limitando la quantità e/o lo spessore degli indumenti indossati negli spazi di raffreddamento, nel qual caso è sufficiente portare la temperatura dell'aria a ~ 26-28 ° C.

Gli interventi di raffreddamento possono essere applicati durante le pause per ridurre ulteriormente lo stress da calore e migliorare le prestazioni del lavoratore.

Diversi interventi si sono dimostrati efficaci nel ridurre lo stress termico e migliorare le prestazioni durante le pause periodiche programmate. Questi includono immergere le braccia fino al gomito in vasche di acqua fresca; ingerire acqua fresca, ghiaccio grattato a neve o granite; avvolgere del ghiaccio in asciugamani e con questi rinfrescarsi il collo; sedersi di fronte a un ventilatore dopo essersi bagnati la cute; indossare giubbotti di raffreddamento che utilizzano materiale a cambiamento di fase (cioè gilet riempiti con gel di raffreddamento o ghiaccio).

Va notato che ciascuno di questi interventi è caratterizzato da efficacia, costi e fattibilità variabili e i datori di lavoro dovrebbero prendere in considerazione quelli maggiormente applicabili in relazione all'ambiente di lavoro ed alle caratteristiche individuali dei propri dipendenti.

AMBIENTI CALDI INDOOR INTERVENTI TECNICI

Per ridurre il calore endogeno prodotto in seguito all'attività lavorativa:

- Fornire al lavoratore le attrezzature necessarie per limitare le attività lavorative pesanti;
- Meccanizzare il più possibile le fasi lavorative che richiedono impegno muscolare e fisico del lavoratore.

Per ridurre il carico radiante:

- Posizionare schermi protettivi fra il lavoratore e la sorgente radiante (semplici superfici riflettenti o riflettenti ed assorbenti);
- Ridurre, laddove possibile, l'emissività della superficie calda della sorgente radiante rivestendola con del materiale isolante
- Nel caso di temperatura dell'aria minore della temperatura media della pelle (35°C) si può cercare di aumentare il movimento dell'aria sulla superficie della pelle aumentando la ventilazione;
- Nel caso di temperatura dell'aria maggiore della temperatura media della pelle (35°C) è necessario raffreddare l'aria immettendo aria fredda.



- Ridurre l'umidità può contribuire a migliorare l'evaporazione del sudore del lavoratore.

ORGANIZZAZIONE DEL LAVORO:

- ✓ Prevedere un programma di acclimatamento per i lavoratori alle condizioni termiche di esercizio con lo scopo di migliorare la loro capacità di lavorare in ambienti caldi: aumentare gradualmente l'esposizione del lavoratore alle condizioni termiche in un arco temporale compreso tra 7 e 14 gg
- ✓ Per lavoratori che non hanno esperienza con il lavoro da effettuare: la durata dell'esposizione del 1 giorno non deve superare il 20% della durata usuale giornaliera; nei giorni successivi l'incremento dell'esposizione non deve superare il 20%;
- ✓ Per i lavoratori che hanno esperienza con il lavoro da effettuare: la durata dell'esposizione del 1 giorno non deve superare il 50% della durata usuale giornaliera, il 60% il secondo giorno, l'80% il terzo giorno per arrivare al 100% il quarto giorno;
- ✓ Quando possibile, prevedere/pianificare le lavorazioni più pesanti nelle prime ore del mattino, nel tardo pomeriggio oppure organizzare turni di notte e/o organizzare le lavorazioni in giorni alterni invece che successivi;
- ✓ Ridurre la durata delle esposizioni all'ambiente severo caldo: meglio esposizioni brevi e frequenti piuttosto che esposizioni di lunga durata.
- ✓ Aumentare la forza lavoro per ridurre i tempi di esposizione ed aumentare le pause.
- ✓ Prevedere spazi con aria condizionata per il recupero dei lavoratori;
- ✓ Incoraggiare il lavoratore a bere frequentemente per integrare i liquidi persi. Mettere a disposizione bottiglie di acqua.

DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE ED INDUMENTI DA UTILIZZARE DURANTE IL LAVORO

Nel caso di presenza di sorgenti radianti dotare il lavoratore di abbigliamento riflettente, fargli coprire le parti del corpo esposte a radiazione infrarossa.

INFORMAZIONE /FORMAZIONE

Per tutti i lavoratori ed i preposti che devono effettuare delle lavorazioni al caldo dovrebbe essere previsto un corso di addestramento allo stress termico. I contenuti del corso dovrebbero riguardare la prevenzione ed il primo soccorso in caso di presenza di patologie dovute al caldo. La parte di prevenzione ha come



scopo quello di far riconoscere i segnali ed i sintomi delle patologie dovute al caldo in modo da mettere in atto il primo soccorso e le opportune procedure correttive/di emergenza in tempi brevi. Il datore di lavoro dovrebbe quindi provvedere a formare le varie figure coinvolte nelle lavorazioni in ambienti caldi fornendo corsi che affrontino le seguenti tematiche:

- ✓ Il riconoscimento dei segnali e sintomi delle diverse patologie da caldo quali ad esempio: crampi, sincope da calore, eruzioni cutanee, colpo di calore;
- ✓ Le cause delle patologie da caldo e le procedure da seguire per ridurre il rischio di insorgenza (bere acqua, monitorare il colore e la quantità delle urine etc);
- ✓ Il corretto uso ed il corretto modo di conservare l'abbigliamento protettivo contro il caldo;
- ✓ L'effetto di fattori esterni non legati all'attività lavorativa (alcol, droghe, obesità etc.) sulla tolleranza allo stress termico e le condizioni di suscettibilità individuale;
- ✓ L'importanza dell'acclimatamento;
- ✓ L'importanza di segnalare immediatamente al preposto, per sé o per un collega, l'insorgere di sintomi e segnali legati alle patologie da caldo;
- ✓ Le procedure di emergenza che il datore di lavoro deve mettere in atto in caso di insorgenza di sintomi da patologie da caldo (chiamare il 118....)

Inoltre, in aggiunta agli argomenti illustrati, il preposto dovrebbe essere formato su:

- ✓ Come si può sviluppare adeguatamente e correttamente l'acclimatamento di un lavoratore;
- ✓ Quali procedure seguire nel caso un lavoratore presentasse sintomi compatibili con le patologie da caldo, incluse le procedure di emergenza;
- ✓ Come monitorare i rapporti/bollettini meteo;
- ✓ Come rispondere agli avvisi meteo;
- ✓ Come monitorare e incoraggiare l'assunzione di liquidi e le pause.

AMBIENTI FREDDI

ORGANIZZAZIONE DEL LAVORO

- ✓ definire turni di lavoro solo nel periodo diurno (dalle 8 alle 17);
- ✓ predisporre periodi di pausa in ambienti confortevoli diversi da quelli dove si svolgono le attività lavorative;
- ✓ predisporre ove possibile ripari dal vento e dalla pioggia;



- ✓ al comparire di sintomi quali giramenti di testa, difficoltà di concentrazione, spossatezza, bruciore alla pelle interrompere le attività e portarsi all'interno di un luogo confortevole;
- ✓ in caso di sforzo fisico, asciugarsi regolarmente il sudore;

INTERVENTI TECNICI

Nei luoghi di lavoro evitare perdite di acqua che possano portare alla formazione di lastre di ghiaccio

INFORMAZIONE/FORMAZIONE

Informare e formare i lavoratori su:

- ✓ possibili problemi di salute causati dal freddo;
- ✓ segni e sintomi premonitori;
- ✓ condizioni di suscettibilità individuale;
- ✓ modalità appropriate di lavoro
- ✓ al comparire di sintomi quali giramenti di testa, difficoltà di concentrazione, spossatezza, bruciore alla pelle necessità di interrompere le attività e portarsi all'interno di un luogo confortevole;
- ✓ in caso di sforzo fisico, asciugarsi regolarmente il sudore;

DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE ED INDUMENTI DA UTILIZZARE DURANTE IL LAVORO

- ✓ fornire ai lavoratori DPI antifreddo per il corpo e per il capo conformi alla norma UNI EN 342:2004 e per le mani conformi alla norma UNI EN 511:2006;
- ✓ fornire ai lavoratori DPI antifreddo per i piedi con grado di protezione CI per il freddo e WR per l'acqua secondo norma UNI EN 20345:2012 (e con protezione meccanica in funzione della tipologia di rischio);
- ✓ fornire ai lavoratori DPI per la protezione dalla pioggia conformi alla norma UNI EN 343:2008;
- ✓ indossare berretti antifreddo (se necessario al di sotto del casco antinfortunistico);
- ✓ l'abbigliamento per il freddo non deve essere stretto e deve essere traspirante per consentire la dispersione del sudore eventualmente accumulato;

4. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro si sono discussi gli strumenti disponibili on line sul Portale Agenti Fisici che consentono di valutare e controllare il rischio da microclima negli scenari espositivi più diffusi in ambito indoor ed outdoor. È auspicabile



che la diffusione dell'impiego di tali strumenti tra i soggetti deputati alla prevenzione contribuisca al superamento delle principali criticità al momento riscontrabili ai fini della prevenzione e protezione dei lavoratori in attività ove tale rischio è rilevante, anche in considerazione dell'incremento espositivo già riscontrabile di soggetti particolarmente sensibili al rischio.

Lo sviluppo della sezione microclima del PAF ha posto particolare accento su tali aspetti, in considerazione del fatto che il nostro paese si trova in un'area geografica che, per effetto del cambiamento climatico, è interessata da una maggior frequenza e intensità delle ondate di calore, e nel contempo l'età media dei lavoratori è in progressivo aumento: dalla letteratura scientifica è noto che gli effetti del caldo aumentano proprio all'aumentare dell'età (1,2); pertanto è indispensabile che il rischio microclima, con particolare riferimento alle possibili situazioni meteorologiche estreme, sia attentamente preso in esame in tutte le attività lavorative indoor ed outdoor.



BIBLIOGRAFIA

- [1] INAIL Valutazione del microclima; 2018 on line sul Portale Agenti Fisici
https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_documentazione.php?lg=IT
- [2] McGregor, G.R.; Bessemoulin, P.; Ebi, K.L.; Menne, B. Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. WMO-No. 1142; Publisher: World Meteorological Organization and World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2015; ISBN 978-92-63-11142-5. on line sul Portale Agenti Fisici
https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_documentazione.php?lg=IT
- [3] Comitato Regionale di Coordinamento ex art 7 D.lgs 81/08 Il Rischio da Temperature Elevate Nei Cantieri Edili: Gli Effetti Del Caldo Sulla Salute (2018) on line sul Portale Agenti Fisici
https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_documentazione.php?lg=IT
- [4] 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
- [5] EN ISO 28803:2012 Ergonomics of the physical environment - Application of international standards to people with special requirements. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [6] 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.
- [7] UNI EN ISO 8996:2005 Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione del metabolismo energetico
- [8] UNI EN ISO 9920:2009 Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dell'isolamento termico e della resistenza evaporativa

dell'abbigliamento

- [9] EN 16798-1: 2017 Energy performance of buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics
- [10] EN 16798-2: 2012 Energy performance of buildings - Part 2: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - Module M1-6 - Technical report - Interpretation of the requirements in EN 16798-1
- [11] UNI EN ISO 7243:2017: “Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dello stress da calore utilizzando l’indice WBGT (temperatura globo del bulbo bagnato)
- [12] 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”.
- [13] UNI EN ISO 13732 -3: 2006 Ergonomia degli ambienti termici - Metodi per la valutazione della risposta dell'uomo al contatto con le superfici - Parte 3: Superfici fredde
- [14] Coordinamento Tecnico per la sicurezza 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 - Linee Guida In collaborazione con ISPESL(2005) on line sul Portale Agenti Fisici https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_documentazione.php?lg=IT
- [15] UNI EN 511: 2006 Guanti di protezione contro il freddo.

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

STRATEGIE DI VALUTAZIONE DEL MICROCLIMA NEGLI AMBIENTI PRODUTTIVI E ASSIMILABILI

Alessandro Merlino⁽¹⁾, Gianluca Gambino⁽¹⁾, Daniele Meda⁽¹⁾, Gabriele Quadrio⁽¹⁾

⁽¹⁾ CeSNIR, Villasanta (MB)

1 – INTRODUZIONE

È noto che rispetto al microclima il legislatore impone di valutare gli effetti sul comfort o quelli sulla salute dei lavoratori, a seconda dei casi. La valutazione del rischio microclima in ogni ambiente di lavoro deve pertanto essere preceduta da una corretta individuazione degli obiettivi di prevenzione che devono essere raggiunti.

Evidentemente le condizioni che garantiscono di preservare il comfort sono diverse rispetto a quelle indirizzate a limitare gli eventuali rischi per la salute, così come le misure di riduzione risultano più o meno praticabili, più o meno onerose, a seconda dell'obiettivo di prevenzione.

Questa doppia corsia per la valutazione dei rischi occupazionali è ben delineata per alcuni agenti (il rumore ad esempio, ma anche la qualità dell'aria) mentre per quanto riguarda il microclima stenta a trovare una definizione condivisa dai diversi attori che hanno un ruolo nella gestione della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro: lavoratori, datori di lavoro e organi di controllo.

Con questo lavoro si intende contribuire alla ricerca di un metodo accettabile da tutte le parti, rispettoso dei principi generali di prevenzione e protezione della salute sul lavoro e realisticamente attuabile nella pratica quotidiana dell'igiene industriale.

2 – FATTORI DI DISCOMFORT E FATTORI DI RISCHIO

Con il progresso delle condizioni di vita si è andata delineando sempre meglio l'idea che la valutazione delle condizioni di salute nei luoghi di lavoro debba concernere anche il comfort del lavoratore.

Gli effetti rispetto ai quali porre una tutela a favore dei lavoratori oggi infatti comprendono:

- gli effetti avversi alla salute, ovvero patogeni e cioè responsabili del deperimento delle condizioni fisiche dei lavoratori,
- quegli effetti sulla salute che, per quanto non avversi, incidono su specifiche condizioni di comfort, considerate indispensabili per l'esecuzione di determinati compiti lavorativi.

Un esempio di questa distinzione concerne l'esposizione dei lavoratori al rumore, fenomeno per il quale il legislatore distingue il caso in cui può indurre effetti avversi per la salute (ipoacusie), dal caso in cui può comportare effetti sul comfort. Il primo caso è trattato al Capo II del Titolo VIII (Agenti Fisici, "Protezione dei lavoratori contro i rischi di esposizione al rumore durante il lavoro") e il secondo al Titolo VII ("Attrezzature Munite di Videoterminali"). Nel primo caso il legislatore prescrive il rispetto di precisi limiti, mentre nel secondo, per mezzo dell'Allegato XXXIV, prescrive che il rumore emesso dalle attrezzature presenti nel posto di lavoro non perturbi l'attenzione e la comunicazione verbale.

In generale, nel contesto di una valutazione dell'esposizione ad uno specifico agente o sostanza, distinguere tra effetti avversi sulla salute ed effetti sul comfort impone di ricorrere a criteri diversi e studiati *ad-hoc* per la conduzione di quella che è genericamente chiamata valutazione dei rischi.

3 – DETERMINAZIONE DEGLI OBIETTIVI PROTEZIONISTICI

La definizione degli obiettivi di prevenzione e protezione, declinati come tutela dagli effetti avversi per la salute oppure come tutela dai discomfort, si profila come un atto prioritario nel processo della valutazione complessiva sulla salute dei lavoratori e l'esito di questa operazione preliminare è determinante nel definire come si svolgerà il resto del processo. Con la definizione di tali obiettivi sono infatti stabiliti i criteri con cui svolgere l'accertamento sulle condizioni di salute, nonché i valori di riferimento (valori obiettivo o limiti veri e propri) con cui confrontare le grandezze eventualmente oggetto di accertamento.

La determinazione dell'obiettivo da raggiungere non può infatti seguire principi opportunistici, ma dev'essere aprioristica e valutata preliminarmente sulla base dell'analisi del contesto lavorativo. Se la valutazione complessiva dei possibili effetti sul comfort/sulla salute dei lavoratori ha esito negativo, diventa necessario definire opportune azioni di riduzione e/o risanamento delle esposizioni ed aver individuato il più corretto criterio di valutazione

(comfort o stress) costituisce un fattore determinante nell'accettazione di queste misure da parte dei lavoratori e del datore di lavoro.

Definito lo scenario in cui la valutazione si svolgerà, nessuna rimodulazione degli obiettivi di questa dovrebbe essere concessa o pretesa, evitando di introdurre un principio opportunistico nella valutazione stessa.

Questo significa che se la valutazione concerne il comfort, non si potrà accogliere l'idea che, se sono emersi dei fattori di discomfort, questi si debbano tollerare in virtù dell'eventuale assenza di fattori di rischio. La **presenza di fattori di discomfort** non potrà che comportare un programma di riduzione di questi e non ci potrà essere spazio per una sostituzione di detta valutazione con una sui fattori di rischio per la salute, riferita quindi ai possibili effetti avversi, dal momento che quest'ultima non risulta applicabile al caso in esame (oltre che tautologicamente verificata).

Viceversa, se la valutazione concerne gli effetti avversi per la salute, l'eventuale **assenza di fattori di rischio**, attestante la corretta tutela da detti effetti, non costituirà un *via libera* ad una valutazione sui fattori di comfort, dal momento che ora è quest'ultima a risultare inapplicabile. Si aggiunge che avviare forzosamente una valutazione sui possibili discomfort in un tale contesto avrebbe la probabile conseguenza di invertire l'esito della valutazione (da positivo a negativo), conducendo ad un'errata valutazione del rischio per sovrastima di questo ed alla delineaazione di pesanti e costose iniziative di risanamento (quando addirittura inattuabili) che in realtà sono inutili.

Per tornare all'esempio del rumore, è più che condivisa l'opinione che un ambiente produttivo con livelli di esposizione inferiori a 80 dBA sia da considerare a basso livello di rischio e nessuno obietterebbe che siano da perseguire gli obiettivi di comfort acustico (che, come minimo, imporrebbero bassi tempi di riverberazione e livelli di rumore sotto i 60 dBA); il rischio è semplicemente dato per trascurabile e la sua gestione è ridotta al minimo nell'agenda dei lavori dei responsabili della salute e sicurezza aziendali. Ciò non di meno, negli uffici dello stesso sito industriale non potrebbe essere tollerato un livello di esposizione di 75 dBA, pur rimanendo questo un livello che rende nullo il rischio di ipoacusie, perché il lavoro che si svolge in tali ambienti richiede che siano soddisfatte condizioni di comfort acustico affinché la salute degli impiegati sia adeguatamente tutelata.

Tuttavia, come meglio sarà illustrato più avanti, per quel che concerne il microclima, non è raro che la valutazione del rischio sia compiuta perseguendo obiettivi di comfort, oltre che negli uffici, anche in ambienti produttivi, candidando la valutazione ad un esito negativo per il quale sarà difficile, quando non impossibile, trovare delle soluzioni di risanamento. Un approccio siffatto rischia di comportare la paralisi del Servizio di Prevenzione e Protezione che si trova di fronte a una non conformità per la

quale sembrerà che non sia possibile attuare alcuna efficace misura di riduzione. A nostro avviso questa modalità di valutazione, come illustreremo nel seguito, ha un vizio di procedura che consiste nella errata individuazione degli obiettivi protezionistici. Questi devono essere innanzitutto individuati nella tutela da eventuali condizioni di stress termico (fatta salva ogni più restrittiva valutazione a tutela dei soggetti particolarmente sensibili al rischio).

4 – IL MICROCLIMA NEL TESTO UNICO

Il legislatore fornisce criteri di valutazione del microclima in ben tre titoli del D.Lgs 81/08: al **Titolo II** ("Luoghi di lavoro"), al **Titolo VII** ("Attrezzature munite di videoterminale") e al **Titolo VIII** ("Agenti fisici").

Il **Titolo II** si applica a tutti i luoghi di lavoro indistintamente e fornisce dei requisiti primari da soddisfare, riassumibili con l'indicazione di far sì che la **temperatura** dei locali di lavoro sia *adeguata all'organismo umano, tenuto conto dei metodi di lavoro e degli sforzi fisici imposti ai lavoratori* e senza trascurare il *grado di umidità* e il *movimento dell'aria*. Si deve prestare attenzione che il legislatore, pur nel contesto di queste prescrizioni a carattere generale, impone anche la più puntuale misura che gli impianti di ventilazione o condizionamento non diano luogo a correnti d'aria fastidiose per i lavoratori.

Il **Titolo VII** si rivolge invece ai "posti di lavoro al videoterminale" (uffici per lo più, ma anche sportelli, reception, casse, ...). In questo caso il legislatore impone al datore di lavoro di analizzare le *condizioni ergonomiche e di igiene ambientale delle postazioni di lavoro* (art. 174) e di *rispettare dei requisiti minimi in dette postazioni, che illustra all'allegato XXXIV. Per il microclima, al punto 2), lettera e) prescrive che le condizioni microclimatiche non siano causa di discomfort per i lavoratori*.

Il **Titolo VIII** prende in considerazione tutti i rischi derivanti da esposizione agli agenti fisici, tra cui il microclima (individuato, insieme agli altri, dall'art. 180 "Definizioni e campo di applicazione"). In questo caso le richieste del legislatore si fanno più rigide. Al posto di riferirsi a temperature adeguate, correnti d'aria fastidiose, condizioni ergonomiche, fa riferimento al rispetto di limiti di esposizione, a precisi obblighi di riduzione delle esposizioni, di formazione del personale e di sorveglianza sanitaria. Di fatto, con il titolo VIII intende agire nei confronti dei **rischi da stress termico** e dei loro possibili effetti avversi sulla salute dei lavoratori.

5 – VERIFICHE DI COMFORT O DI STRESS TERMICO?

La valutazione del microclima è compiuta il più delle volte seguendo una prassi suggerita da INAIL (INAIL, 2018) [8], secondo la quale è soggetto a valutazione di comfort termico ogni ambiente *non vincolato*, chiamato anche *moderabile*, mentre sono soggetti alle verifiche di stress termico solo gli

ambienti *vincolati*¹. Un'analoga suddivisione si trovava già nel documento a cura del Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro del 2006 [9].

Anche gli scriventi, come illustrato più sopra, condividono l'idea che la valutazione sul microclima si declini in valutazione sul *comfort termico* e valutazione sullo *stress termico* a seconda del contesto lavorativo, ma riteniamo che la determinazione sul tipo di valutazione da condurre non possa compiersi sulla base della semplice suddivisione degli ambienti di lavoro tra *vincolati* e *non vincolati*. La nostra esperienza ci insegna che ci sono diversi comparti nei quali si riscontrano ambienti di lavoro classificabili come *non vincolati* che non risultano tuttavia *moderabili*. È il caso degli ambienti produttivi (produzione industriale ma non solo), ma anche quello degli ambienti dedicati allo stoccaggio dei beni (magazzini e logistica), piuttosto che altri reparti a servizio di quelli produttivi (le officine per esempio). Indicheremo tutti questi ambienti come ***produttivi e assimilabili***.

Ritenere questi ambienti *moderabili* significa assumere che sia possibile climatizzarli, sia durante la stagione calda, sia durante quella fredda, senza considerare che, soprattutto per quel che concerne l'estate, qualunque iniziativa di climatizzazione potrebbe risultare irragionevole. La presenza di macchine, le spesso ampie volumetrie, i bassi requisiti di isolamento termico degli involucri degli edifici industriali e, nel caso dei magazzini, il ridotto numero di addetti normalmente impiegato, rendono infatti sconveniente, se non del tutto inattuabili, opere di climatizzazione estiva che consentano il raggiungimento del comfort per i lavoratori che svolgono la loro opera in detti ambienti.

In seconda istanza si deve considerare che nei contesti citati sopra è usuale che i compiti lavorativi degli addetti comportino un moderato o elevato sforzo fisico, frequenti e talvolta veloci spostamenti nell'ambiente di lavoro e un abbigliamento che, anche nella stagione calda, risulta coprente su tutto il corpo, talvolta composto di più strati, eventualmente comprensivo di guanti, elmetto e altri DPI.

Si valutino ora le implicazioni fisiologiche del garantire il comfort termico in un qualsiasi ambiente di vita o di lavoro: tale garanzia corrisponde a quella di **assicurare che il sistema di termoregolazione umana** dei soggetti esposti gestisca l'eccesso di calore con la sola vasodilatazione e **non attivi mai la sudorazione**. Tuttavia la sudorazione, se non è eccessiva, non comporta effetti avversi per la salute ed è anche il meccanismo più efficace

¹ INAIL definisce *vincolati* “gli 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”. Sono invece definiti *moderabili* “gli ambienti nei quali non esistono vincoli in grado di pregiudicare il raggiungimento di condizioni di comfort”.

di dissipazione del calore interno, per quanto pregiudichi senza dubbio il comfort.

Considerata in definitiva la difficoltà a garantire che il personale impiegato nei reparti *produttivi e assimilabili*, possa svolgere i propri compiti senza un surriscaldamento che attivi la sudorazione, riteniamo che in questi ambienti non sia pertinente una valutazione del livello di comfort termico (se non per casi specifici come i soggetti con particolare suscettibilità al rischio).

Nel caso in cui l'ambiente termico per uno o più lavoratori dovesse diventare particolarmente impegnativo, sarebbe semmai opportuno accertare che non si configuri una condizione termicamente stressante per l'organismo.

In questo caso la valutazione dovrebbe compiersi rispetto a possibili fattori di rischio per la salute, i pertinenti limiti diventerebbero mandatori e nessuna eccezione dovrebbe essere tollerata. L'eventuale superamento dei limiti pertinenti per lo specifico indice di stress termico imporrebbe infatti la più rapida ricerca di iniziative di riduzione. Risulterebbero inoltre da attuare le opportune valutazioni per individuare le più corrette tutele per gli eventuali soggetti particolarmente sensibili al rischio.

In conclusione, negli ambienti di lavoro *produttivi* e in quelli a questi *assimilabili* la valutazione del microclima deve essere condotta, a nostro avviso, ricorrendo agli indici di stress termico, oppure senza alcun accertamento tecnico se, sulla base di una valutazione preliminare, si può ragionevolmente ritenere che il microclima non conduca a situazioni termicamente stressanti per i lavoratori, inclusi i soggetti particolarmente sensibili (configurandosi così come un'esposizione *giustificabile*, ex art. 181, comma 3 del D.Lgs 81/08).

L'accertamento dei livelli di comfort risulta invece pertinente per la valutazione del microclima degli ambienti di lavoro *indoor*, secondo l'accezione fornita dalle norme tecniche della serie ISO 16 000 concernenti le verifiche sulla qualità dell'aria degli ambienti di lavoro. In questo contesto sono definiti *indoor* gli "ambienti non soggetti alle prescrizioni indirizzate alla tutela dei lavoratori contro gli effetti derivanti dall'esposizione a sostanze nocive" evidentemente estensibile ad una formulazione come la seguente "ambienti non soggetti alle prescrizioni indirizzate alla tutela dei lavoratori contro gli effetti derivanti dall'esposizione a sostanze e agenti nocivi". A questo proposito si fa notare che lo stesso legislatore ricorre al termine *discomfort* solo nel Titolo VII ("Attrezzature munite di videoterminale").

Concludiamo questo paragrafo ricordando quali sono i metodi e gli indici a disposizione per la valutazione del microclima negli ambienti sottoposti a verifica di comfort e in quelli sottoposti a verifica di stress termico:

- comfort termico

- indici PMV e PPD, norma tecnica UNI EN ISO 7730:2006 [4] *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*
- stress termico da caldo
 - indice WBGT, norma tecnica UNI EN ISO 7243:2017 [7] *Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dello stress da calore utilizzando l'indice WBGT (temperatura globo del bulbo bagnato)*
 - metodo PHS, norma tecnica 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* [2]
 - valutazioni fisiologiche, norma tecnica UNI EN ISO 9886:2004 *Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche* [1]
- stress termico da freddo
 - indice IREQ, norma tecnica UNI EN ISO 11079:2008 *Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione ed interpretazione dello stress termico da freddo con l'utilizzo dell'isolamento termico dell'abbigliamento richiesto (IREQ) e degli effetti del raffreddamento locale.*

6 – VALUTAZIONI MULTI-INDICE

Anche aderendo alla proposta fatta sopra, ovvero di condurre l'eventuale accertamento sul microclima negli ambienti *produttivi e assimilabili* solo mediante indici di stress termico, esistono dei casi dove, pur volendo valutare le condizioni di stress, possono risultare utili gli indici di comfort. Si tratta degli ambienti produttivi a basso tenore di stress termico, quando sia incerta la *giustificabilità* degli stessi ex art. 181, c. 3, del D.Lgs 81/08. In questi casi può essere utile ricorrere a verifiche di comfort termico a patto di considerare accettabili anche valori che oltrepassano i *valori obiettivo* normalmente assunti per verificare il soddisfacimento delle condizioni di comfort. L'indice di riferimento in questi casi è quello denominato PMV (cfr. norma tecnica UNI EN ISO 7730:2006) e si ritengono verificate le condizioni di comfort se assume valori compresi nell'intervallo $-0.5 \div +0.5$ (al più $-0.7 \div +0.7$, per gli ambienti con i requisiti più bassi). Se si sceglie di adottare questo indice per verificare l'adeguatezza di un ambiente produttivo nel quale, per i motivi detti sopra, un certo discomfort risulta ineliminabile,

occorre individuare dei valori obiettivo meno restrittivi e che ammettano anche un determinato discomfort tra gli esiti accettabili.

Si precisa inoltre che una valutazione mediante l'indice di comfort PMV è altresì utile anche nel contesto di un accertamento di stress termico allo scopo di verificare se vi possano essere delle condizioni di lavoro termicamente troppo severe per lavoratori con particolari suscettibilità al rischio.

Riteniamo che offra questo spunto la norma tecnica UNI EN ISO 15265 del 2005 (illustrata sotto) che propone una valutazione multi-indice, coniugando opportunamente gli esiti delle valutazioni eseguite a mezzo degli indici di comfort e quelli delle valutazioni eseguite a mezzo di quelli di stress.

7 – LA NORMA TECNICA UNI EN ISO 15265:2005

La norma UNI EN ISO 15265:2005 [3] *Strategia di valutazione del rischio per la prevenzione dello stress o del disagio termico in condizioni di lavoro* è raramente assunta tra i riferimenti normativi nell'ambito delle valutazioni del rischio microclima. Ci preme portarla all'attenzione di chi si occupa di questo fattore di rischio nei luoghi di lavoro perché a nostro avviso offre una soluzione al problema metodologico delineato sopra.

La norma propone un approccio in tre fasi:

- 1) Osservazione (*observation*): fase condotta internamente all'azienda mediante audit e senza avviare misurazioni dei parametri fisici in gioco
- 2) Analisi (*analysis*): fase condotta mediante il supporto di personale con specifiche competenze in materia e con la conduzione delle misurazioni necessarie per la quantificazione degli indici di comfort termico e stress termico
- 3) Perizia (*expertise*): fase condotta mediante il supporto di personale con specifiche ed elevate competenze in materia, indirizzata alla valutazione di circostanze lavorative molto complesse dal punto di vista del microclima e con la conduzione di speciali e/o sofisticate campagne di misurazione.

All'interno di questo quadro, gli accertamenti tecnici che il più delle volte le aziende commissionano a studi/ditte specializzate, si configurano come *analisi*, considerato che si svolgono normalmente mediante la conduzione di misure microclimatiche indirizzate a determinare i valori dei diversi indici di comfort e stress termico, senza la necessità di attivare procedure più sofisticate visto che, nella maggior parte dei casi, sono assenti circostanze lavorative di grande complessità in relazione al microclima².

² Esempi di casi di particolare complessità sono quelli dove i lavoratori devono utilizzare uno speciale abbigliamento protettivo che non consente di condurre l'accertamento mediante le procedure standardizzate basate sulla determinazione dell'ambiente termico, ma occorre ricorrere alla misurazione di parametri fisiologici per accertare l'entità del rischio.

Rimanendo pertanto sulla fase denominata *analisi*, la norma indica che questa si deve condurre con una valutazione multi-indice delle condizioni microclimatiche per giungere a una classificazione del rischio che individua nove possibili categorie (cfr. tabella 7 nella norma, riportata qui sotto). Queste spaziano da quella in cui a causa del freddo si hanno tempi limite di permanenza inferiori ai 30 minuti, a quella in cui lo stesso tempo limite è dettato dal caldo.

Tabella 1: Classi di rischio secondo la UNI EN ISO 15265

Class	Criteria
Immediate constraint	$DLE < 30 \text{ min}$
Constraint in the short term	$I_{\text{clr}} < IREQ_{\text{min}}$ and $DLE < 120 \text{ min}$
Constraint in the long term	$PMV < -2$ and $IREQ_{\text{min}} \leq I_{\text{clr}} \leq IREQ_{\text{neutral}}$
Cold discomfort	$-2 < PMV \leq -0,5$
Comfort	$-0,5 < PMV \leq +0,5$
Warm discomfort	$0,5 < PMV \leq 2$
Constraint in the long term	$DLE < 480 \text{ min}$
Constraint in the short term	$DLE < 120 \text{ min}$
Immediate constraint	$DLE < 30 \text{ min}$

I passaggi successivi alla classificazione del rischio prevedono di:

- determinare l'**accettabilità** delle condizioni di lavoro paragonando la durata media e massima di ogni attività con i tempi limite di esposizione (DLE);
- determinare le tecniche di prevenzione/controllo per ogni parametro fisico, così come la miglior organizzazione del lavoro;
- determinare il rischio residuo a posteriori delle iniziative di cui sopra e rivalutare l'accettabilità sempre comparando i nuovi tempi limite previsti (DLE) con l'effettiva durata di ogni attività;

- valutare se l'accertamento richiede il passaggio alla fase 3: "expertise";
- definire le misure di protezione nel breve periodo;
- definire i requisiti della sorveglianza sanitaria nel breve e nel lungo periodo.

Tornando quindi all'uso degli indici di comfort a supporto di quelli di stress per lo studio del microclima negli ambienti *produttivi e assimilabili*, sulla scorta del metodo definito dalla 15265, sopra brevemente accennato, riteniamo che in questi ambienti, si possano considerare accettabili esiti di PMV al di fuori degli intervalli di comfort, fino a coprire il range $-2 \div +2$, previa attenta verifica delle condizioni di ipersensibilità individuale o di disabilità termica delle lavoratrici e dei lavoratori, come riportato nella norma ISO 28803:2012.

Naturalmente un risultato accettabile rimane suscettibile di miglioramenti e la norma stessa afferma che l'oggetto di una valutazione dei rischi legati all'ambiente termico non sia rappresentato dalla mera quantificazione dei rischi ma dall'individuazione delle iniziative di prevenzione e protezione che consentono di eliminarli o almeno ridurli, approccio condiviso anche dagli scriventi.

8 – SOGGETTI PARTICOLARMENTE SENSIBILI AL RISCHIO

Nel contesto della valutazione dell'esposizione ad un agente di rischio il datore di lavoro deve valutare in modo specifico il caso dei soggetti con particolari sensibilità ad ogni specifico rischio. Di quest'obbligo ci sono numerosi richiami nel D.Lgs 81/08, tra i quali citiamo quello relativo agli agenti fisici, pertinente al caso dello stress termico e rappresentato dall'art. 183 "Lavoratori particolarmente sensibili": *Il datore di lavoro adatta le misure di cui all'articolo 182 [Disposizioni miranti ad eliminare o ridurre i rischi] alle esigenze dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio, incluse le donne in stato di gravidanza ed i minori.*

Quale supporto tecnico per la conduzione dell'accertamento indirizzato verso tali soggetti troviamo la norma UNI EN ISO 28803:2012 "Ergonomia degli ambienti fisici - Applicazione di norme internazionali alle persone con speciali necessità".

La norma puntualizza che le persone con requisiti speciali generalmente non rientrano nell'ambito di applicazione della maggior parte degli standard internazionali. Questi infatti sono spesso applicabili solo per le persone con caratteristiche specifiche che vengono spesso definite "normali" o "tipiche".

La stessa 7933 (metodologia PHS, stress termico da caldo) precisa che rimane compito della medicina occupazionale valutare il rischio individuale, prendendo in considerazione le caratteristiche specifiche del soggetto. Queste comprendono evidentemente corporatura, peso, età, genere ed

eventuali fattori che possono rendere il soggetto particolarmente sensibile al rischio. Quale ulteriore chiarimento è specificato quanto segue: “la norma non prevede la risposta fisiologica di singoli soggetti, ma prende in considerazione solo soggetti di riferimento in buona salute e adatti al lavoro che svolgono. È quindi destinata ad essere utilizzata da ergonomi, igienisti industriali, ecc. per valutare le condizioni di lavoro”.

La progettazione degli ambienti per una popolazione più ampia rispetto ai soli “soggetti di riferimento” può richiedere condizioni diverse da quelle indicate in uno standard, al fine di fornire comfort o evitare stress inaccettabili sul corpo di ogni possibile soggetto occupante l’ambiente in questione, compresi i soggetti con requisiti speciali. Questi includono sicuramente bambini, persone con disabilità e persone anziane, ma per taluni fattori ambientali o fattori di rischio, possono comprendere anche soggetti con specifiche patologie, corporatura o altri fattori individuali.

Tornando alla 28803, il titolo pertinente al nostro scopo è il 5: “Considerazioni relative alla progettazione e valutazione dell’ambiente termico” (i successivi concernono gli ambienti acustici, luminosi, la qualità dell’aria e le vibrazioni).

Sono innanzitutto elencati i fattori che richiedono una specifica considerazione nell’esecuzione di una valutazione del microclima e sono individuati nei seguenti:

- a) compromissione sensoriale e paralisi: questi fattori hanno effetto sulle sensazioni termiche e possono essere connessi con l’uso di medicinali, con l’età, con la gravidanza per le donne e con le disabilità fisiche.
- b) Differenze nelle forme del corpo: la perdita o l’atrofia di un arto, ad esempio, così come la ridotta corporatura (nanosomia) incidono sull’efficacia degli scambi termici per irraggiamento, convezione ed evaporazione.
- c) Compromissione della secrezione di sudore: questo fattore concerne le persone con delle paralisi corporee per le quali la frazione di pelle che può secernere sudore risulta ridotta (anche dell’80% nelle persone quadriplegiche).
- d) Compromissione del controllo vasomotorio: il deterioramento del controllo vasomotorio periferico, spesso presente in gruppi come gli anziani, i soggetti con lesioni del midollo spinale o le persone che assumono farmaci vasodilatatori, influisce sull’adattabilità agli ambienti sia freddi che caldi.
- e) Differenze nel tasso metabolico: persone con disabilità fisiche che utilizzano ausili tecnici come sedie a rotelle possono avere bassi tassi metabolici e, al contrario, i soggetti che soffrono di paralisi cerebrale atassica hanno un tasso metabolico più elevato a causa del maggiore sforzo richiesto per eseguire le proprie attività. Anche le

persone anziane hanno un tasso metabolico più basso di quello medio degli adulti per quanto ci siano ampie differenze individuali.

- f) Influenze dello stress termico su altre funzioni fisiologiche. In quest'ultimo punto si richiamano in modo non esaustivo effetti dello stress termico su diversi aspetti della salute e della fisiologia umana (ad esempio si cita che l'apoplezia cerebrale e gli attacchi cardiovascolari possono essere più probabili in condizioni di intenso freddo o caldo).

Ai successivi titoli la norma si sofferma sugli aspetti che devono essere considerati con particolare attenzione nelle valutazioni di comfort termico o di stress termico condotte secondo i rispettivi standard internazionali e da noi citati più sopra; è puntualizzato come il mero rispetto dei limiti previsti dagli standard non sia sempre sufficiente a garantire l'adeguata tutela da eventuali discomfort/rischi termici.

In conclusione la 28803 tratta quelle che sono definite le “disabilità termiche”, ovvero disabilità nel governo della termoregolazione derivanti da fattori individuali. La norma le presenta all'interno di una tabella correlandole con gli effetti sul fisico, l'ambiente termico in cui si possono manifestare, la patologia o la disabilità fisica da cui hanno origine. In figura 1 proponiamo una versione in italiano della stessa tabella tratta da portaleagentifisici.it (www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_index.php?lg=IT).

Tabella 2: Tabella delle disabilità termiche (portaleagentifisici.it)

tipo di disabilità termica	effetto termico della disabilità	tipo di ambiente termico	patologia o disabilità fisica originaria
alterazioni della termoregolazione corporea	compromissione nella sudorazione (congestione da calore)	caldo	lesioni del midollo spinale, età, lebbra, etc.
	iperproduzione termica (cinetica)	caldo	paralisi cerebrale, etc.
	iperproduzione termica (endogena)	caldo	morbo di basedow-graves (ipertiroidismo), etc.
	ipoproduzione termica (endogena e/o cinetica)	freddo	disturbi nella deambulazione
	patologie vasomotorie periferiche inclusi effetti collaterali di farmaci (eccessiva dissipazione termica)	freddo / correnti d'aria	lesioni del midollo spinale, età etc. effetti di farmaci anti-ipertensivi, patologia coronarica, diabete mellito, sindrome di raynaud, patologie vascolari periferiche
alterazioni nella percezione termica	paralisi dei termorecettori	caldo e freddo	lesioni del midollo spinale, età, lebbra, etc.

tipo di disabilità termica	effetto termico della disabilità	tipo di ambiente termico	patologia o disabilità fisica originaria
	sensazione termica nervosa	freddo	lesioni da freddo, esiti da poliomielite, etc.
peggioramento di altre disabilità	peggioramento di paralisi, convulsioni e dolore	freddo / umidità elevata	paralisi cerebrale, lesioni del midollo spinale, reumatismi, etc.
	effetti sulla funzionalità renale	freddo	nefriti croniche, invecchiamento, ipertensione, etc.
	infarto	caldo/freddo/sbalzi di temperatura	infarto del miocardio, infarto cerebrale, etc.
	effetti sulla pressione sanguigna	caldo/freddo/sbalzi di temperatura	disturbi ipertensivi
	peggioramento della funzionalità respiratoria	freddo/ bassa umidità	asma, paralisi cerebrale, bronchiti croniche, etc.
	peggioramento delle condizioni della pelle dovuto a sudorazione	caldo	epidermolisi bollosa ereditaria, etc.
aggravanti sulle disabilità	pollachiuria (disfunzioni urinarie)	freddo	lesioni del midollo spinale, etc.
	indumenti pesanti (in condizioni di disabilità fisiche)	freddo	vari tipi di paralisi motorie
	diarrea	freddo	esiti di poliomieliti, lesioni del midollo spinale, etc.
impossibilità ad usare un'abilità sostitutiva	diminuzione della sensazione tattile	freddo	difficoltà per i non vedenti a leggere il braille

9 – CONCLUSIONI

Con questo lavoro abbiamo voluto riesaminare i criteri con i quali determinare se la valutazione del microclima in specifici ambienti debba essere condotta mediante un accertamento sul comfort o sullo stress termico. La nostra conclusione è che, oltre che nei confronti degli **ambienti vincolati**, anche verso quelli **produttivi e assimilabili**³, l'obiettivo protezionistico di una valutazione del microclima sia quello di garantire innanzitutto la tutela da eventuali condizioni termicamente stressanti per l'organismo per qualsiasi soggetto.

³ Ricordiamo che con ambienti *assimilabili* a quelli produttivi intendiamo quelli dedicati allo stoccaggio dei beni, materie prime e prodotti finiti (magazzini e logistica), piuttosto che altri reparti a servizio di quelli produttivi (le officine per esempio).

Riteniamo che gli argomenti portati risolvano l'impasse cui conduce una valutazione condotta con l'improbabile obiettivo di accertare (e quindi poi garantire) il comfort termico in questi ambienti.

Con questi scopi l'accertamento tecnico (avviato in assenza di una condizione di giustificabilità del rischio ex D.Lgs 81/08, art. 181, c. 3) sarà indirizzato alla valutazione dello stress termico e i metodi utilizzati comprenderanno il PHS⁴ per gli ambienti caldi e l'IREQ per gli ambienti freddi. A questi si aggiunge il PMV che, pur concernendo il comfort, risulta pertinente anche nel contesto di una valutazione sullo stress termico allo scopo di valutare il rischio per soggetti con particolari sensibilità e per soggetti con disabilità termiche, ma anche per meglio definire i casi in cui sia necessario mettere in atto specifiche misure di tutela mediante interventi organizzativi/procedurali e tecnici.

Al fine di utilizzare correttamente l'indice PMV anche in una valutazione di stress termico, occorre tuttavia stabilire quale tenore di discomfort può essere considerato accettabile, ovvero quale sia l'intervallo dei valori ammissibili per l'indice PMV in relazione all'attività svolta ed alle caratteristiche individuali e questa informazione si ricava dalla norma UNI EN 15265, dove si individua in $-2 \div +2$ l'ampiezza di questo range, ovvero facendo riferimento alle condizioni maggiormente restrittive fissate dalla ISO 28803:2012, qualora in presenza di situazioni di particolari sensibilità al rischio.

La verifica di comfort termico, a nostro avviso, è da considerarsi pertinente e applicabile negli ambienti detti *indoor* secondo un'interpretazione estensiva della definizione che ne dà la norma tecnica UNI EN ISO 16000-1:2006, [5] ovvero "ambienti non soggetti alle prescrizioni indirizzate alla tutela dei lavoratori contro gli effetti derivanti dall'esposizione a sostanze e agenti nocivi". Questi comprendono, in via non esaustiva, uffici, guardiole, reception e più in generale desk di interazione con il pubblico generico.

In questo quadro condividiamo la strategia di approccio al rischio microclima offerta dalla norma tecnica UNI EN 15265:2005 la quale coniuga gli indici di comfort e quelli di stress per giungere ad una classificazione del rischio in classi, nonché della norma ISO 28803:2012 [6], ai fini della tutela dei soggetti sensibili.

⁴ Il WBGT non è contemplato all'interno della fase di *analisi* avendo valore solo di *screening*.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] UNI EN ISO 9886:2004 *Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche*
- [2] 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*
- [3] UNI EN ISO 15265:2005 *Strategia di valutazione del rischio per la prevenzione dello stress o del disagio termico in condizioni di lavoro*
- [4] 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*
- [5] UNI EN ISO 16000-1:2006 *Aria in ambienti confinati. Parte 1: aspetti generali della strategia di campionamento*
- [6] UNI EN ISO 28803:2012 *Ergonomia degli ambienti fisici - Applicazione di norme internazionali alle persone con speciali necessità*
- [7] UNI EN ISO 7243:2017 *Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dello stress da calore utilizzando l'indice WBGT (temperatura globo del bulbo bagnato)*
- [8] INAIL (2018-07) *La valutazione del microclima*
- [9] Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome in collaborazione con ISPESL (2006-06) *Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro*
- [10] *Soggetti particolarmente sensibili all'ambiente termico*, Laboratorio di Sanità Pubblica dell'Azienda Sanitaria USL Toscana Sud Est con la collaborazione dell'INAIL e dell'Azienda USL di Modena, pagina consultata nell'agosto 2019, https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_index.php?lg=IT

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

MISURE DI ATTENUAZIONE DI UN INSERTO AURICOLARE MEDIANTE METODICA E-A-R FIT

Diego Annesi⁽¹⁾, Pietro Nataletti⁽¹⁾, Claudio Galbiati⁽²⁾, Dino Peruch⁽²⁾, Guido Alfaro Degan⁽³⁾, Gianluca Coltrinari⁽³⁾, Dario Lippiello⁽³⁾, Andrea Vestrucci⁽³⁾, Paolo Lenzuni⁽⁴⁾

⁽¹⁾ INAIL – Dipartimento Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, Roma

⁽²⁾ 3M Italia Srl, PSD Technical Division, Pioltello

⁽³⁾ Università degli Studi di Roma Tre – Dipartimento di Ingegneria

⁽⁴⁾ INAIL – Direzione Regionale Toscana – Unità Operativa Territoriale di Firenze

Introduzione

Numerosissimi studi hanno dimostrato che sia i valori medi di attenuazione sia i valori delle relative deviazioni standard, ottenuti con la procedura illustrata nello standard ISO 4869-1 [1], sono assai poco realistici [2] – [5]. Ciò risulta dovuto all'utilizzo, nella procedura citata, di soggetti altamente addestrati, con l'obiettivo di fatto di ottenere dati relativi all'utilizzo ottimale del dispositivo. I valori ottenuti mediante questa procedura sono riportati nella scheda tecnica che accompagna il prodotto e generano una illusoria sensazione di protezione, che spesso non ha riscontro nella pratica quotidiana. Sul posto di lavoro i soggetti sono infatti spesso scarsamente addestrati e non di rado superficiali nell'utilizzo dei DPI-u. Per le cuffie circum-auricolari, le perdite di attenuazione associate ad un uso approssimativo non sono enormi, come testimoniato dal fatto che il fattore di “derating” β , sviluppato dal NIOSH [6] e successivamente ripreso dalla UNI 9432:2011 [7], vale 0,75. Lo stesso tuttavia non si può dire degli inserti, per i quali il documento NIOSH propone un fattore di derating variabile fra 0,30 e 0,50 a seconda della tipologia, ma per i quali il posizionamento spesso

approssimativo determina una perdita di efficienza di fatto ignota ma spesso drammatica, che non di rado arriva fino ad un totale azzeramento dell'attenuazione.

Questo lavoro presenta misure dell'attenuazione al rumore fornita da uno specifico modello di inserto (3M modello 1100) di grandissima diffusione, grazie anche al costo estremamente contenuto. Le misure sono state eseguite su un numeroso campione di soggetti, mediante il cosiddetto metodo E-A-Rfit. Questo metodo, sviluppato da un team statunitense-canadese, consente una misura veloce, binaurale e soprattutto oggettiva, ovvero microfonica, dell'attenuazione [8] – [10]. L'obiettivo di questo lavoro è duplice. Da una parte, verificare la reale attenuazione che questo inserto è in grado di fornire a soggetti sia non formati, sia formati all'uso e quindi determinare l'impatto del processo formativo. Dall'altra, verificare la possibile differenza, sia di performance assoluta sia di impatto del processo formativo, fra due sottocampioni, uno di sesso maschile e uno di sesso femminile.

Metodi sperimentali

Il modello testato – L'inserto 3M 1100 è un tradizionale inserto in poliuretano di forma approssimativamente conica, con terminale interno affusolato [11]. Gli esemplari testati sono stati preparati appositamente dalla casa costruttrice per eseguire questo tipo di prove. La modifica, rispetto al modello standard, consiste nell'inserimento di un sottile condotto di plastica all'interno dell'auricolare, che stabilisce un contatto acustico che consente ad uno dei due microfoni (quello denominato “interno”) di percepire la pressione sonora esistente alla punta dell'inserto, ossia all'interno del canale uditivo in prossimità del timpano.

La metodica – È stato utilizzato un sistema di misurazione 3M™ E-A-Rfit™ Dual-Ear Validation System 393-1100, composto da uno speaker esterno e da due microfoni recettori, connessi all'inserto in prova. Il microfono esterno misura il livello sonoro ambientale, mentre il livello misurato dal microfono “interno”, una volta corretto per tener conto della trasduzione differenziale in frequenza operata dal canale uditivo, consente di conoscere il livello ambientale esterno “equivalente” che tiene conto del DPI. La differenza fra i due corrisponde all'insertion loss.

Il campione – Le prove sono state eseguite su un campione di 100 soggetti di età compresa tra i 20 e i 30 anni, 36% di sesso femminile e 64% di sesso maschile. Nessuno dei soggetti facenti parte del campione possedeva una pregressa esperienza nell'uso di dispositivi di protezione auricolare.

Il set-up – Il soggetto è stato fatto sedere di fronte ad un altoparlante (Figura 1), posizionandolo attentamente in modo tale da garantire sia una direzione di incidenza del segnale quanto più possibile parallela alla linea di vista, sia una distanza costante dalla sorgente sonora. Al soggetto sono poi stati fatti indossare gli inserti e un paio di occhiali (Figura 1). I due microfoni sono quindi stati collegati ai connettori presenti sull'inserto, e tramite dei piccoli

ganci sono stati fissati sugli occhiali, in modo tale da garantire quanto più possibile per tutti i soggetti lo stesso posizionamento del microfono esterno nel padiglione auricolare.

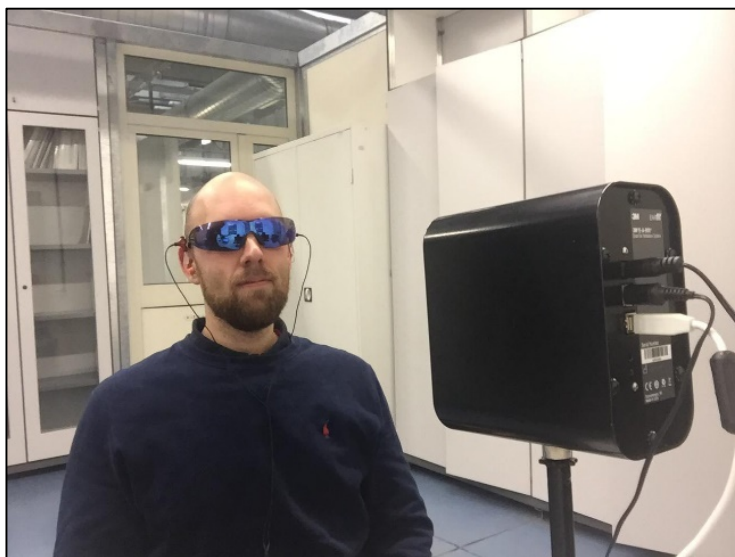


Figura 1 – Il set-up sperimentale

Una volta concluso il set-up, allo speaker è stato fatto emettere un segnale di tipo “rumore rosa” (Pink Noise), ovvero con un livello costante di energia acustica in ciascuna banda d’ottava.

La prova – Ciascuna prova è stata suddivisa in quattro fasi:

Nella prima fase è stata eseguita una calibrazione dello strumento.

Nella seconda fase il soggetto ha indossato gli inserti senza aver ricevuto alcuna istruzione su come eseguire correttamente tale operazione ed è stata eseguita una misura del segnale.

Nella terza fase si è proceduto ad istruire il soggetto sul corretto utilizzo dell’inserto. Per garantire una formazione il più possibile standardizzata, si è deciso di servirsi di un video dimostrativo anch’esso fornito dalla 3M.

Presa visione del filmato, nella quarta fase il soggetto ha indossato nuovamente gli inserti prestando particolare attenzione ad eseguire le manovre d’inserimento coerentemente con quanto mostrato nel video. Si è proceduto quindi ad una nuova misura.

Risultati 1 – Analisi del campione completo

Nella prima fase è stata condotta un’analisi relativa ai risultati ottenuti su tutti i 100 soggetti testati. La Figura 2 mostra l’andamento in frequenza dell’attenuazione, sia a monte (curve a puntini e a tratto breve), sia a valle (curve a tratto medio e lungo) della formazione, come pure l’andamento in

frequenza dell'attenuazione “nominale”, ovvero fornita dal costruttore sulla base delle prove eseguite secondo la procedura illustrata nella standard ISO 4869-1 (curva a tratto continuo).

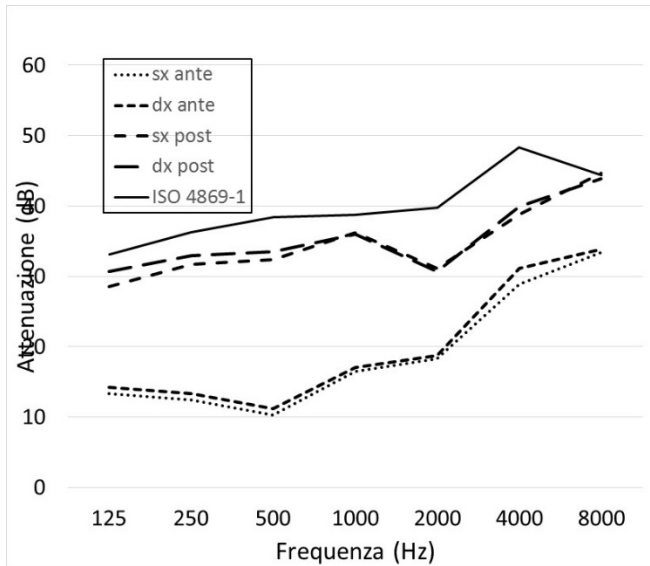


Figura 2 – Andamento in frequenza dell'attenuazione

Gli elementi più significativi sono i seguenti:

- 1) I risultati ottenuti per le due orecchie sono estremamente prossimi gli uni agli altri ed assolutamente indistinguibili con test statistici. Il risultato non era scontato, alla luce della prevedibile maggior difficoltà ad inserire l'inserto nell'orecchio sinistro per soggetti destrimani, che rappresentano la stragrande maggioranza (95%) del campione.
- 2) I valori di attenuazione a monte della formazione sono drammaticamente bassi. Questo risultato è in ottimo accordo con quello già ottenuto da Cassano et al. (2015) [12], come emerge chiaramente dall'esame della Figura 3. Con valori medi di attenuazione così piccoli, e con distribuzioni sul campione estremamente ampie ed asimmetriche (vedi ad esempio la Figura 4, relativa alla frequenza di 250 Hz), ogni stima di possibili fattori di derating (i famosi β) perde di significato. Più onesto è affermare che in un campione di soggetti non formati, una frazione alta e socialmente inaccettabile di esposti, riceve una protezione virtualmente nulla, specialmente a frequenze inferiori a 1000 Hz.

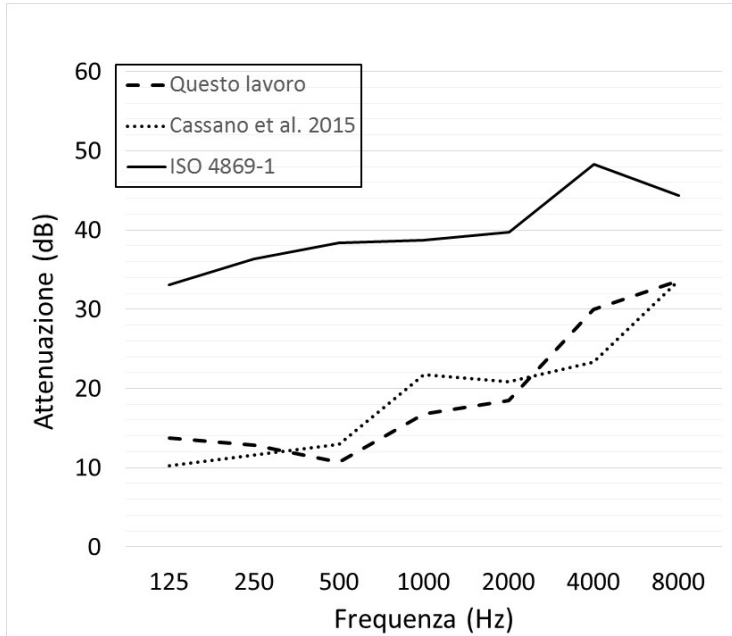


Figura 3 – Andamento in frequenza dell’attenuazione a monte della formazione

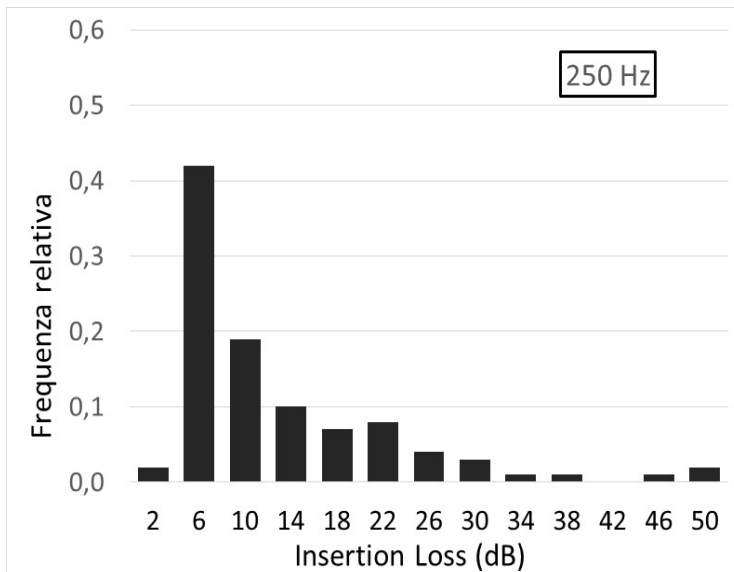


Figura 4 – Distribuzione dell’attenuazione a monte della formazione (250 Hz)

- 3) I valori di attenuazione misurati a valle della formazione sono risultati molto superiori a quelli misurati a monte della formazione e ragionevolmente prossimi, tranne che nelle bande d'ottava a 2000 e 4000 Hz (vedi Figura 2), a quelli dichiarati dal costruttore. Questi ultimi sono comunque risultati sempre più elevati di quelli ottenuti in questo studio.

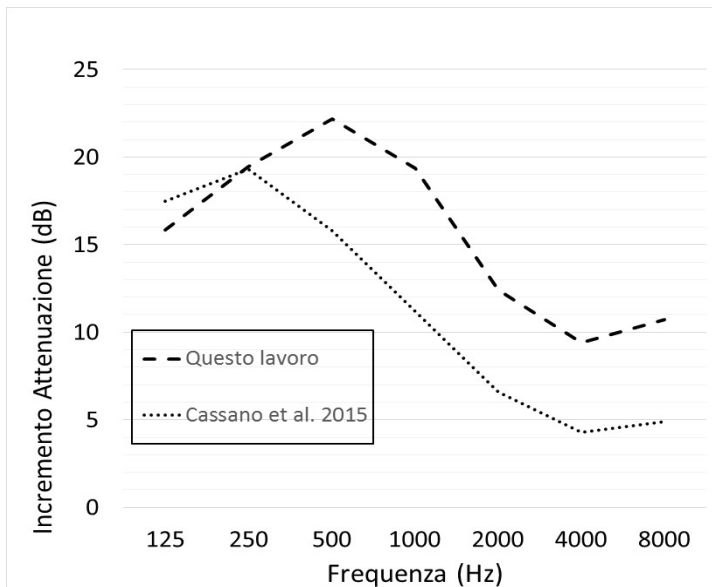


Figura 5 – Andamento in frequenza della differenza fra attenuazione a valle e a monte della formazione

La Figura 5 mostra l'incremento dell'attenuazione associato al processo formativo, che risulta più elevato a frequenze fino a 1000 Hz e progressivamente decrescente a frequenze superiori. Questo risultato è verosimilmente il prodotto della combinazione di due meccanismi, che agiscono quando l'inserimento avviene con maggior profondità, come presumibilmente avviene seguendo le istruzioni del video: a) a seguito del migliore inserimento del dispositivo, le zone mancate aderenza dell'inserito al canale uditivo si riducono, diminuendo la trasmissione aerea del segnale; b) si riduce l'extra conduzione ossea, che si manifesta quando il punto di maggior contatto dell'inserito è nella zona esterna del canale uditivo.

La stessa Figura 5 mostra che, nonostante alcune differenze, il comportamento complessivo ottenuto in questo lavoro è molto simile a quello determinato da Cassano et al. (2015) [12], con alcune differenze relative alla frequenza di massimo incremento (250/500 Hz rispettivamente) ed alla dimensione dell'incremento massimo (19,5/22,5 dB rispettivamente).

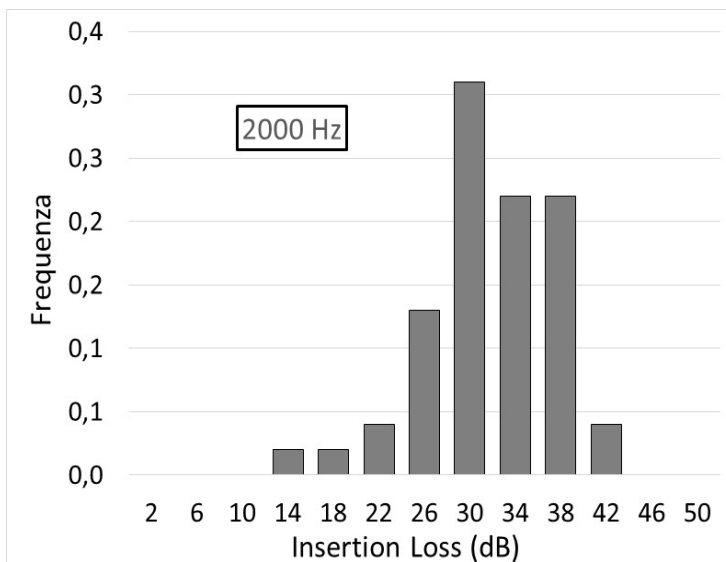


Figura 6 – Distribuzione dell’attenuazione a valle della formazione (2000 Hz)

Questo risultato mostra in modo inequivocabile l’importanza di addestrare i soggetti che indossano un inserto auricolare ad un corretto utilizzo. Come già anticipato al punto 2, le distribuzioni di probabilità dell’attenuazione sono molto ampie e asimmetriche in tutte le bande. Tale asimmetria assume caratteri più estremi alle frequenze più basse e nei dati a monte della formazione (vedi Figura 4), mentre i profili tendono generalmente ad essere più simmetrici alle alte frequenze e a valle della formazione. È evidente comunque che anche a valle della formazione persiste una frazione non piccola di soggetti con difficoltà ad inserire correttamente i DPI e a sfruttarne al massimo il potenziale di attenuazione (es. Figura 6). Gli aspetti legati all’asimmetria delle distribuzioni ed alle implicazioni di tale asimmetria nel contesto della verifica della adeguatezza dei DPI, richiesta dal Decreto 81/2008 [13], verranno esplorati in dettaglio in un altro lavoro attualmente in preparazione.

Risultati 2 – Analisi separata dei sotto-campioni maschili e femminili

I valori di attenuazione ottenuti, sia a monte sia a valle della formazione, sono successivamente stati analizzati separatamente per i due campioni dei 36 soggetti di sesso femminile e dei 64 soggetti di sesso maschile. La Figura 7 mostra le differenze fra i valori medi di attenuazione ottenuti nei due campioni, maschile (IL_M) e femminile (IL_F). I principali elementi che emergono sono i seguenti:

1. il campione femminile mostra, a monte della formazione, valori di attenuazione più bassi del campione maschile; la differenza tende ad

essere più alta alle frequenze basse e medie, dove la significatività statistica raggiunge l'85% a 1000 Hz ed il 93% a 500 Hz. Questo risultato potrebbe dipendere semplicemente da una istintiva maggior riluttanza all'uso dell'inserito da parte delle ragazze;

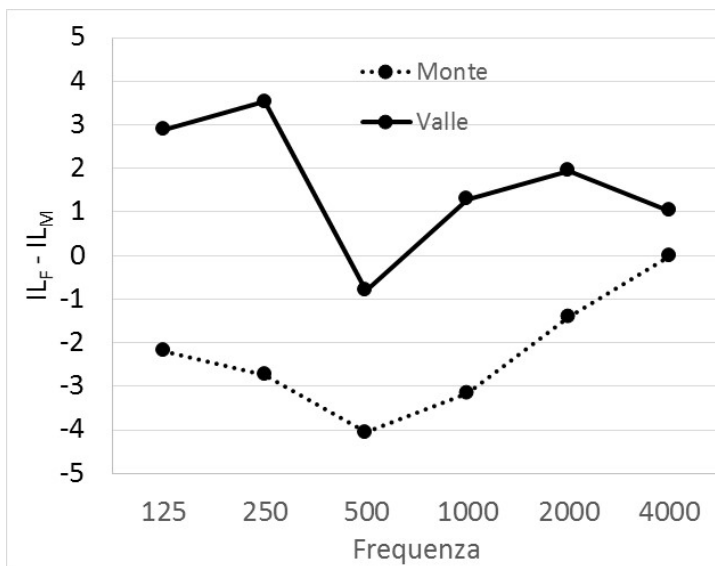


Figura 7 – Andamento in frequenza della differenza fra le attenuazioni misurate per il campione maschile e per il campione femminile

2. la differenza fra i due campioni, a monte della formazione, mostra (in termini assoluti) un massimo a 500 Hz e tende a ridursi progressivamente sia per frequenze più alte sia per frequenze più basse. Questo andamento è stato verificato mediante un test statistico di incompatibilità della pendenza della retta di best fit con zero, che risulta verificato con significatività ben oltre il 95%;
3. il campione femminile beneficia della formazione in modo assai più sensibile del campione maschile. Questo miglioramento si manifesta a tutte le frequenze, ma appare più marcato alle basse-medie frequenze fino a 1000 Hz, con valori che raggiungono i 5 dB. È possibile che la maggior profondità dell'inserimento dell'inserito a valle della formazione produca risultati migliori nei soggetti di sesso femminile, che in media possiedono canali uditivi con diametri più piccoli rispetto ai soggetti maschi, e quindi intervenga con maggior efficacia sulla trasmissione del suono per via aerea.

Conclusioni

I risultati riportati sono soltanto un primo test, eseguito su un singolo modello di inserito auricolare. Tuttavia, i dati confermano in modo

inequivoco l'enorme distanza fra prestazioni nominali (ottime) e prestazioni reali (minime) di un inserto auricolare, utilizzato senza una chiara fase formativa. Molto interessante, in prospettiva, è anche il risultato relativo alle differenze di genere, che indica come i soggetti femminili abbiano maggiori difficoltà iniziali a sistemare l'inserto, ma beneficino in maggior misura della formazione rispetto ai soggetti di sesso maschile. Il passo successivo sarà quello di eseguire gli stessi test per altre tipologie di inserto auricolare, che si distinguono per dimensione, per forma, o per materiale utilizzato.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ISO 4869-1:1990, Acoustics - Hearing Protectors - Part 1: Subjective Method for the Measurement of Sound Attenuation, International Organization for Standardization, ISO Geneva, Switzerland
- [2] Berger E.H., Franks J.R., Behar A., Casali J.G., Dixon-Ernst C., Kieper R.W., Merry C.J., Mozo B.T., Nixon C.W., Ohlin D., Royster J.D., Royster L.H, Development of New Standard Laboratory Protocol for Estimating the Field Attenuation of Hearing protector Devices - Part III The Validity of using Subject-Fit data, *J. Acoust. Soc. Am.* 103(2), 665 – 672 (1998)
- [3] Berger E.H., Franks J.R, Lindgren F., International Review of Field Studies of Hearing protector Attenuation, in *Scientific Basis of Noise-Induced hearing Loss*, edited by A. Axelsson, H. Borchgrevink, R.P. Hamernik, L. Hellstrom, D. Henderson, and R.J. Salvi, New York, NY, 361 – 367 (1996)
- [4] Elia G., Valutazione dell'efficienza e dell'efficacia dei dpi uditivi ai fini della scelta dei dpi ottimali e del rispetto dei valori limite, *Atti del Convegno dBA 2006*, Modena, 12-13 ottobre 2006
- [5] Tura P., Valutazione dei DPI per l'udito: protezione teorica e reale, *ISL Igiene e Sicurezza sul Lavoro* n.7, Luglio 2012
- [6] Occupational Noise Exposure – Criteria for a recommended standard, NIOSH 1986
- [7] UNI 9432:2011, Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nei luoghi di lavoro, UNI Milano

- [8] Berger E.H., What is a Personal Attenuation Rating (PAR)?, E-A-R 07-21/HP, 3M Occupational Health & Environmental Safety Division E•A•RCAL Laboratory (2010)
- [9] Berger E.H., Voix J., Kieper R.W., Le Cocq C., Development and validation of a field microphone-in-real ear approach for measuring hearing protector attenuation, *Noise and Health* 13, 163 – 175 (2011)
- [10] Berger E.H., Brown J.D., Smith P., 3M™ E-A-Rfit™ Validation System, Frequently Asked Questions (FAQs), E-A-R 13/17HP, 3M Personal Safety Division (2014)
- [11] https://www.3mitalia.it/3M/it_IT/azienda-it/tutti-prodotti-3m/~~/Inseriti-auricolari-3M-serie-1100/?N=5002385+8709322+8711017+3294361796&rt=rud
- [12] Cassano F., Aloise I., Labianca G., Gaccione V., Mazzotta C., Cardascia F., Garavaglia M., Germano C., Dentamaro A., Di Lorenzo L., Il peso di formazione e informazione dei lavoratori sul corretto utilizzo di inserti auricolari nella valutazione del reale abbattimento del rumore mediante il sistema E-A-Rfit™, *Medicina del Lavoro* 106, 284 – 293 (2015)
- [13] Decreto Legislativo n. 81 del 9.4.2008, Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, suppl. n.108/L della Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

PROCEDURE DI QUALIFICAZIONE ACUSTICA DI SPAZI INDUSTRIALI SECONDO UNI EN ISO 14257: TRE CASI STUDIO

Dario D'Orazio⁽¹⁾, Massimo Garai⁽¹⁾, Gioia Cardinali⁽¹⁾, Elena Rossi⁽¹⁾

⁽¹⁾ DIN, Università di Bologna

INTRODUZIONE

Negli ambienti industriali, come è noto, i livelli di esposizione al rumore possono divenire un fattore di rischio per la salute dei lavoratori. Quando tali valori eccedono i limiti normativi, risulta necessario un intervento di mitigazione acustica. Tale intervento deve tenere in considerazione non solo il controllo dell'emissione sonora delle sorgenti di rumore ma anche la propagazione sonora dalle sorgenti ai soggetti esposti. Per questo motivo, oltre alla caratterizzazione in situ del livello di potenza sonora delle sorgenti di rumore, è necessaria una caratterizzazione strumentale della curva di propagazione dell'energia sonora.

Gli ambienti industriali non sono riconducibili ad un'unica tipologia acustica: nella categoria degli ambienti industriali, infatti, rientrano varie tipologie architettoniche che influiscono sul decadimento sonoro. Dal punto di vista acustico le peculiarità degli ambienti industriali possono essere ricondotte ad aspetti relativi: alla geometria, in cui generalmente una dimensione prevale sulle altre due; al diverso assorbimento acustico delle superfici di contorno e al tipo di lavorazione, quindi al conseguente layout dei macchinari interno. Date queste peculiarità non sono quindi rispettate le ipotesi della teoria di Sabine, che fa riferimento ad ambienti geometricamente regolari e si basa sull'ipotesi di campo acustico perfettamente diffuso. In conseguenza di ciò, il tempo di riverberazione risulta un descrittore non esauriente per la caratterizzazione acustica di

questa tipologia di ambienti. Risultano invece più significativi i descrittori DL_2 e DL_f , entrambi normati dalla UNI EN ISO 14257:2001 [1], che si riferiscono al decadimento dell'energia sonora in ambiente.

Il presente lavoro rappresenta una parte di un percorso di ricerca svolto dal gruppo di Acustica Applicata dell'Università di Bologna all'interno del progetto INAIL BRIC ID 27 [2]. In particolare, l'unità operativa di Bologna si è occupata di ottimizzare le procedure di misura acustica in ambienti non sabiniani [3,4,5,6], compresa la stima e l'identificazione del background noise in tali ambienti [7,8].

UNI EN ISO 14257

La normativa di riferimento ISO 14257:2001 "*Measurement and parametric description of spatial sound distribution curves in workrooms for evaluation of their acoustical performance*" fornisce un metodo per la determinazione della curva di decadimento dell'energia sonora degli ambienti industriali descrivibile da due parametri: il DL_2 , decadimento del livello di pressione sonora al raddoppio della distanza, in dB, e il DL_f , differenza tra la curva di distribuzione sonora dell'ambiente e quella del campo libero, in dB.

Poiché la propagazione sonora in un ambiente industriale, dalle caratteristiche acustiche non necessariamente Sabiniane, può non essere uniforme, la ISO 14257 identifica tre regioni spaziali su cui valutare il decadimento del livello sonoro (Figura 1):

- *Near region*: da 1 m ad una distanza d_1 (usualmente 5 m), è il campo in cui la distribuzione spaziale del suono è fortemente influenzata dal campo sonoro diretto della sorgente.
- *Middle region*: da d_1 a d_2 (usualmente 16 m, è raccomandato estendersi fino ai 24 m, se lo spazio lo consente), in questo intervallo di distanze intervengono, oltre al campo sonoro diretto, le prime riflessioni da superfici interne dell'ambiente e attrezzature.
- *Far region*: da d_2 in poi; in quest'ultima regione la distribuzione spaziale del suono è influenzata maggiormente dalle riflessioni e diffusions delle superfici interne dell'ambiente.

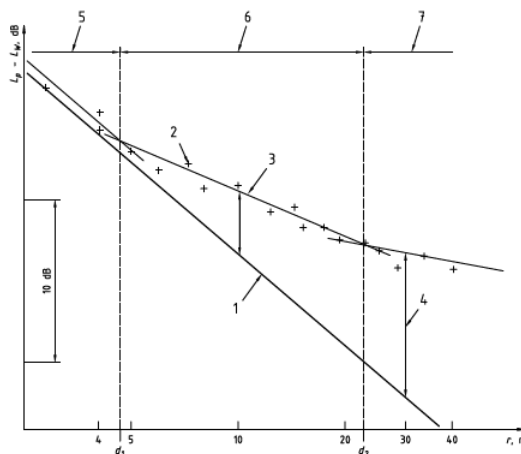


Figura 1 - Esempio di curva di decadimento dell'energia sonora a 1000 Hz di un ambiente in relazione all'andamento equivalente in campo libero [1]. 1) Curva di decadimento dell'energia sonora in campo libero, 2) Punti di misura, 3) Curva di decadimento della middle region, 4) DL_f , 5) Near region, 6) Middle region, 7) Far region.

Le misurazioni all'interno dell'ambiente vengono condotte lungo una linea rettilinea su cui vengono posizionati la sorgente sonora e i ricevitori. La linea deve essere accuratamente individuata caso per caso, in modo tale che non siano presenti ostacoli o schermature che possano interferire con la propagazione del suono tra la sorgente e i ricevitori, ed evitare quindi errori e sottostime di campionamento.

La sorgente sonora deve essere necessariamente un dodecaedro, posta ad un'altezza di 1,55 m dal suolo e ad una distanza dalle superfici riflettenti di almeno 3 m. Le posizioni del ricevitore fonometrico devono essere a distanza r con incrementi regolari dalla sorgente, suggerite dalla normativa:

- 2 m, 3 m, 4 m, 6 m, 8 m, 12 m, 16 m, 24 m, 32 m, 48 m, 64 m...

O, in alternativa:

- 1 m, 2 m, 3 m, ..., 10 m, 12 m, 14 m, ..., 20 m, 24 m, 28 m, ..., 40 m, 48 m, 56 m, ...

La normativa lascia la possibilità di aggiunta di punti di misura oltre a quelli prescritti e l'individuazione di una seconda catena di misura per casi particolarmente complessi.

La curva di decadimento dei livelli di pressione sonora si ricava dai valori D_j , ovvero dalla differenza tra i livelli di pressione sonora misurati a distanza r ($L_p(r)$) e livelli di potenza sonora della sorgente (L_w) filtrati nella j -esima

banda di ottava, da 125 Hz a 4000 Hz. I valori così calcolati sono riportati su di un grafico in rapporto alle distanze sorgente-ricevitore in metri, in scala logaritmica.

Quindi:

$$D_j(r) = L_{pj}(r) - L_{wj} \quad (\text{dB})$$

dove:

L_{pj} è il livello di pressione sonora in ogni punto di misurazione scelto, in dB, nella j -esima banda d'ottava

L_{wj} è il livello di potenza sonora della sorgente utilizzata nello studio, in dB, nella j -esima banda d'ottava

j è l'indice di banda di ottava (da 125 Hz a 4000 Hz)

Dal grafico è possibile inoltre individuare le tre regioni mediante un fitting lineare dei punti. Una volta individuate le distanze d_1 e d_2 che delimitano le regioni, si calcolano i parametri DL_2 e DL_f per ciascuna di esse. Si riportano di seguito i risultati delle misure di ciascun caso di studio. Per la valutazione dei risultati ottenuti si fa riferimento ai valori indicati dalla normativa ISO 11690-3 [9], riportati in Tabella 1.

Tabella 1- Valori di riferimento dei parametri DL_2 e DL_f , suddivisi nelle diverse regioni, suggeriti dalla normativa ISO 11690-3 [9].

	DL_2 (dB)	DL_f (dB)
<i>Near region</i>	5-6	-
<i>Middle region</i>	2-5	2-10
<i>Far region</i>	> 6	< 0

CATENA DI MISURA

La catena di misura utilizzata per caratterizzare i casi studio è composta da:

- una sorgente dodecaedrica omnidirezionale high-SPL, capace di erogare adeguata energia sonora nei range di frequenza 80—4000 Hz [10];
- un amplificatore di adeguata potenza, capace di erogare corrente sul carico di 2 ohm rappresentato dal dodecaedro high-SPL utilizzato. In questo caso abbiamo utilizzato un finale di potenza CROWN XLS 2500 in configurazione bridge, che permette di pilotare adeguatamente la sorgente sonora senza distorsioni in banda utile. Dato il range di frequenza della misura si utilizza un filtro subsonico a 24dB/oct centrato sugli 80 Hz. Il finale è utilizzato bypassando il potenziometro di sensibilità di ingresso;

- un generatore di segnale NTI MINIRATOR MR-PRO/MR2, che fornisce il segnale di rumore rosa e permette eventualmente l'attenuazione a step discreti con passo di 1 dB. Tali specifiche, come vedremo, sono utili per mantenere in fase di misura il controllo della calibrazione in potenza;
- un ricevitore fonometrico NTI XL2 con capsula omnidirezionale di classe 1, capace di esportare la storia temporale delle acquisizioni in terzi e in ottava (secondo IEC 61260-1:2014 [11]) in formato .csv e quindi analizzabile in fase di post-processing da software generici (Excel, Matlab ecc.).

L'analizzatore sonoro è stato impostato per acquisire il livello equivalente continuo ponderato $L_{A,eq}$. Il ricevitore fonometrico è stato fissato su cavalletto ad una altezza di 1,55 m dal pavimento e posizionato, ove possibile, ad almeno 3 m da superfici verticali riflettenti. Il tempo di campionamento utilizzato per l'acquisizione del segnale è stato di 10 secondi, tempo che si è valutato adeguato alla stabilizzazione del livello equivalente all'interno dell'ambiente per ciascuna banda di ottava oggetto di analisi.

CALIBRAZIONE DELLA SORGENTE SONORA

Il cambio di paradigma tra ambiente Sabiniano (caratterizzazione tramite tempo di riverberazione) e ambiente non-Sabiniano (caratterizzazione tramite DL_2) ha influenze anche nelle specifiche degli strumenti di misurazione da utilizzare. Mentre per la misura del tempo di riverberazione non è necessario che né sorgente né ricevitore siano calibrati (la ISO 3382 [12] prescrive solo requisiti di direttività), per la misura del DL_2 secondo ISO 14257 è necessario che sia la sorgente che il ricevitore siano calibrati. La misura dei livelli di potenza della sorgente, per ciascuna ottava, permette in primis di correggere l'offset delle curve di decadimento. Anche se non riportato nel presente studio, la conoscenza del livello di potenza sonora permette anche di valutare se per ogni punto di misura sia verificato un rapporto segnale-rumore di almeno 10 dB per ciascuna ottava. Tale requisito sul rapporto segnale-rumore, in molti dodecaedri commerciali, può risultare critico in ambienti industriali di dimensioni importanti nelle bande di ottava in bassa frequenza, poiché può essere difficile in condizioni operative contenere il rumore di fondo.

La sorgente sonora è stata calibrata in camera riverberante secondo ISO 3741:2010 [13], tramite il metodo diretto, utilizzando l'area di assorbimento equivalente della camera riverberante, in m^2 . La sorgente sonora è stata posizionata ad almeno 1,50 m da ogni superficie riflettente e sono stati posizionati 6 microfoni in linea con le direttive della ISO 3741. In precedenti misure in camera anecoica secondo ISO 3744 [14] si è verificata

l'omnidirezionalità della sorgente secondo i requisiti sia ISO 354 [15] (meno stringenti) sia ISO 3382 (più stringenti).

Tabella 2 - Caratteristiche della camera riverberante.

Caratteristiche camera riverberante	Valori
Temperatura dell'aria (°C)	19,2
Pressione atmosferica (kPa)	101,131
Umidità relativa (%)	50
Superficie (m ²)	265
Volume (m ³)	280

In primis, si è determinato il tempo di riverberazione T_{60} , per ogni posizione dei ricevitori, tramite NTI XL2. Il tempo di riverberazione è definito come il tempo necessario affinché il livello sonoro decada di 60 dB, dopo lo spegnimento della sorgente. Il valore di T_{60} , è stato calcolato in terzi di banda di ottava, su una media di tre misurazioni per ciascun ricevitore. Successivamente sono stati determinati i livelli di pressione sonora per ogni ricevitore, in dB. Infine, applicando la formula della ISO 3741 per la determinazione dei livelli di potenza sonora L_w , sono stati definiti i valori riportati in Tabella 3:

Tabella 3 - Livello della potenza sonora della sorgente utilizzata

L_w , dB					
Banda di ottava, Hz					
125	250	500	1000	2000	4000
91,6	107,6	112,6	112,4	112,9	108,2

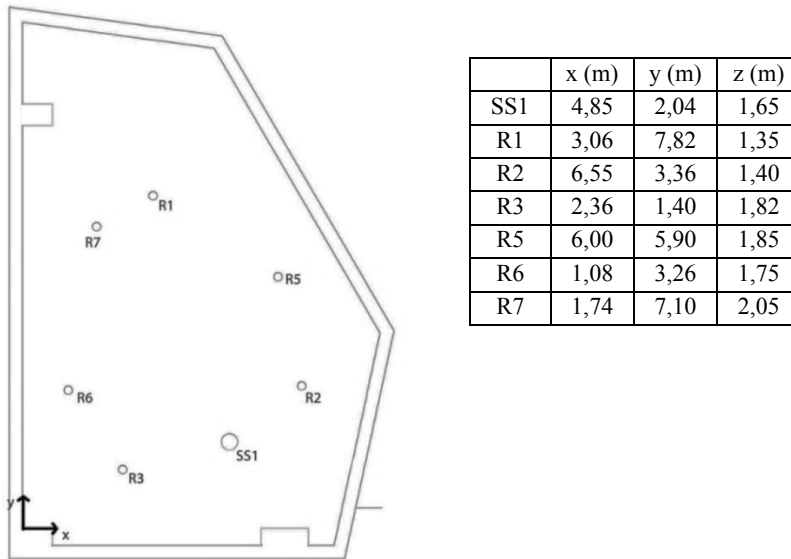


Figura 2 - Pianta della camera riverberante con indicazione delle posizioni di sorgente sonora e ricevitori.

CASI STUDIO

La campagna di misurazioni ha coinvolto tre stabilimenti industriali nella provincia di Modena. I tre stabilimenti industriali sono stati scelti perché differiscono tra loro per dimensioni e tipi di lavorazioni. Si riporta in un riepilogo delle caratteristiche degli ambienti oggetto di studio.

Caso studio A

L'ambiente industriale oggetto di indagine ospita una catena di imbottigliamento di conserve di pomodoro che include diverse lavorazioni quali: lavaggio e sterilizzazione delle bottiglie, imbottigliamento, tappatura, etichettatura e confezionamento. Il capannone è caratterizzato da una lunghezza di 105,30 m e larghezza di 36,60 m per un totale di circa 3850 m². La copertura è costituita da un tetto a capriate prefabbricate con shed. L'altezza in sommità delle capriate è di circa 9,50 m, mentre l'altezza in corrispondenza dell'appoggio delle capriate è di circa 8,50 m. Il volume totale dell'edificio è di circa 34500 m³.

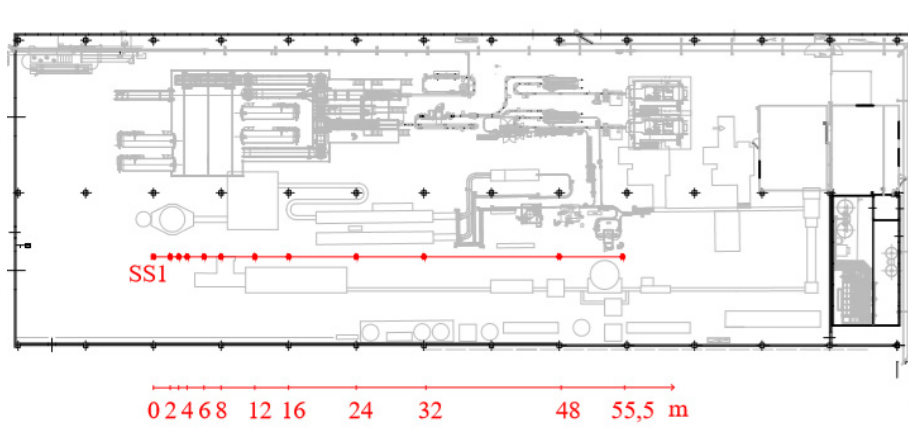


Figura 3 - Pianta con sorgenti e ricevitori dello stabilimento industriale. Caso studio A.

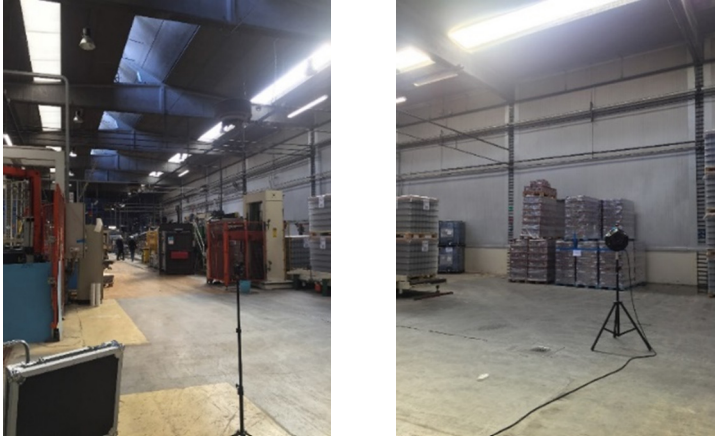


Figura 4 Interni dello stabilimento caso studio A

Tabella 4. Caratteristiche del capannone caso studio A

Caratteristiche capannone	Valori
Lunghezza (m)	105,30
Larghezza (m)	36,60
Altezza media (m)	9
Superficie pavimento (m ²)	3850
Volume totale (m ³)	34 500

Caso studio B

L'ambiente industriale oggetto di indagine ospita una linea di imbottigliamento dedicata in particolare alla produzione di vini frizzanti e spumanti con una capacità produttiva di 12.000 bottiglie/ora. Il capannone è caratterizzato da una lunghezza di 37 m e larghezza di 25 m per un totale di circa 925 m². La copertura è costituita da un tetto a shed prefabbricato. L'altezza è di circa 8,50 m. Il volume totale dell'edificio è di circa 8000 m³.

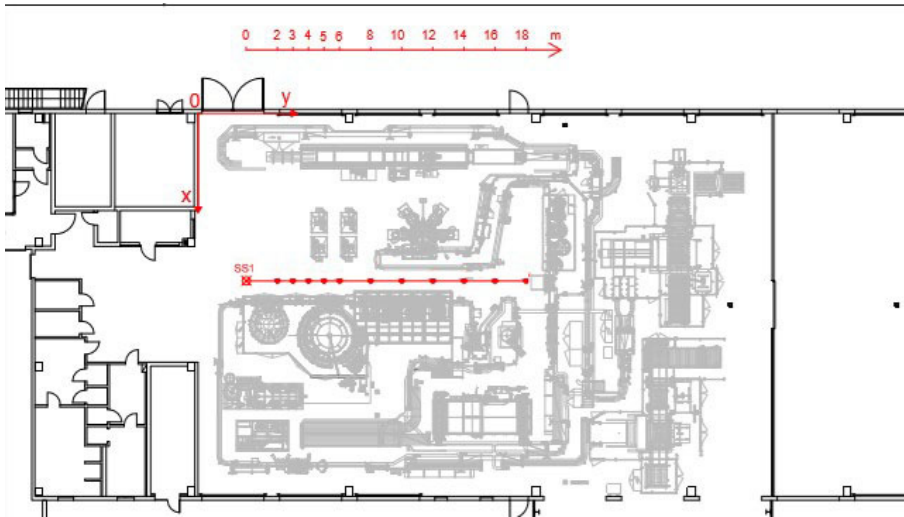


Figura 5 – Pianta con sorgenti e ricevitori dello stabilimento industriale. Caso studio B.



Figura 6 - Interni dello stabilimento industriale caso studio B

Tabella 5. Caratteristiche del capannone caso studio B

Caratteristiche capannone	Valori
Lunghezza (m)	37
Larghezza (m)	25
Altezza media (m)	8,5
Superficie pavimento (m ²)	925
Volume totale (m ³)	8000

Caso studio C

L'ambiente industriale oggetto di indagine ospita una linea di produzione di etichette e nastri tessuti. Il capannone è caratterizzato da una lunghezza di 37 m e larghezza di 19 m per un totale di circa 1000 m². La copertura è costituita da un tetto a shed prefabbricato. L'altezza media è di circa 7 m. Il volume totale dell'edificio è di circa 4900 m³.

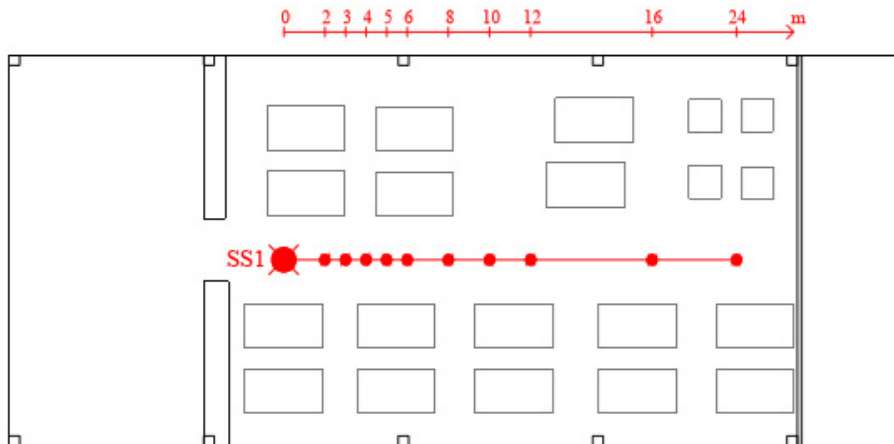


Figura 7 - Schema stabilimento industriale caso studio C.



Figura 8 - Interni stabilimento industriale caso studio C.

Tabella 6. Caratteristiche del capannone caso di studio C.

Caratteristiche capannone	Valori
Lunghezza (m)	37
Larghezza (m)	19
Altezza media (m)	7
Superficie pavimento (m ²)	1000
Volume totale (m ³)	4900

RISULTATI

Caso studio A

Tabella 7 – Valori misurati all'interno del caso studio A.

Region	DL ₂ , dB(A)	DL _f , dB(A)
Near	6,1	8,4
Middle	5,2	13,6
Far	4,7	17,5

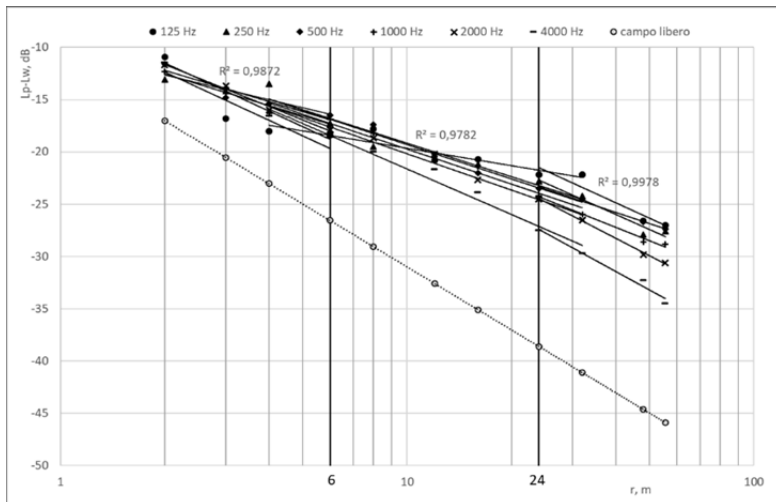


Figura 9 – Rappresentazione grafica dei valori misurati nel caso di studio A in funzione della distanza, su asse logaritmico. Sono riportati i decadimenti in frequenza (125 Hz – 4000 Hz) e il decadimento di riferimento in campo libero (-o-).

Caso studio B

Tabella 8 - Valori misurati all'interno del caso studio B.

Region	DL ₂ , dB(A)	DL _f , dB(A)
Near	2,8	8,0
Middle	5,2	13,0
Far	4,9	15,6

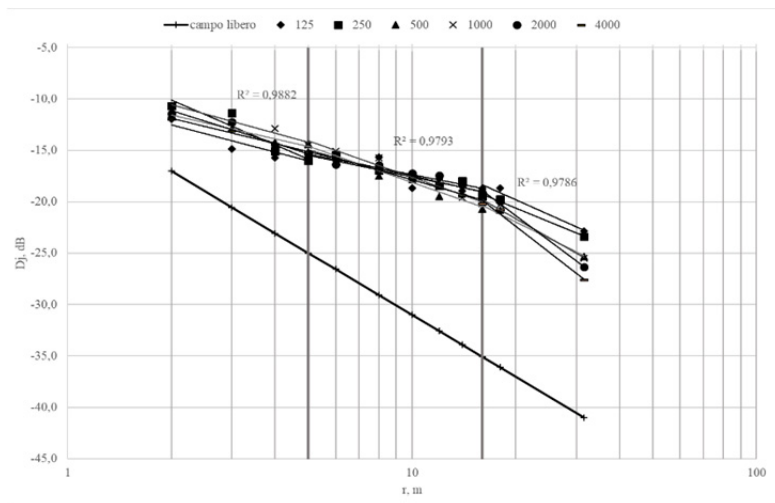


Figura 10 - Rappresentazione grafica dei valori misurati nel caso di studio B in funzione della distanza, su asse logaritmico. Sono riportati i decadimenti in frequenza (125 Hz – 4000 Hz) e il decadimento di riferimento in campo libero (-o-).

Caso studio C

Tabella 9 - Valori misurati all'interno del caso studio C.

Region	DL ₂ , dB(A)	DL _f , dB(A)
Near	2,6	7,2
Middle	5,7	11,4
Far	2,9	15,3

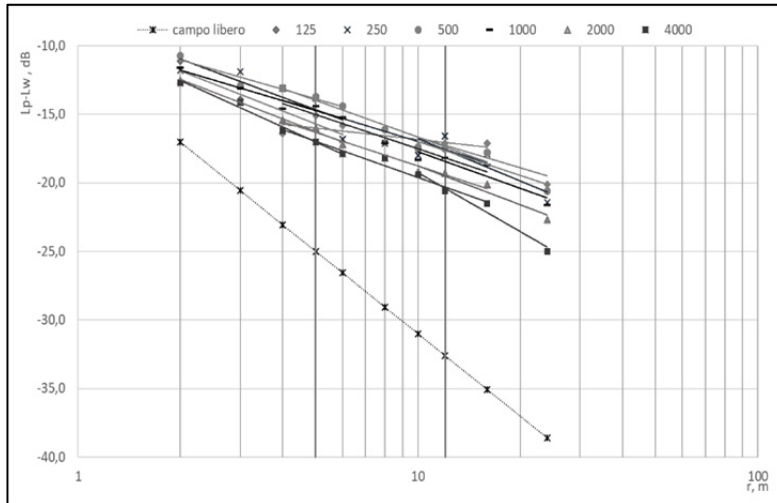


Figura 11 - Rappresentazione grafica dei valori misurati nel caso di studio C in funzione della distanza, su asse logaritmico. Sono riportati i decadimenti in frequenza (125 Hz – 4000 Hz) e il decadimento di riferimento in campo libero (linea -x-).

DISCUSSIONE

L'analisi del parametro DL_2 , unitamente alla suddivisione del campo acustico in regioni, evidenzia alcuni aspetti: l'alto decadimento nella *near region* evidenzia che i livelli di pressione sonora sono fortemente sensibili alla distanza, caratteristica del campo diretto in cui il contributo della sorgente sonora prevale. La *far region*, a causa della lontananza dalla sorgente e dal minore contributo delle riflessioni, presenta due tipi di andamento: un valore di decadimento molto basso (con un andamento quasi orizzontale) se l'ambiente non presenta alcun tipo di trattamento acustico assorbente, (vedi figura 1, ISO 11690-3) un decadimento molto accentuato, viceversa, se l'ambiente è trattato con materiale fonoassorbente. In questo caso il valore di DL_f subisce un sostanziale decremento fino ad assumere, nei casi più trattati, valori negativi (vedi figura 2, ISO 11690-3).

Dal punto di vista dell'esposizione del lavoratore la conoscenza del DL_2 nelle tre regioni è necessaria in quanto:

- il valore DL_2 valutato nella regione *near* rappresenta l'attenuazione sonora tra la singola sorgente sonora e l'operatore. Tale regione non è influenzata da interventi di mitigazione acustica nello spazio circostante (ad es. baffles) ma può essere ridotta solo con interventi di schermatura diretta tra macchinario e operatore;

- il valore DL_2 *middle* può rappresentare l'attenuazione tra un corpo di sorgenti sonore e gli operatori coinvolti in un'area di lavorazione (non necessariamente in posizione fissa). Tale valore è il più significativo per gli interventi di mitigazione acustica basata su correzione spaziale (ad es. baffles) e dati i valori tipici, risulta essere la più critica per un intervento che sia basato solo sulla correzione ambientale (ad es. l'incremento del DL_2 di 1 o 2 dB);
- il valore DL_2 *far*, o ancor più il valore di limite spaziale tra le regioni *middle* e *far* rappresenta la regione 'efficace' in cui gli interventi di mitigazione (ad es. baffles) possono risultare significativi. Oltre tale soglia spaziale è trascurabile il contributo delle sorgenti sonore, o meglio lo è solo in rapporto all'assorbimento acustico totale dell'ambiente.

Analizzando i valori di DL_2 nella *near region* si osserva che il caso studio A presta valori adeguati (6,1 dB) mentre i casi studio B e C presentano valori molto inferiori a quelli target (2,8 dB e 2,6 dB) indicati dalla ISO 11690-3. I valori di DL_2 nella *middle region* sono simili in tutti e tre gli stabilimenti e risultano essere, anche se con qualche differenza, prossimi al range ideale (5,2 e 5,7 dB). I valori di DL_2 nella *far region* risultano essere i più critici perché in nessuno dei tre casi soddisfano il target della normativa ISO 11690-3, con una particolare criticità del caso C (2,9 dB). Come nel caso della *near region*, le differenze nei valori misurati nella *middle region* sono riconducibili alla diversa disposizione dei macchinari, alla diversa copertura o ai materiali presenti all'interno dello stabilimento. In particolare, i valori di DL_2 nella *middle region* indicano chiaramente che in nessuno degli ambienti oggetto di analisi sono presenti baffles o altri elementi capaci di attenuare la propagazione sonora nella direzione orizzontale, a meno dell'attenuazione intrinseca fornita dalle capriate o dalle coperture a shed.

Nell'analisi parametro DL_f dei tre casi studio ci si è concentrati sui valori della *far region* che, come si è visto in precedenza, sono gli unici che risentono della presenza o meno di superfici assorbenti in ambiente. Le curve di decadimento nella *far region* presentano una pendenza marcata, ma la distanza rispetto alla curva di decadimento in campo libero risulta elevata, e quindi lontana dalla condizione ottimale. Questo risultato può essere riconducibile al fatto che in nessuno stabilimento erano presenti trattamenti di miglioramento acustico, come pannelli fonoassorbenti o baffles, che hanno la finalità di mitigare il campo sonoro diffuso.

CONCLUSIONI

Il metodo di misura fornito dalla ISO 14257 permette una rigorosa caratterizzazione acustica degli ambienti industriali. Il decadimento dell'energia sonora al raddoppio della distanza risulta essere un parametro fondamentale per la comprensione del comportamento acustico dell'ambiente, soprattutto se suddiviso in regioni di influenza. La conoscenza delle caratteristiche del campo sonoro e della propagazione del suono nello spazio sono fondamentali per poter individuare interventi di mitigazione atti a garantire il comfort psico-fisico dei lavoratori.

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro rientra all'interno del progetto INAIL BRIC 2016 ID 27. Si ringraziano l'ing. Silvia Goldoni, l'azienda USL di Modena e le aziende dei casi studio per la disponibilità.

BIBLIOGRAFIA

- [1] UNI EN ISO 14257:2001 Acoustics — Measurement and parametric description of spatial sound distribution curves in workrooms for evaluation of their acoustical performance.
- [2] Silvia Goldoni, Antonio Santarpia, Nino Della Vecchia – Azienda USL di Modena; Pietro Nataletti, Massimo Garai, Dario D'Orazio. 2019. Uniformità ed efficacia della vigilanza in materia di rumore: il progetto BRIC. Atti dBA2019 - Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro, Bologna.
- [3] Dario D'Orazio, Elena Rossi, Massimo Garai. 2018. Comparison of different in situ measurements techniques of intelligibility in an open-plan office. *Building Acoustics* 25.2: 111-122.
- [4] Dario D'Orazio, Elena Rossi, Massimo Garai. 2018. Comparison of different in situ measurements techniques of intelligibility in an open plan office. Proc. of the 11th Euronoise Convention, Crete.
- [5] Elena Rossi, Dario D'Orazio, Massimo Garai. 2018. Influenza del rumore di fondo sulle misure di intelligibilità negli uffici open plan. Atti 25° Convegno AIA, Aosta.
- [6] Dario D'Orazio, Elena Rossi, Massimo Garai. 2018. Il comfort acustico degli uffici open plan. Proc. of dBA2018 - Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro, Bologna.

- [7] Dario D’Orazio, Elena Rossi, Domenico De Salvio, Massimo Garai. 2019. Measuring and identifying background noises in offices during work hours. Proc. of the 23rd ICA Convention, Aachen.
- [8] Elena Rossi, Domenico De Salvio, Dario D’Orazio. 2019. Metodi statistici per identificare e misurare le sorgenti di rumore negli uffici open plan. Atti 26° Convegno AIA, Pesaro.
- [9] UNI EN ISO 11690-3:1999 Acoustics — Recommended practice for the design of low-noise workplaces containing machinery - Part3: Sound propagation and noise prediction in workrooms.
- [10] D’Orazio, D., De Cesaris, S., Guidorzi, P., Barbaresi, L., Garai, M., Magalotti, R. 2016. Room acoustic measurements using a high SPL dodecahedron. Proc. of the 140th AES Convention, Paris.
- [11] IEC 61260-1:2014 Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters - Part 1: Specifications
- [12] UNI EN ISO 3382-1:2009 Acoustics — Measurement of room acoustic parameters. Part 1: Performance spaces.
- [13] UNI EN ISO 3741:2010 Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for reverberation test rooms.
- [14] UNI EN ISO 3744:2010 Acoustics -- Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure.
- [15] UNI EN ISO 354:2003 Acoustics -- Measurement of sound absorption in a reverberation room.

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

UNIFORMITÀ ED EFFICACIA DELLA VIGILANZA IN MATERIA DI RUMORE: IL PROGETTO BRIC

Silvia Goldoni⁽¹⁾, Antonio Santarpia⁽¹⁾, Nino Della Vecchia⁽¹⁾

(1) Azienda USL di Modena

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.

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.

Recentemente in Italia si è assistito alla diminuzione del numero complessivo degli infortuni denunciati, a fronte di un incremento delle denunce di sospette malattie professionali: tale fenomeno non è attribuibile al peggioramento delle condizioni lavorative, quanto piuttosto alla "emersione" delle stesse malattie professionali, grazie ad azioni di sensibilizzazione ed accrescimento della consapevolezza dei rischi lavorativi, ad adeguamenti normativi e, ovviamente, come conseguenza delle azioni di vigilanza.

L'azione pubblica per il miglioramento dei livelli di tutela dei lavoratori non può essere meramente sanzionatoria e repressiva, al contrario 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.

In questa logica non si può prescindere dalla valutazione dell'efficacia delle attività di prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali svolte dalle amministrazioni pubbliche.

L'utilizzo di strumenti di vigilanza da parte degli enti preposti è indispensabile per garantire uniformità ed equità dell'azione ispettiva sul

territorio; inoltre consente di acquisire informazioni omogenee relativamente allo stato di attuazione della normativa di tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, finalizzati anche alla valutazione dell'efficacia dell'attività ispettiva e di promozione della salute attuata dagli enti preposti.

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.

In questo lavoro vengono riportati i risultati delle attività svolte nell'ambito del suddetto progetto BRIC, ed in particolare:

1. tre casi studio di “rivalutazione” di altrettante aziende già oggetto di vigilanza, per monitorare a distanza di tempo l'efficacia degli interventi attuati
2. due casi studio relativi a “nuovi interventi” di vigilanza in aziende appartenenti a comparti a maggior rischio rumore.

I casi studio offrono spunti di riflessione sulla efficacia degli interventi ispettivi, sulla necessità di strumenti operativi per gli addetti alla vigilanza al fine di garantire uniformità, nonché sulle principali criticità nell'adempimento alla normativa da parte dei Datori di Lavoro.

RIVALUTAZIONE DI AZIENDE GIÀ OGGETTO DI VIGILANZA PER MONITORARE A DISTANZA DI TEMPO L'EFFICACIA DEGLI INTERVENTI ATTUATI. TRE CASI STUDIO.

Caso studio A

L'azienda appartiene al settore metalmeccanico e svolge prevalentemente attività di assemblaggio di telai per autobus.

L'attività produttiva viene eseguita all'interno di un capannone suddiviso in due campate, separate tra loro da un muro in laterizio e comunicanti mediante tre portoni.

Le principali lavorazioni meccaniche svolte consistono nel taglio, calandratura, foratura di particolari in lamiera e tubolari, provenienti da fornitori esterni, e nel successivo assemblaggio tramite saldatura a filo dei componenti; infine vengono svolte lavorazioni di rifinitura, in caso di bisogno, quali carteggiatura e verniciatura. Il manufatto finale è un telaio per

autobus che viene ritirato dal cliente per le successive fasi di costruzione del veicolo.

Oltre a questa attività, svolta all'interno dello stabilimento produttivo, l'azienda svolge anche lavorazioni presso cantieri esterni, quali il montaggio di pannelli metallici, cancelli, recinzioni e portoni.

Complessivamente gli addetti alle lavorazioni all'interno del capannone sono 14 e operano su un unico turno di lavoro giornaliero.

L'intervento ispettivo è stato programmato nell'ambito del "piano di vigilanza mirato rischi fisici": considerata la tipologia produttiva, oltre al controllo generale della applicazione del D.Lgs. 81/08 per la tutela della sicurezza e salute dei lavoratori, è stato approfondito il rischio rumore.

È stato acquisito il Documento di Valutazione dei Rischi, nel quale il rischio di esposizione a livelli elevati di rumore viene identificato e valutato con misure strumentali in base alle quali vengono rilevati i seguenti livelli di esposizione giornaliera al rumore (espresso in dBA):

Reparto	Codice	Mansione	$L_{ex,8h}$	esp. a vibraz.	esp. a ototossici	rumori impulsivi	segnali di avvertimento o altri suoni
officina	A00	carpentiere	81,7	HAV	solventi	SI	NO
	A01	addetto assemblaggio	84,4	HAV	solventi	SI	NO
	A02	Jolly manuten_zione	87,3	HAV	solventi	SI	NO
	A03	Responsab. produzione/uffici	87,3	HAV - WBV	solventi	SI	NO
	A04	carrellista	87,3	HAV - WBV	solventi	SI	NO
uffici	B00	Responsab. ufficio	78,6	HAV	NO	NO	NO

a fronte dei seguenti rilievi strumentali di sorgenti di rumore:

cod.rif.	Descrizione	Leq (dBA)	Ppeak (dBC)	Rumore impulsivo	Allarmi / suoni
F1	CESOIA CMU rilievo eseguito durante il taglio di una lamiera in ferro	80,1	103,2	SI	NO
F2	TAGLIO AL PLASMA	90,0	111,4	NO	NO
F3	TAGLIO ABRASIVO IBP rilievo eseguito durante il taglio di un tubolare in ferro	95,1	108,9	NO	NO
F4	TROCATRICE THOMAS MOD. 310 rilievo eseguito durante il taglio di un	78,4	97,6	NO	NO

cod.rif.	Descrizione	Leq (dBA)	Ppeak (dBC)	Rumore impulsivo	Allarmi /suoni
	tubolare in ferro				
F5	TROCATRICE SHARK MOD 320 AXI rilievo eseguito durante il taglio di un tubolare in ferro	83,4	100,6	NO	NO
F6	SMERIGLIATRICE DISCO LAMELLARE GRANDE MARCA MAKITA MOD. GA9010C taglio scocca in ferro	102,1	115,7	NO	NO
F7	SEGA A NASTRO SHARK MOD 260 rilievo eseguito durante il taglio di un tubolare in ferro	84,1	106,8	NO	NO
F8	PRESSA PUNZONATRICE HME rilievo eseguito durante il taglio di un cerchio in lamiera di ferro	84,1	111,3	SI	NO
F9	SMERIGLIATRICE DISCO LAMELLARE PICCOLO MARCA MAKITA MOD. GA955 levigatura scocca in ferro	87,9	106,3	NO	NO
F10	SMERIGLIATRICE DISCO LAMELLARE GRANDE MARCA MAKITA MOD. GA9010C levigatura scocca in ferro	88,0	106,3	NO	NO
F11	MARTELLATURA	96,3	122,5	SI	NO
F12	SEGA A NASTRO SHARK MOD 270 SX rilievo eseguito durante il taglio di un tubolare in ferro	84,6	100,1	NO	NO
F13	SALDATRICE A FILO	81,0	108,9	SI	NO
F14	TRAPANO MANUALE PORTATILE ELETTRICO HITACHI DM 20 V foratura cemento	96,7	112,4	NO	NO
F15	SALDATRICE A FILO PORTATILE HOBART	79,9	107,3	NO	NO
F16	MARTELLO DEMOLITORE ELETTRONEUMATICO DE WALT MOD. D25831K	97,5	121,7	NO	NO

e ambientali:

cod.rif.	Descrizione	Leq (dBA)	Ppeak (dBC)	Rumore impulsivo	Allarmi / suoni
A1	AMBIENTALE CARPENTERIA rilievo eseguito durante normali lavorazioni di carpenteria	76,0	111,2	SI	NO
A2	AMBIENTALE ASSEMBLAGGIO rilievo eseguito durante normali lavorazioni di assemblaggio	74,5	108,1	SI	NO
A3	CARRELLO ELEVATORE DIESEL NON CABINATO LINDE H20 rilievo eseguito all'esterno dei capannoni	79,0	102,1	NO	NO
A4	SCANTONATRICE EUROMAC 200/6 rilievo eseguito durante il taglio angolare di una lamiera in ferro	76,2	102,6	SI	NO
A5	PIEGATRICE FEMAS rilievo eseguito durante la piegatura di una lamiera in ferro	75,7	96,9	NO	NO
A6	CALANDRA TAURING	67,4	101,8	NO	NO
A7	TRAPANO A COLONNA TITEX rilievo eseguito durante la foratura di un tubolare in ferro	72,0	99,0	NO	NO
A8	TRAPANO A COLONNA FAMUD rilievo eseguito durante la foratura di un tubolare in ferro	70,5	106,5	NO	NO
A9	TRAPANO A COLONNA SERRMAC rilievo eseguito durante la foratura di un tubolare in ferro	79,3	108,3	SI	NO
A10	CALANDRA ERCOLINA CE85	74,2	109,7	NO	NO
-	AMBIENTALE UFFICIO	< 80,0	< 135,0	NO	NO
-	AMBIENTALE ESTERNO	< 70,0	< 135,0	NO	NO
-	AMBIENTALE CANTIERE	< 80,0	< 135,0	NO	NO

Nell'ambito del documento di valutazione dei rischi non sono state individuate specifiche misure di prevenzione e protezione per il rischio rumore, ad esclusione della fornitura di DPIu e della sorveglianza sanitaria. Dagli accertamenti eseguiti è emerso che gli esiti della sorveglianza sanitaria hanno evidenziato il peggioramento dello stato di salute di un lavoratore,

mentre per gli altri è risultata invariata rispetto al controllo precedente; complessivamente su 14 lavoratori 9 lavoratori presentano ipoacusia da rumore, di cui 5 di primo grado e 3 di secondo grado.

L'attività di vigilanza ha consentito di accertare che il datore di lavoro non ha elaborato il Piano Aziendale di Riduzione dell'Esposizione al rumore (P.A.R.E.), a fronte di lavoratori esposti ad un livello di esposizione giornaliera al rumore superiore al limite di esposizione fissato dall'art.189 del D.Lgs.81/08, pari a $L_{ex} = 87$ dB(A).

Pertanto è stato adottato un verbale di prescrizione nei confronti del Datore di Lavoro della ditta, ai sensi dell'art. 20 del D.Lgs. 758/94 per la violazione dell'art.192 comma 2 del D.Lgs.81/08, con il quale si è prescritto di elaborare ed applicare un programma di misure tecniche e organizzative volte a ridurre l'esposizione al rumore, contestualmente provvedendo ad aggiornare la valutazione del rischio rumore, nella quale sono presenti esposizioni sottostimate, come evidenziato dai rilievi strumentali eseguiti dagli ispettori in occasione del sopralluogo.

Per l'adempimento alla prescrizione sono stati concessi 90 giorni; entro il termine temporale il Datore di Lavoro ha provveduto ad elaborare il P.A.R.E. e pertanto è stato ammesso al pagamento della sanzione amministrativa.

Il P.A.R.E., elaborato a seguito della prescrizione, include la realizzazione dei seguenti interventi di bonifica:

- utilizzo di dischi in carta per le operazioni di levigatura (con smeriglio) o di dischi piccoli in pietra;
- utilizzo di martello in teflon nelle operazioni di martellatura per correggere eventuali difetti della lamiera della scocca (eliminazione della mazza in ferro);
- intervento organizzativo sull'orario di utilizzo del martello in fasce limitate e con operatori addetti alla specifica operazione.

Con tale interventi è stata prevista la riduzione dell'esposizione a rumore pari a 3,6 dBA per le mansioni A02, A03, A04, che superano i valori superiori d'azione, come evidenziato nella seguente tabella:

Ricettore	Stato di Fatto (dBA) Lex,8h	Riduzione rumore prevista (dBA)
A02 – Jolly / manutenzione	87,3	3,6
A03 – Responsabile produzione / Uffici	87,3	3,6
A04 - Carrellista	87,3	3,6

I risultati evidenziano come semplici interventi di tipo tecnico e organizzativo, con costi anche ridotti, hanno consentito di portare il livello di

esposizione giornaliera al di sotto dei valori superiori di azione, con un'attenuazione dell'ordine di 3-4 dBA.

L'azienda è stata oggetto di un nuovo intervento ispettivo per la verifica dell'attuazione delle misure previste nel P.A.R.E. e l'effettiva riduzione al rumore dei lavoratori addetti. Il Documento di Valutazione dei Rischi acquisito in tale occasione evidenzia i seguenti livelli di esposizione:

Codice	Mansione	L* _{ex,8h} (con incertezza)	Ppeak massimo	esp. a vibraz.	esp. a ototosi sici	rumori impul_ sivi	segnali di avverti_ment o o altri suoni
A00	carpentiere	84,1	119,3	HAV	NO	SI	NO
A01	addetto assemblaggio	85,1	134,5	HAV	SI	SI	NO
A02	Jolly / manuten_ zione	85,7	114,8	HAV	NO	SI	NO
A03	Responsa b.produzi one/uffici	85,9	114,8	HAV	NO	SI	NO
A04	carrellista	83,2	114,8	HAV - WBV	NO	SI	NO
B00	Responsa b. ufficio	74,1	107,5	WBV	NO	NO	NO

a fronte dei seguenti rilievi di sorgenti:

cod.rif.	Descrizione	Leq (dBA)	Leq (dBC)	Ppeak (dBC)	Rumore impulsivo	Allarm i / suoni
F1	SALDATRICE	79,3	79,7	114,8	NO	NO
F2	FLESSIBILE GRANDE MAKITA rilievo eseguito sulla mano destra	101,5	100,0	118,0	NO	NO
F3	FLESSIBILE GRANDE MAKITA rilievo eseguito sulla mano sinistra	103,4	101,9	119,3	NO	NO
F4	FLESSIBILE PICCOLO MAKITA	82,3	81,5	97,9	NO	NO
F5	SEGA CIRCOLARE MAKITA	96,3	95,2	114,5	NO	NO
F6	SMERIGLIATRICE PER RESINA	85,9	87,6	100,9	NO	NO
F7	TRAPANO AD ARIA AIRTECH	81,2	80,4	100,7	NO	NO
F8	CESOIA CMUE068/30	83,6	87,3	110,4	NO	NO
F9	TRANCIA LAMIERE EUROMAC	77,7	80,2	108,0	NO	NO
F10	PIEGATRICE EMAS	72,8	78,1	105,6	NO	NO
F11	SEGA	86,8	86,5	108,8	NO	NO

	SEMIAUTOMATICA SHARK 270						
F12	TRAPANO COLONNA SERRMAC	A	78,0	79,9	100,8	NO	NO
F13	MOLA AFFILARE PUNTE	PER LE	80,7	81,6	101,5	NO	NO
F14	TRAPANO AVVITATORE DEWALT	E	80,8	80,7	103,2	NO	NO
F15	CABINA VERNICIATURA	DI	75,2	82,8	100,1	NO	NO
F16	CARRELLO ELEVATORE LINDE		79,4	92,8	108,1	NO	NO
F17	CALANDRA		88,8	90,0	111,6	NO	NO
F18	SCHIACCIATUBOLI PIEGATRICE	ARI TIPO	76,1	79,4	109,8	NO	NO
F19	TAGLIO PLASMA	AL	88,8	88,0	113,8	NO	NO
F20	CANNELLO		80,7	81,0	112,6	NO	NO
F21	MARTELLINO TEFLON	IN	93,8	95,2	124,0	SI	NO
F22	MARTELLINO FERRO	IN	103,2	102,4	134,5	SI	NO
F23	CARROPONTE		78,5	80,2	102,4	NO	NO

e ambientali:

cod.rif.	Descrizione	Leq (dBA)	Leq (dBC)	Ppeak (dBC)	Rumore impulsivo	Allarmi / suoni
A1	AMBIENTALE UFFICIO	50,9	64,0	80,4	NO	NO
A2	AMBIENTALE ASSEMBLAGGIO rilievo 1	71,9	71,8	95,4	NO	NO
A3	AMBIENTALE ASSEMBLAGGIO rilievo 2	76,4	76,9	108,3	NO	NO
A4	AMBIENTALE ASSEMBLAGGIO rilievo 3	79,7	81,3	107,5	NO	NO
A5	AMBIENTALE CARPENTERIA	77,6	78,5	106,6	NO	NO

In sostanza gli interventi attuati hanno consentito la riduzione del $L_{ex,8h}$ rispetto alla situazione precedente, tuttavia in misura minore in considerazione di quanto previsto nel P.A.R.E; inoltre i risultati evidenziano ancora il superamento dei valori superiori di azione, considerata la correzione dovuta all'incertezza.

Relativamente alla sorveglianza sanitaria, si evidenzia che l'attuale Medico Competente ha stabilito le audiometrie con le seguenti periodicità:

- triennale per gli addetti esposti a valori al di sotto dei valori superiori di azione
- biennale per gli addetti esposti a valori al di sopra dei valori superiori di azione.

Gli esiti della sorveglianza sanitaria evidenziano ancora la presenza di 2 addetti affetti da ipoacusia da rumore di secondo grado.

Caso studio B

L'azienda appartiene al settore alimentare e svolge attività di lavorazione di frutta, ortaggi e legumi per la produzione di conserve. La lavorazione è di tipo stagionale in quanto ovviamente legata alla disponibilità della materia prima.

Nello stabilimento produttivo all'interno del laboratorio si trovano diverse linee produttive, tra cui la *linea legumi* e la *linea di lavorazione del pomodoro*.

Al momento del primo accesso ispettivo era in funzione la *linea dei legumi*: complessivamente gli addetti alle lavorazioni erano sei e operavano su due o tre turni di lavoro, a seconda delle esigenze produttive.

L'intervento ispettivo è stato programmato nell'ambito del piano di vigilanza mirato "rischi fisici": considerata la tipologia produttiva, oltre al controllo generale della applicazione del D.Lgs. 81/08 per la tutela della sicurezza e salute dei lavoratori, è stato approfondito il rischio rumore.

È stato acquisito il Documento di Valutazione dei Rischi, nel quale il rischio di esposizione a livelli elevati di rumore viene identificato e valutato con misure strumentali; in particolare per le mansioni di *addetto alla conduzione linea cernita e calibratura legumi* e *addetto alla conduzione linea prepulitura* vengono rilevati livelli di esposizione giornaliera al rumore maggiori dei valori superiori di azione e anche del valore limite di esposizione.

Ciò nonostante la ditta avesse già effettuato un intervento di bonifica acustica della *linea legumi*, che consisteva nella installazione di una cabinatura della linea stessa. Tale cabinatura risultava tuttavia incompleta, nel senso che la linea di lavorazione dei legumi era solo parzialmente segregata e pertanto il risultato della bonifica era scadente.

Considerato che la ditta aveva autonomamente elaborato un P.A.R.E. ed adottato come intervento di miglioramento la cabinatura (anche se incompleta) della *linea legumi*, gli operatori addetti alla vigilanza hanno deciso di disporre al Datore di Lavoro il miglioramento delle misure tecniche ed organizzative al fine di ottimizzare e rendere efficace la bonifica acustica già parzialmente realizzata. Per l'adempimento alla disposizione, considerata la complessità dell'intervento, sono stati concessi fino a 9 mesi. Entro tale termine temporale il Datore di Lavoro ha provveduto all'adeguamento della

bonifica della *linea legumi*: infatti dagli accertamenti eseguiti (successivamente all'attuazione della bonifica) con rilievi strumentali, è emerso che i livelli equivalenti misurati nelle postazioni occupate dagli addetti *alla conduzione linea cernita e calibratura legumi e alla conduzione linea prepulitura* sono diminuiti di circa 11 dBA.

Oltre alla disposizione, ai sensi dell'art. 70 comma 4 del D.Lgs. 81/08, è stata inviata segnalazione al Ministero dello Sviluppo Economico, in quanto il costruttore dell'impianto *linea legumi* non ha rispettato i seguenti requisiti essenziali di sicurezza dell'Allegato I della Direttiva Macchine:

- punto 1.7.4: assenza del Manuale d'Istruzione dell'Impianto nel suo complesso
- punto 1.7.4.2 lettera u): assenza della indicazione dei livelli di pressione sonora e di potenza acustica emessi dall'Impianto
- punto 1.5.8: assenza di misure per la riduzione del rumore derivante dalla lavorazione legumi (ad esempio mediante adeguata apposizione di lamiera doppia smorzata nei punti di urto con le parti metalliche dell'impianto, oppure fornendo la cabinatura acustica delle singole macchine).

In occasione del sopralluogo eseguito a distanza di anni per la verifica dell'efficacia dell'intervento di vigilanza la *linea legumi* non era in funzione, tuttavia l'intervento di bonifica con cabinatura risultava ancora presente ed il Documento di Valutazione del Rischio Rumore evidenziava livelli espositivi per gli addetti ridotti di circa 11 dBA rispetto ai valori precedenti alla bonifica.

Durante tale accesso ispettivo erano in corso le lavorazioni sulla linea del pomodoro.

Il Documento di Valutazione dei Rischi acquisito in tale occasione evidenzia livelli espositivi per gli addetti alla *linea pomodoro* superiori ai valori superiori di azione ad anche ai valori limite di esposizione, come di seguito riportato:

Mansione	Lex,8h (dBA)	Lpicco (dBC)
Addetto cernita pomodoro pelato	90,6	108,9
Addetto aggraffatrice	90,3	106,9
Aggraffatore	89,9	112,7
Addetto cernita pomodoro fresco	89,0	106,7
Responsabile produzione pomodoro	88,9	112,7
Meccanico linea	86,0	112,7
Addetto pallettizzatore	85,9	105,2
Addetto depuratore	85,0	113,3

Nell'ambito del Documento di Valutazione dei Rischi viene identificata la necessità di elaborare ed applicare un Programma Aziendale di Riduzione dell'Esposizione al rumore (il cosiddetto PARE). Tuttavia con l'attività di vigilanza è stato accertato che il Datore di Lavoro ha elaborato un P.A.R.E. limitatamente alla *linea legumi* (di cui sopra) mentre in relazione alla *linea*

pomodoro e alle altre linee produttive, per le quali il DVR evidenzia il superamento dei valori superiori di azione, il P.A.R.E. presente non riporta tutti i contenuti previsti dalla norma tecnica UNI 11347:2015.

Conseguentemente è stato emesso un altro atto dispositivo, con il quale si è disposto di integrare il P.A.R.E. esistente e relativo di fatto alla sola *linea legumi*, con gli interventi tecnici ed organizzativi concretamente attuabili in tutte le postazioni di lavoro dello stabilimento.

Tenuto conto della stagionalità, sono stati concessi 12 mesi per la redazione delle integrazioni al P.A.R.E. ed i termini sono tuttora in corso.

Relativamente alla sorveglianza sanitaria, in seguito agli accertamenti è stato emesso un ulteriore atto dispositivo nei confronti del Medico Competente, con il quale è stata disposta la ripetizione degli esami audiometrici di tutti i lavoratori esposti a livelli superiori ai valori inferiori di azione. Il Medico Competente ha adempiuto e non sono emersi peggioramenti della capacità uditiva dei lavoratori.

In occasione dell'accesso ispettivo gli Ufficiali di polizia Giudiziaria hanno effettuato misure strumentali che hanno confermato i livelli espositivi del Documento di Valutazione dei Rischi.

Caso studio C

L'azienda appartiene al settore metalmeccanico e svolge lavorazioni meccaniche di fresatura, tornitura, foratura, dentatura, rettifica e saldatura, finalizzate alla produzione di componenti meccanici per macchine movimento terra.

Le lavorazioni meccaniche vengono svolte all'interno di due capannoni distinti; complessivamente i lavoratori sono circa 80, inclusi gli impiegati e lavorano su un unico turno giornaliero.

L'intervento ispettivo è stato programmato nell'ambito del piano di vigilanza mirato "rischi fisici": considerata la tipologia produttiva, oltre al controllo generale della applicazione del D.Lgs. 81/08 per la tutela della sicurezza e salute dei lavoratori, è stato approfondito il rischio rumore.

È stato acquisito il Documento di Valutazione dei Rischi, nel quale il rischio di esposizione a livelli elevati di rumore viene identificato e valutato con misure strumentali; in particolare per le mansioni di *operaio tornitura 1*, *operaio rampe 1* e *capo reparto rampe* vengono rilevati i seguenti livelli di esposizione giornaliera al rumore (espresso in dBA) e di pressione acustica di picco (espresso in dBC):

n°	QUALIFICA	$L_{ex,8h}$ dBA	Max p_{peak} dBC
36	operaio tornitura 1	84,9 ± 0,9	< 137,0
10	operaio rampe 1	89,2 ± 0,9	< 137,0
8	capo reparto rampe	97,2 ± 0,7	< 137,0

a fronte dei seguenti rilievi strumentali che contribuiscono per le suddette mansioni al superamento dei valori superiori di azione:

Punto	PUNTO DI MISURA	L _{eq} dBA	Tipologia di rumore
REPARTO TORNITURA			
52	M120 – Centro di lavoro verticale ACE V400 (1998) durante fresatura di particolato in acciaio NB2288461	85,9	variabile
REPARTO RAMPE			
85	M788 – Troncatrice a disco LGF XERON – A matr. 320 (2012) durante taglio di profilati in alluminio	89,4	variabile
87	M789 – Fresatrice a disco LGF STAR ALU matr. 426 (2012) durante fresatura di profilati in alluminio	104,5	variabile
88	M790 – Sega a disco LGF PENTA matr. 210 (2012) durante taglio di profilati in alluminio	92,8	variabile
98	M792 – Assemblaggio manuale di rampe in alluminio. Attività di incastro manuale su banco di lavoro	92,9	impulsivo
99	M792 – Assemblaggio manuale di rampe in alluminio con utilizzo di martello e saldatrice a filo WF103 Guidetti matricola 20 00815	90,2	impulsivo
104	Ambientale REPARTO RAMPE durante saldatura e finituravrampe in alluminio. In funzione M791 e M788	86,1	variabile

Al momento dell'accesso ispettivo è stata accertata la presenza di una parziale segregazione della zona lavorazione rampe mediante pannelli fonoassorbenti: l'installazione ha prodotto un peggioramento dei livelli di esposizione dei lavoratori addetti al reparto rampe, documentato anche da misure strumentali effettuate dal consulente incaricato dalla ditta.

In occasione del sopralluogo, a fronte di quanto accertato, considerato inoltre che nel Documento di Valutazione del Rischio rumore vengono superati i valori superiori di azione e la ditta non ha previsto un adeguato piano aziendale per la riduzione dell'esposizione al rumore, è stato emesso un verbale di prescrizione nei confronti del Datore di Lavoro della ditta, ai sensi dell'art. 20 del D.Lgs. 758/94 per la violazione dell'art.192 comma 2 del D.Lgs.81/08, con il quale si è prescritto di dotarsi di un P.A.R.E.: in particolare per ciascuna situazione che presenti livelli di esposizione elevati, il Datore di lavoro dovrà indicare gli interventi tecnici e organizzativi che, tra quelli concretamente attuabili, intende realizzare fissando l'obiettivo acustico, dove tecnicamente possibile.

Per l'adempimento alla prescrizione sono stati concessi 60 giorni; entro il termine temporale il Datore di Lavoro ha provveduto ad elaborare il P.A.R.E. e pertanto è stato ammesso al pagamento della sanzione amministrativa.

Il P.A.R.E. elaborato a seguito della prescrizione include la realizzazione dei seguenti interventi di bonifica:

Mansione	Attività / attrezzatura	Descrizione intervento	Attenuazione attesa sull'attrezzatura	Attenuazione attesa sulla mansione	Costi €
Operaio tornitura 1	Centro di lavoro verticale ACE V400	Sostituzione della attuale pistola ad aria compressa con un modello dotato di silenziatore dell'erogatore	4 dBA	3,5 dBA	50,00
Capo reparto rampe	Sega a disco LGF PENTA	Sostituzione della lama da taglio con modello silenziato. Elaborazione di una procedura di uso e manutenzione delle macchine da taglio	7 dBA	6,5 dBA	350,00
	Fresatrice a disco LGF STAR ALU		7 dBA		550,00
	Troncatrice a disco LGF XERON		7 dBA		150,00
Operaio rampe 1	Assemblaggio manuale di rampe in alluminio. Attività di incastro manuale su banco di lavoro	Definizione di una procedura di montaggio delle rampe per ridurre le emissioni sonore in fase di assemblaggio	3 dBA	2 dBA	\
	Assemblaggio manuale di rampe in alluminio con utilizzo di martello e saldatrice a filo WF103		3 dBA		\

Gli interventi effettuati hanno portato a risultati importanti di riduzione dell'esposizione al rumore, come evidenziato dal Documento di Valutazione dei Rischi aggiornato dal quale risultano i seguenti valori:

Mansione	Lex,8h dBA ante bonifica	Lex,8h dBA post bonifica	Riduzione di rumore dBA
Capo reparto rampe	97,2	84,7	12,5
Operatore rampe 1	89,2	83,9	5,3
Operatore tornitura 1	84,9	81,9	3,0

I risultati evidenziano come interventi organizzativi e tecnici poco costosi hanno portato a risultati ottimali.

In occasione dell'accesso ispettivo eseguito dagli Ufficiali di polizia Giudiziaria per verificare la bontà della bonifica acustica, sono state

effettuate misure strumentali che hanno confermato i livelli espositivi del Documento di Valutazione dei Rischi e il non superamento dei valori superiori di azione dopo gli interventi di bonifica.

Relativamente alla sorveglianza sanitaria, dagli accertamenti eseguiti è emerso che:

- sono state eseguite 43 audiometrie, di cui la metà evidenziano uno stato di ipoacusia;
- il protocollo sanitario non evidenzia tuttavia se vi è stato un peggioramento rispetto al precedente controllo sanitario.

ATTUAZIONE DI NUOVI INTERVENTI DI VIGILANZA NEI COMPARTI A MAGGIOR RISCHIO

Caso studio E

L'azienda appartiene al settore tessile e svolge attività di produzione di etichette e di nastri tessuti.

In particolare nello stabilimento produttivo, oltre alla zona uffici, si trova un laboratorio all'interno del quale viene effettuata la lavorazione vera e propria delle etichette e dei nastri, attraverso il funzionamento di appositi macchinari di tessitura (telai) e di taglio (a ultrasuoni o a caldo); nella medesima area trovano collocazione inoltre il magazzino materie prime ed il magazzino prodotto finito.

La lavorazione prevalente è quella della tessitura, per la quale sono installati venti telai, il cui funzionamento è continuo su tre turni di lavoro; di norma non tutti i telai funzionano contemporaneamente, ciò dipende dagli ordini ricevuti dai clienti.

Le lavorazioni di taglio a ultrasuoni (per la quale sono presenti due attrezzature dedicate), taglio a caldo (per la quale è presente un'attrezzatura dedicata), stiratura e ri-avvolgimento, sono invece operazioni accessorie.

Complessivamente gli addetti alle lavorazioni di tessitura sono quattro, mentre sono tre gli addetti al taglio.

L'intervento ispettivo è stato programmato nell'ambito del piano di vigilanza mirato rischi fisici: considerata la tipologia produttiva, oltre al controllo generale della applicazione del D.Lgs. 81/08 per la tutela della sicurezza e salute dei lavoratori, è stato approfondito il rischio rumore.

È stato acquisito il Documento di Valutazione dei Rischi, nel quale il rischio di esposizione a livelli elevati di rumore viene identificato e valutato con misure strumentali; in particolare per le mansioni di *addetto alla tessitura* e *addetto al taglio* vengono rilevati i seguenti livelli di esposizione giornaliera

al rumore (espresso in dBA) e di pressione acustica di picco (espresso in dBC):

Gruppo omogeneo	Lex8h dBA	ppeak dBC
Addetto tessitura	93,0	111,9
Addetto taglio	91,0	111,9

a fronte dei seguenti rilievi strumentali:

id.	Descrizione	Leq dBA	ppeak dBC
1	Ambientale uffici	59,7	87,4
2		63,1	94,5
3		67,9	97,9
4	Ambientale deposito filati (p.t.)	88,2	104,7
5		88,3	104,8
6		88,0	106,1
7	Ambientale reparto taglio durante taglio a ultrasuoni	89,2	104,5
8		89,1	105,0
9		89,6	105,5
10	Ambientale reparto tessitura lato uffici (13 telai in funzione)	92,6	108,2
11		92,7	108,4
12		92,9	109,9
13	Ambientale reparto tessitura centro ambiente (13 telai in funzione)	92,7	107,9
14		93,3	109,2
15		93,8	110,0
16	Ambientale reparto tessitura cabina insonorizzata (13 telai in funzione)	93,5	109,4
17		92,1	110,3
18		91,5	109,3
19	Ambientale magazzino durante imballaggio prodotto finito	87,2	103,8
20		86,3	103,9
21		87,5	104,5
22	Cabina insonorizzata	63,8	89,5
23		64,5	90,1
24		64,3	90,3
25	Ambientale magazzino soppalco (sopra uffici)	85,9	106,6
26		85,3	104,4
27		86,4	107,5

Le misure di prevenzione e protezione correttamente identificate nell'ambito del documento di valutazione dei rischi sono:

- Elaborazione ed applicazione di un Programma Aziendale di Riduzione dell'Esposizione al rumore (il cosiddetto PARE)
- Progettazione ed installazione di schermature, involucri o rivestimenti realizzati con materiali fonoassorbenti aventi adeguate caratteristiche di abbattimento
- Programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro (macchine per tessitura) e del luogo di lavoro
- Adozione di sufficienti periodi di riposo, all'interno della cabina insonorizzata

- Nel caso di sostituzione delle attrezzature ed in caso di nuovi acquisti scelta di attrezzature di lavoro che emettano il minor rumore possibile
- Installazione di segnaletica di sicurezza presso gli accessi al reparto produzione ed all'interno del reparto, indicante il pericolo derivante dal livello di rumore presente nonché l'obbligo di indossare i DPI-u
- Sorveglianza sanitaria
- Informazione, formazione e addestramento dei lavoratori sull'uso corretto delle attrezzature di lavoro e dei DPI-u
- Fornitura di idonei DPI-u.

Dagli accertamenti eseguiti è emerso che gli esiti della sorveglianza sanitaria non hanno evidenziato peggioramenti dello stato di salute dei lavoratori.

Tuttavia con l'attività di vigilanza è stato accertato che il datore di lavoro non ha elaborato il Piano Aziendale di Riduzione dell'Esposizione al rumore (P.A.R.E.), nonostante il documento di valutazione dei rischi lo identifichi tra le misure tecniche ed organizzative, a fronte di lavoratori *addetti alla tessitura e al taglio* esposti ad un livello di esposizione giornaliera al rumore pari a 93,0 dBA e 91,0 dBA rispettivamente, superiori al limite di esposizione fissato dall'art.189 del D.Lgs.81/08, pari a $L_{EX} = 87$ dB(A).

Pertanto è stato adottato un verbale di prescrizione nei confronti del Datore di Lavoro della ditta, ai sensi dell'art. 20 del D.Lgs. 758/94 per la violazione dell'art.192 comma 2 del D.Lgs.81/08, con il quale si è prescritto di elaborare ed applicare un programma di misure tecniche e organizzative volte a ridurre l'esposizione al rumore dei lavoratori addetti alla tessitura e al taglio, mediante interventi sulle sorgenti di rumore (ad esempio isolamento totale o parziale dei telai di tessitura, smorzamento delle vibrazioni) e/o sull'ambiente di lavoro (ad esempio trattamenti fonoassorbenti ambientali).

Ciò tenuto conto del fatto che l'utilizzo della cabina di riposo acustico, pur presente all'interno dello stabilimento produttivo, pare non essere una misura efficace di riduzione dell'esposizione dei lavoratori al rumore, in quanto gli addetti alla tessitura devono sostare all'interno del laboratorio per la maggior parte del tempo lavorativo, per vigilare e garantire il corretto funzionamento dei telai di tessitura. Analogamente gli addetti al taglio si trovano esposti al rumore generato dai telai di tessitura e non possono usufruire adeguatamente della cabina di riposo acustico, in quanto la mansione prevede che il lavoratore stazioni in prossimità delle macchine di taglio.

Per l'adempimento alla prescrizione sono stati concessi 90 giorni; entro il termine temporale il Datore di Lavoro ha provveduto ad elaborare il

P.A.R.E. e pertanto è stato ammesso al pagamento della sanzione amministrativa.

Il P.A.R.E. elaborato a seguito della prescrizione include la realizzazione dei seguenti interventi di bonifica:

- A. Trattamento fonoassorbente della copertura e delle pareti tramite installazione di baffles fonoassorbenti appesi in copertura, realizzati con pannelli in fibra di poliestere spessore 4cm - dimensioni 120x60 installati allineati a distanza 180cm o 360 cm nelle differenti aree di copertura con interasse 180cm; la medesima tipologia di pannelli è prevista installata in aderenza sulla parete al di sopra dei ripiani del magazzino realizzando quattro settori fonoassorbenti di 1,2m x 7,2m.
- B. Pannelli Fonoisolanti/assorbenti su telai: posizionamento di pannelli multistrato in fibra di poliestere/gomma/fibra di poliestere da fissare sui parapetti dei ballatoi di passaggio per la manutenzione del corpo superiore dei telai.
- C. Setto isolante e fonoassorbente settore ultrasuoni: partizione alta 4,0 m per separare la zona per lavorazione ad ultrasuoni dalle superiori emissioni della zona telai. Il setto sarà realizzato con pannelli sandwich bi-assorbenti in lamiera forata/lana minerale/lamiera forata più lamina flottante per aumentare il potere fonoisolante
- D. Setto isolante magazzino: realizzazione di una partizione alta 6,0m in cartongesso per separare il magazzino dalla zona telai; sul lato magazzino saranno collocati in aderenza alla nuova parete al di sopra delle scaffalature presenti pannelli fonoassorbenti della stessa tipologia prevista al punto A.
- E. Barriere Mobili: la zona magazzino tessuti è priva di significative sorgenti sonore, in questo caso al fine di garantire la separazione dall'area telai più rumorosa si propone la realizzazione di due barriere acustiche mobili che potranno essere utilizzate anche per ridurre l'esposizione di personale che svolga lavorazioni su telai spenti.

Con tale intervento sono previsti i seguenti livelli di riduzione del rumore:

Ricettore	Stato di Fatto (dBA)	Stato di Progetto (dBA)	Riduzione rumore prevista (dBA)
Media magazzino tessuti	92,0	86,9	5,1
Media zona cucitrici	92,6	84,5	8,1
Media Magazzino	92,7	84,9	7,8
Media Lavorazioni	95,7	93,5	2,2
Lavoratore tra telai spenti	94,9	91,1	3,8

Lavoratore su telaio acceso	94,9	93,5	1,4
Lavoratore tra telai accesi	97,6	97,0	0,6

I risultati evidenziano come i trattamenti fonoassorbenti assicurano buoni risultati di mitigazione, maggiori all'incrementare della distanza dai telai; questi interventi abbinati alla graduale partizione dell'area di lavoro, permettono di portare le aree non direttamente esposte ai telai su livelli di rumorosità inferiori agli 87,0 dB(A) ed in molti casi inferiori agli 85 dB(A).

Il risultato previsto pur prevedendo comunque livelli di rumorosità medio-alti deve essere considerato buono in quanto: permette alla maggior parte dell'area produttiva di risultare al di sotto del valore di 87 dB(A) ed assicura anche in corrispondenza delle aree più rumorose un'attenuazione dell'ordine di 2-3 dB(A).

In occasione dell'accesso ispettivo gli Ufficiali di polizia Giudiziaria hanno effettuato misure strumentali che hanno confermato i livelli espositivi del Documento di Valutazione dei Rischi.

L'azienda sarà oggetto in futuro di un nuovo intervento ispettivo per verificare l'attuazione delle misure previste nel P.A.R.E. e l'effettiva riduzione al rumore dei lavoratori addetti.

Caso studio F

L'azienda appartiene al settore alimentare e svolge attività di imbottigliamento di vini frizzanti e spumanti.

Il vino arriva tramite autocisterne e viene stoccato all'interno di autoclavi; in modo automatizzato il vino viene inviato alla linea di imbottigliamento: le bottiglie di vetro entrano nella linea dove vengono lavate, riempite, tappate, etichettate ed imballate in cartoni.

Le sorgenti principali di rumore sono: gli urti tra le bottiglie di vetro durante la loro movimentazione, l'uso di aria compressa, la macchina per la etichettatura delle bottiglie.

All'interno dello stabilimento produttivo si trovano, separati rispetto al reparto imbottigliamento, il magazzino prodotto finito automatico e magazzino prodotto finito a terra.

Le lavorazioni di imbottigliamento vengono svolte su due turni giornalieri (6-14 e 14-22) e comportano l'impiego di circa 20 addetti; nello stabilimento sono impiegati altri lavoratori che svolgono la propria attività su orario giornaliero, tra cui 15 impiegati, 2 addetti al laboratorio qualità, 1 manutentore.

Si precisa che gli addetti all'imbottigliamento risultano essere dipendenti di una cooperativa.

L'intervento ispettivo è stato programmato nell'ambito del piano di vigilanza mirato rischi fisici: considerata la tipologia produttiva, oltre al controllo

generale della applicazione del D.Lgs. 81/08 per la tutela della sicurezza e salute dei lavoratori, è stato approfondito il rischio rumore.

È stato acquisito il Documento di Valutazione dei Rischi della ditta, nel quale il rischio di esposizione a rumore viene valutato con misure strumentali con i seguenti risultati:

Mansione	Lex+U (dBA)	Lpicco+U (dBC)
Enologo	80,9	110,5
Addetto cantina	83,5	123,1
Addetto imbottigliamento	86,7	110,5
Addetto carico scarico linea	84,3	110,5
Addetto carico scarico camion	76,5	104,5

La cooperativa è risultata invece sprovvista di Documento di Valutazione dei Rischi.

È stato accertato che i lavoratori della committente e della cooperativa risultavano regolarmente sottoposti a sorveglianza sanitaria anche per il rischio rumore.

Inoltre, in occasione dell'accesso ispettivo gli Ufficiali di Polizia Giudiziaria hanno effettuato misure strumentali che hanno evidenziato livelli espositivi maggiori di quelli dichiarati nel Documento di Valutazione dei Rischi, in particolare relativamente alla zona di transito delle bottiglie: tali differenze sono giustificabili in quanto la rumorosità generata dal processo di imbottigliamento dipende da fattori quali la velocità di avanzamento della linea e la tipologia delle bottiglie.

Poiché tuttavia l'attività di vigilanza ha evidenziato che:

- il datore di lavoro della committente non ha elaborato il Piano Aziendale di Riduzione dell'Esposizione al rumore (P.A.R.E.), a fronte di lavoratori *addetti all'imbottigliamento* esposti ad un livello di esposizione giornaliera al rumore pari a 86,7 dB(A) superiore al valore superiore di azione fissato dall'art.189 del D.Lgs.81/08, pari a $L_{EX} = 85$ dB(A),
- il datore di lavoro della cooperativa non ha elaborato il Documento di Valutazione dei Rischi da rumore,

sono stati adottati i seguenti atti giudiziari:

- verbale di prescrizione nei confronti del Datore di Lavoro della ditta committente, ai sensi dell'art. 20 del D.Lgs. 758/94, per la violazione dell'art.192 comma 2 del D.Lgs.81/08, con il quale si è prescritto *di*

dotarsi di un P.A.R.E. Per l'adempimento alla prescrizione sono stati concessi 60 giorni; entro il termine temporale il Datore di Lavoro ha provveduto ad elaborare il P.A.R.E. e pertanto è stato ammesso al pagamento della sanzione amministrativa;

- verbale di prescrizione nei confronti del Datore di Lavoro della cooperativa, ai sensi dell'art. 20 del D.Lgs. 758/94, per la violazione dell'art.190 comma 1 del D.Lgs.81/08, con il quale si è prescritto di *valutare l'esposizione dei lavoratori al rumore durante il lavoro, prendendo in considerazione in particolare le norme tecniche di riferimento UNI 9612 e UNI 9432.* Per l'adempimento alla prescrizione sono stati concessi 30 giorni; entro il termine temporale il Datore di Lavoro ha provveduto e pertanto è stato ammesso al pagamento della sanzione amministrativa.

Il P.A.R.E. elaborato a seguito della prescrizione include la realizzazione dei seguenti interventi di bonifica:

- Sostituzione della macchina etichettatrice
- Installazione di tunnel fonoassorbente sulla linea di trasporto delle bottiglie
- Insonorizzazione uscita ventilatori incartonatrice.

Con tali interventi sono previsti i seguenti livelli di riduzione del rumore:

Ricettore	Stato di Fatto (dBA)	Stato di Progetto (dBA)	Riduzione rumore prevista (dBA)
Sostituzione macchina etichettatrice	85,9	84,1	1,8
Installazione di tunnel fonoassorbente sulla linea di trasporto delle bottiglie	85,4*	78,4	7,0
Insonorizzazione uscita ventilatori incartonatrice	85,8	84,0	1,8

* dato misurato al centro della zona di transito delle bottiglie

I risultati evidenziano come gli interventi proposti nel P.A.R.E. permettano di ridurre l'esposizione dei lavoratori al di sotto del livello superiore di azione. L'azienda sarà oggetto in futuro di un nuovo intervento ispettivo per verificare l'attuazione delle misure previste nel P.A.R.E. e l'effettiva riduzione al rumore dei lavoratori addetti.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I casi studio offrono i seguenti spunti di riflessione:

a) Efficacia degli interventi ispettivi

L'esperienza di vigilanza in materia di rischio rumore condotta dai Servizi, anche nell'ambito della attuazione del progetto BRIC in questione, ha evidenziato che nella maggior dei casi il Datore di Lavoro successivamente alla effettuazione della specifica valutazione del rischio rumore, tramite di personale tecnico qualificato, si limita ad adottare le seguenti misure di prevenzione e protezione:

- dotare i lavoratori di idonei DPIu
- assicurare ai lavoratori la sorveglianza sanitaria
- assicurare ai lavoratori la formazione

Di fatto viene completamente trascurato l'adempimento di cui all'art.192 comma 2 ovvero la redazione del *programma di misure tecniche e organizzative volte a ridurre l'esposizione al rumore*, per la definizione ed attuazione delle misure di prevenzione e protezione di cui al comma 1 del medesimo articolo.

In questo senso l'attività di vigilanza ha efficacia in quanto attraverso gli strumenti che gli operatori dei servizi hanno a disposizione (atti prescrittivi o dispositivi) impongono al Datore di Lavoro la piena attuazione degli adempimenti normativi.

Si sottolinea che l'azienda del caso studio B, nonostante fosse già stata oggetto di vigilanza in passato con conseguente atto dispositivo di adeguamento del P.A.R.E. e della bonifica acustica sulla *linea legumi*, non aveva comunque provveduto di propria iniziativa alla bonifica delle altre linee produttive, subendo così un ulteriore atto dispositivo a seguito di un nuovo intervento di vigilanza.

b) Principali criticità nell'adempimento alla normativa da parte dei Datori di Lavoro

La vigilanza mette in evidenza che nella maggior parte dei casi le relazioni tecniche che accompagnano i Documenti di Valutazione dei Rischi, redatte da personale qualificato, sono di buona qualità e le misure strumentali in esse riportate sono di norma attendibili e coerenti con le misure strumentali effettuate dal personale di vigilanza in occasione degli accessi ispettivi. Tuttavia si riscontrano carenze nella applicazione del D.Lgs. 81/08 - Titolo VIII - Capo II da parte dei Datori di Lavoro in materia di tutela della salute dei lavoratori esposti a rumore, che possono essere così sintetizzate:

- mancata programmazione ed adozione di interventi di bonifica, attraverso la redazione del P.A.R.E. (come evidenziato al punto precedente);

- gli interventi di protezione dal rumore consistono esclusivamente nella fornitura di DPIu
- gli interventi di prevenzione dal rumore consistono esclusivamente nella formazione e nella attuazione della sorveglianza sanitaria
- nell'acquisto di macchinari/attrezzature di lavoro il Datore di Lavoro non ha consapevolezza degli obblighi posti in capo al fornitore in particolare rispetto ai RES previsti dalla Direttiva Macchine relativamente agli agenti fisici emessi dalle macchine
- in presenza di lavorazioni affidate in appalto a cooperative di facchinaggio (situazione sempre più diffusa nei settori alimentare, logistica, ecc.) vengono /trascurati gli adempimenti previsti dall'art.26 del D.Lgs. 81/08, posti in capo sia al Datore di Lavoro della Committente che al Datore di Lavoro dell'appaltatore, con la conseguente sottostima del rischio per i lavoratori della ditta appaltatrice.

c) Uniformità della vigilanza

Un aspetto di rilievo, già messo in evidenza dalla relazione redatta a conclusione della prima fase del progetto BRIC, è quello della mancanza di uniformità nella effettuazione della vigilanza in materia di rumore, e più in generale di agenti fisici, da parte dei Servizi delle ASL.

La mancanza di uniformità riguarda non solo la programmazione della vigilanza, molto diversa da Regione a Regione ed anche da Provincia a Provincia, ma anche la modalità di conduzione dell'intervento ispettivo da parte degli addetti e la conseguente adozione di atti prescrittivi o dispositivi secondo criteri diversi.

Per tale motivo si suggerisce l'adozione di strumenti operativi quali ad esempio liste di controllo, analogamente a quanto già predisposto per altre tipologie di rischi (ad esempio in edilizia o per gli agenti cancerogeni), da rendere disponibili agli addetti alla vigilanza, al fine di garantire uniformità di comportamento e uniformità di programmazione degli interventi ispettivi. Nell'ambito del progetto BRIC, è stata sviluppata una specifica lista di controllo per supportare la vigilanza in materia di rumore: tale attività ispettiva deve continuare ad essere programmata ed effettuata da parte dei Servizi, in quanto il numero delle bonifiche acustiche attuate di iniziativa dalle imprese è ancora molto limitato, nonostante l'art. 192 del D.Lgs. 81/08 sia in vigore da più di 10 anni, e a fronte di un numero di denunce di patologie correlate alla esposizione a rumore ancora molto significativo.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. 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 – S.Goldoni, N.Della Vecchia, A.Santarpia, S.Gatti, M.Gatti, F.Demontis, A.Figini - Atti convegno dBA2018
- [2]. Il fenomeno infortunistico in provincia di Modena. Andamento e dati di sintesi (a cura di Guido Besutti e Silvia Goldoni - www.ausl.mo.it/dsp)
- [3]. UNI 11347:2015 “Acustica - Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro”
- [4]. D.lgs. 17/2010 “Attuazione della direttiva 2006/42/CE, relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE relativa agli ascensori.”
- [5]. D.lgs.81/08 “Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro”
- [6]. Flussi informativi INAIL - www.inail.it

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

AGGIORNAMENTO IN MATERIA DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO VIBRAZIONI. LA NUOVA MONOGRAFIA INAIL

Pietro Nataletti⁽¹⁾, Angelo Tirabasso⁽¹⁾, Raffaele Sabatino⁽²⁾, Paolo Lenzuni⁽³⁾

⁽¹⁾ INAIL, Dipartimento di Medicina, Epidemiologia e Igiene del Lavoro, Roma

⁽²⁾ INAIL, Dipartimento di Innovazioni Tecnologiche, Roma

⁽³⁾ INAIL, Direzione Regionale Toscana, Unità Operativa Territoriale di Firenze

Premessa

L'esposizione professionale a vibrazioni è disciplinata in Italia dal Capo III del Titolo VIII del D.Lgs. 81/2008 [1], che recepisce ed integra le disposizioni contenute nella Direttiva Europea 2002/44/CE [2]. Come spesso avviene, la legge stabilisce alcuni principi generali, ma delega alla normativa tecnica ogni questione di dettaglio relativa a misurazioni, calcolo dei descrittori e altre questioni di carattere pratico.

Sia in tema di esposizione vibrazioni trasmesse al corpo intero (WBV), sia in tema di esposizione vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio (HAV), esistono da quasi due decenni autorevoli documenti normativi, attualmente recepiti nel corpus normativo nazionale come UNI ISO 2631-1 [3] e UNI EN ISO 5349-1/-2 [4], [5]. Sembra quindi che la saldatura fra legislazione e normativa tecnica fosse in grado di completare il quadro di riferimento necessario affinché chiunque si trovi ad operare, in diversi ruoli,

per la tutela degli esposti a vibrazioni, possa trovare il percorso migliore e le risposte ad ogni dubbio. Le cose non stanno così, principalmente per due motivi:

- a) gli standard internazionali di riferimento sono entrambi antecedenti alla Direttiva 2002/44/CE e in diversi casi si notano, specialmente per le WBV, incoerenze fra legge e normativa tecnica, nonché concetti completamente assenti nella normativa (ad esempio le esposizioni su periodi brevi);
- b) gli standard internazionali sono lacunosi quanto ad indicazioni praticamente rilevanti come il numero e la durata delle misure da eseguire, l'algoritmo con il quale combinare tali misure, l'eventuale possibilità di mediare misure eseguite su più soggetti diversi.

Sulla base di queste considerazioni, il Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale dell'Inail (DiMEILA) ha intrapreso la redazione di un unico documento, aggiornato allo stato dell'arte, che riunisce tutte le indicazioni di natura sia procedurale che tecnica presenti nella normativa e qualora si evidenzino lacune, fornisca soluzioni praticamente spendibili e teoricamente motivate. Sgombrando il campo da dubbi interpretativi e vuoti normativi, crediamo di aver dato un valido contributo a migliorare significativamente la qualità e l'eshaustività delle valutazioni dell'esposizione a vibrazioni in un luogo di lavoro. Quel documento, adesso finalmente completato, viene qui presentato.

Impianto generale

La copertina, molto minimalista, è del tutto fuorviante: il documento infatti è estremamente articolato e come mostra l'iniziale sommario, tale articolazione possiede un carattere essenzialmente cronologico.



Figura 1 – La copertina

La macro struttura distingue infatti tre sezioni: 2 – misura e calcolo dell'esposizione, 3 – Valutazione del rischio, 4 – Interventi tecnici, che sono sostanzialmente sequenziali. Alla macro-struttura si accompagna una micro-struttura che in ciascuna delle tre sezioni entra, come giusto che sia, in dettaglio su una moltitudine di argomenti. Il livello di dettaglio è comunque limitato dal desiderio di mantenere un flusso informativo ragionevolmente costante e semplice, senza introdurre vortici di eccessiva profondità e complessità che potrebbero scoraggiare il lettore. A ciascuna delle questioni che necessitano e anzi beneficiano di una trattazione approfondita è stata dedicata un'appendice specifica.

Determinazione dell'esposizione al rischio vibrazioni

A valle dell'introduzione, la prima sezione affronta l'ampia tematica della determinazione dell'esposizione.

Questa sezione possiede una natura prevalentemente tecnica e mira a identificare un percorso quanto più possibile lineare, che parta dalla identificazione dei descrittori dell'esposizione, includa i valori soglia di esposizione previsti dalla legge, ed il loro significato, e successivamente stabilisca le basi sulle quali affrontare la scelta fra i diversi percorsi possibili per la quantificazione della vibrazione. È noto infatti che il D.Lgs. 81/2008 prevede la possibilità che la vibrazione venga quantificata sia mediante misure dirette, sia mediante informazioni prelevate dalla Banca Dati sia mediante informazioni fornite, ai sensi della direttiva macchine, dal fabbricante nel libretto di uso e manutenzione.

I tre "percorsi" così identificati (Vedi Figura 2) vengono analizzati rispettivamente nelle sezioni 2.5/2.6 (misure), 2.7 (Dati del fabbricante), 2.8 (Banca Dati) con l'obiettivo di chiarire per ciascuno dei tre vantaggi e svantaggi, e di giungere ad una stima che possieda un ugual significato in tutti i casi.

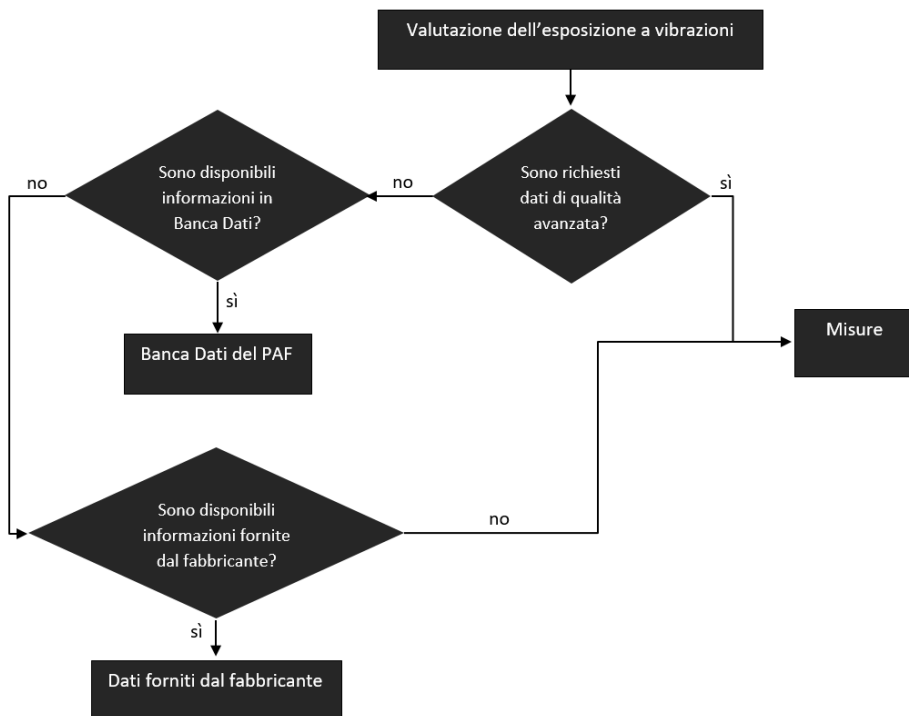


Figura 2 – I percorsi

Informazioni acquisite mediante misure

Nei limiti del possibile si è cercato di mantenere un buon parallelismo formale fra le tre sezioni, che di conseguenza risultano strutturalmente identiche. Parallelismo formale non va in ogni caso confuso con equivalenza sostanziale. Ovviamente il percorso che passa per misure dirette è più impegnativo sia in termini di costi che di energie da approfondire. Al contempo va sottolineato come esso possieda potenzialità inaccessibili agli altri due non solo come affidabilità ma anche come capacità di indagare descrittori, come l'esposizione su periodi brevi, che gli altri due metodi non posseggono.

2.5	Misura dell'esposizione al sistema mano-braccio	24
2.5.1	La misura dell'accelerazione	24
2.5.2	Posizionamento ed orientamento del sensore	27
2.5.3	Numero delle misure	28
2.5.4	Durata delle misure	28
2.5.5	Calcolo dell'accelerazione ponderata	29
2.5.6	Il descrittore della vibrazione	29
2.5.7	Esposizione giornaliera	29
2.5.8	Periodi brevi	32
2.5.9	Metodo supplementare di misura per il rischio vascolare	32
2.6	Misura dell'esposizione al corpo intero	34
2.6.1	La misura dell'accelerazione	34
2.6.2	Posizionamento ed orientamento del sensore	37
2.6.3	Numero delle misure	38
2.6.4	Durata delle misure	38
2.6.5	Calcolo dell'accelerazione ponderata	38
2.6.6	Calcolo del valore totale della vibrazione	39
2.6.7	Esposizione giornaliera	39
2.6.8	Il descrittore della vibrazione	42
2.6.9	Periodi brevi	43
2.6.10	Metodi di misura alternativi	43

Figura 3 – Le sezioni 2.5 e 2.6, dedicate alle misure

Il dettaglio evidenziato dalla Figura 3 conferma l'analisi particolareggiata che è stata fatta relativamente al percorso che passa per l'esecuzione di misure in campo. Infine, un' enfasi particolare è stata posta su aspetti innovativi relativi alla misura, quali ad esempio il criterio con il quale utilizzare un descrittore monoassiale piuttosto che triassiale (WBV), o l'utilizzo di curve di pesatura specifiche per il danno vascolare (HAV).

WBV: monoassiale e triassiale

Riguardo al metodo con il quale calcolare il descrittore di esposizione A(8), nell'allegato XXXV del D.Lgs. 81/2008, al quale il Titolo VIII rimanda per le tutte questioni in esso non trattate, compare al punto B.1, relativo alle WBV, un'affermazione che purtroppo non brilla per chiarezza:

La valutazione del livello di esposizione alle vibrazioni si basa sul calcolo dell'esposizione giornaliera A(8) espressa come l'accelerazione continua equivalente su 8 ore, calcolata come il più alto dei valori quadratici medi delle accelerazioni ponderate in frequenza, determinati sui tre assi ortogonali (1,4-awx, 1,4-awy, 1-awz, per un lavoratore seduto o in piedi), conformemente alla norma ISO 2631-1 (1997) che viene qui adottata in toto.

Questa affermazione sembra implicare che il calcolo avvenga in due fasi:

- a) si calcolano separatamente i tre valori assiali dell'accelerazione pesata (comprensivi degli opportuni fattori peso assiali 1,4/1,4/1) relativi alla sequenza di operazioni eseguite;
- b) si determina A(8) come il più alto dei tre valori calcolati al punto a).

Il riferimento allo standard ISO 2631-1 ingarbuglia soltanto le cose, sia perché nello standard non c'è traccia della quantità A(8), che è una creazione dello standard per HAV ISO 5349-1, sviluppato 4 anni più tardi, sia perché nello standard ISO 2631-1 non esiste alcuna espressione per cumulare esposizioni relative a veicoli o attività diverse. Per analogia con la citata norma UNI EN ISO 5349-1 sulla HAV, come pure con la norma UNI EN ISO 9612 [6] relativa alla esposizione professionale a rumore, si è assunto che l'accelerazione pesata complessiva giornaliera risulti pari alla somma quadratica delle accelerazioni sulle singole attività pesate dai relativi tempi di esposizione e normalizzata alle 8 ore della giornata di riferimento.

Valutare l'esposizione sulla base di un A(8) di tipo monoassiale sembra dunque rispondere direttamente al dettato della legge. Tuttavia, in questo modo ci si espone a possibili sottostime. Inoltre, le più recenti evidenze epidemiologiche suggeriscono una miglior correlazione del danno con un descrittore di tipo triassiale che non con un descrittore di tipo monoassiale.

Valutare l'esposizione sulla base di un A(8) di tipo triassiale appare in conflitto con la lettera della legge. Inoltre, il supporto all'uso di un descrittore triassiale nello standard ISO 2631-1 è estremamente debole. Per converso, esso è immune da possibili sottovalutazioni ed appare meglio correlato ad evidenze di danno.

Si è pertanto deciso di adottare un sistema misto, triassiale al di sotto di una certa soglia di anisotropia e monoassiale al di sopra di tale soglia. Il sistema

non è privo di qualche incoerenza, ma è probabilmente il miglior compromesso per tenere insieme considerazioni di natura tecnico-epidemiologica con l'aderenza alla lettera della legge.

HAV: rischio vascolare

Sebbene in Italia il D.Lgs. 81/2008 [1] imponga come metodologia principale per la valutazione del rischio da esposizione ad HAV quella descritta dalla norma tecnica UNI EN ISO 5349-1 [4], è noto che i diversi effetti sulla salute (vascolari, nervosi, muscolari e osteo-articolari) non sono equamente predetti partendo dall'unica curva di ponderazione (la W_h) proposta dalla suddetta norma. A tal proposito, basandosi su numerosi studi scientifici, il rapporto tecnico UNI ISO/TR 18570:2017 [7] propone un metodo supplementare per la valutazione dei rischi dei soli effetti vascolari da HAV, introducendo una nuova curva di ponderazione (denominata W_p) che enfatizza le frequenze più rilevanti ai fini della comparsa di tali effetti (in particolare del fenomeno di Reynaud).

Il rapporto tecnico UNI ISO/TR 18570 introduce il concetto di “esposizione giornaliera a vibrazioni” ($E_{p,d}$) il cui valore risulta correlato all'insorgenza del fenomeno di Reynaud. La Tabella 7 del testo, nella quale vengono confrontati, per alcuni utensili vibranti, i tempi di esposizione dopo i quali vengono raggiunti rispettivamente i valori “d'azione” di $E_{p,d}$ e di $A(8)$, evidenzia come i tempi massimi di esposizione con la nuova metodica sono generalmente molto più bassi. È raccomandabile, pertanto, affiancare alla metodica di valutazione del rischio obbligatoria per legge illustrata nella UNI EN ISO 5349-1, la metodica proposta dal rapporto tecnico UNI ISO/TR 18570, che rappresenta un valido strumento per migliorare la gestione della prevenzione dei disturbi vascolari e determinare le opportune misure correttive.

Informazioni fornite dalla Banca Dati Vibrazioni

L'uso delle informazioni fornite dalla Banca Dati Vibrazioni (BDV) appare, a prima vista, molto promettente: una volta verificata la presenza del dato di accelerazione relativo all'utensile/veicolo desiderato nell'esecuzione dell'opportuno compito, si ha a disposizione un dato ottenuto da personale competente, verificato nella sua attendibilità e con un'associata incertezza di misura.

Tuttavia l'utilizzo delle informazioni contenute nella BDV, così come è attualmente concepito, può facilmente condurre a risultati di significato incerto. Il motivo di questa situazione è duplice: da una parte la BDV contiene spesso dati relativi ad una frazione minima degli utensili/veicoli esistenti in Italia. La frazione si riduce ulteriormente se non si fa riferimento alla semplice attrezzatura ma alla attrezzatura ed allo specifico utilizzo che ne viene fatto. In altre parole, la probabilità di trovare un dato di accelerazione relativo all'apparecchiatura cercata, nell'esecuzione dell'attività cercata, è molto piccola. Allo stesso tempo il "disclaimer" che accompagna la BDV chiarisce che l'uso è limitato proprio a situazioni con perfetta coincidenza di modello, attività ed anche di manutenzione. A questo punto, il potenziale utente, per il quale questa perfetta coincidenza non si verifica, ha soltanto due possibilità: o rinunciare e così facendo cadere dalla padella della BDV nella brace del dato fornito dal costruttore, o prendere il dato relativo alla situazione che più si avvicina alla sua, con ciò introducendo appunto quella incertezza difficilmente quantificabile di cui sopra.

Informazioni fornite dal costruttore

L'uso delle informazioni fornite dal costruttore è in molti casi più un atto di fede che non una scelta razionale. Il motivo è che sia le reali condizioni di manutenzione dell'utensile/veicolo, sia il compito eseguito, sono molto lontani da quelli che hanno determinato il valore "dichiarato" dal costruttore e di conseguenza riportato nel libretto. Non si tratta di un'operazione truffaldina, ma della semplice applicazione di un principio cardine che sta alla base di qualsiasi standard tecnico, ovvero l'esecuzione di prove in condizioni artificiose ma allo stesso tempo facilmente replicabili nel tempo e nello spazio.

Il documento di valutazione del rischio

La successiva sezione 3 analizza tutti gli altri elementi che concorrono, accanto alla stima quantitativa dell'esposizione, alla valutazione del rischio vibrazioni. Senza entrare eccessivamente nel dettaglio, il processo di valutazione riportato nel presente documento descrive una serie di passi progressivi.

Il primo prevede un'analisi preliminare dei processi aziendali per poter eventualmente ricorrere alla giustificazione del rischio e concludere, senza

approfondire ulteriormente, che il rischio da esposizione a vibrazioni è trascurabile (sezione 3.2).

In tutti i casi in cui non si ricade nella cosiddetta “giustificazione”, sarà necessario provvedere ad un’accurata identificazione delle condizioni espositive a vibrazioni (sezione 3.3), con riferimento alla cosiddetta “giornata ricorrente a massimo rischio”, e ad una successiva quantificazione delle singole esposizioni in termini di valori di accelerazione, tempi di esposizione e gruppi omogenei di lavoratori esposti (sezione 3.4).

Nella sezione 3.5 sono riportati tutti gli altri elementi di cui la valutazione del rischio da vibrazioni deve tener in conto (come esplicitato anche dall’art. 202 del D.Lgs. 81/2008). Nei paragrafi successivi vengono descritti i principali elementi da includere nel programma di misure tecniche ed organizzative in caso di superamento dei valori di azione (sezione 3.6), i dispositivi di prevenzione e protezione esistenti (sezione 3.7) e le modalità di realizzazione del programma di informazione e formazione dei lavoratori (sezione 3.8).

A valle della valutazione del rischio, nella sezione 3.9, si sottolineano, infine, le modalità di attivazione, da parte del datore di lavoro, della sorveglianza sanitaria ai sensi dell’art. 204 del D.Lgs. 81/2008 per tutti quei lavoratori che risultano esposti a livelli di vibrazioni superiori ai livelli di azione.

Il controllo delle vibrazioni meccaniche delle macchine

La sezione 4 del documento analizza le principali metodiche con le quali, attualmente, si cerca di minimizzare le vibrazioni prodotte dalle macchine e dagli utensili vibranti al fine di ridurre l’esposizione lavorativa.

Sebbene il principio fisico sia lo stesso, l’approccio del controllo delle WBV è molto differente rispetto a quello per il controllo delle HAV.

Nel caso delle WBV le vibrazioni non sono quasi mai funzionali alle lavorazioni (si pensi, ad esempio, alle vibrazioni prodotte dai motori dei veicoli o da quelle derivanti dalle disomogeneità del manto stradale) e, quindi, accanto a soluzioni di smorzamento passivo (molle e dissipatori passivi tra gli elementi vibranti ed il telaio o tra il telaio e l’operatore), sono sempre più presenti sul mercato soluzioni a controllo attivo o semi-attivo delle vibrazioni, alcune delle quali estremamente efficaci (come ad esempio sedili che si muovono in controfase o con sospensioni in grado di variare le

loro caratteristiche meccaniche, rispetto alle vibrazioni che arrivano al pianale).

Nel caso delle HAV, invece, il controllo delle vibrazioni generate dagli utensili vibranti è generalmente più difficoltoso. In questo caso, infatti, le vibrazioni sono quasi sempre intrinsecamente connesse allo scopo richiesto (si pensi, ad esempio, al foro per il trapano, al taglio per la motosega o all'abrasione per la smerigliatrice) e la loro attenuazione è, per tale ragione, molto più "vincolata"; il controllo, inoltre, laddove possibile, è quasi sempre di tipo passivo.

Pertanto, pur esistendo soluzioni integrate con le attrezzature vibranti (impugnature smorzate e/o disaccoppiate), il ricorso all'utilizzo di dispositivi di protezione individuale (guanti antivibranti) risulta la soluzione più utilizzata, anche se non più efficace (scarso smorzamento alle basse frequenze).

Le appendici

VDV/MTVV

Le prime due appendici (A e B) sono dedicate a due descrittori alternativi di esposizione a WBV che compaiono nella norma UNI ISO 2631-1. Si tratta di quantità di fatto quasi ignorate nella pratica a causa del fatto che nessuna delle due viene citata nel testo del D.Lgs. 81/2008. Tuttavia, la presenza nella Direttiva Europea 2002/44/CE del VDV, insieme con i rilevanti valori soglia, ne recupera almeno parzialmente il significato di descrittore integrativo, specie per le situazioni nella quali si manifestano vibrazioni con spiccato carattere impulsivo. L'appendice A esplicita inoltre il metodo di calcolo del VDV, generalizzandolo al caso di esposizioni multiple, ed esegue un esame comparativo qualitativo e quantitativo fra metodo base e metodo VDV.

Comfort

La successiva appendice C analizza la possibilità che una esposizione a vibrazioni (ed in particolare a WBV) non si configuri come possibile causa di patologie ma come possibile causa di discomfort. Sebbene si tratti di un concetto più rilevante in un contesto sociale che occupazionale, tuttavia esso non appare puramente accademico nel contesto occupazionale, considerato che le vibrazioni possono interferire con l'attività lavorativa ed avere effetti

indiretti anche gravi, se compromettono ad esempio il compito visivo o la destrezza manuale. Il disturbo da vibrazioni concorre inoltre, insieme ad altri elementi, alla generale percezione di discomfort, la cui stima quantitativa è ancora oggi sfuggente, ma che sicuramente ha implicazioni profonde sia sulla soddisfazione del lavoratore, sia sulla sua produttività [8].

Come sottolineato nel documento INAIL, tali effetti vanno presi in esame nell'ambito più generale della valutazione del rischio, come indicato nell'art. 28 e 181 del D.Lgs. 81/2008. A supporto di questo percorso, esistono nella norma UNI ISO 2631-1 una serie di valori soglia che consentono di quantificare il discomfort associato a determinati valori di accelerazione.

Male dei trasporti/Motion sickness

L'appendice D riporta la metodica di valutazione del rischio di insorgenza del cosiddetto mal di moto (in inglese, *motion sickness*) proposta dalla norma UNI ISO 2631-1 [3]. Secondo la norma tecnica la valutazione può essere effettuata per le sole persone in postura eretta o seduta e prendendo in considerazione soltanto le vibrazioni lungo l'asse z (l'asse perpendicolare al pavimento ovvero al piano della seduta).

Le frequenze maggiormente "dannose" per l'insorgenza del mal di moto negli esposti (evidenziate nella curva di ponderazione W_f della norma) sono nell'ordine della frazione di Hertz, quindi estremamente più basse rispetto a quelle che portano all'insorgenza degli altri effetti sulla salute provocati dalle WBV.

La norma UNI ISO 2631-1 suggerisce, per tale effetto, la valutazione di un valore di dose che è funzione dell'accelerazione ponderata in frequenza (W_f) e della radice quadrata del tempo di esposizione rispetto ad un limite di accettabilità derivato da alcuni studi epidemiologici.

Portale Agenti Fisici

L'appendice E illustra il PAF (Portale Agenti Fisici) e in particolare le banche dati vibrazioni (BDV), richiamate dall'art. 202 del D.Lgs. 81/2008, che contengono dati relativi a più di 2.800 utensili che espongono i lavoratori a vibrazioni mano-braccio e più di 1.100 macchine che espongono a vibrazioni al corpo intero. Le due BDV, HAV e WBV, contengono generalmente sia i dati di certificazione dichiarati dal costruttore che quelli misurati sul campo. L'utente è agevolato nella consultazione da appositi filtri di ricerca, che consentono all'utente di interrogare le BDV sulla base di una

serie di parametri di base (marca, modello, tipologia, alimentazione) e di parametri avanzati (valore misurato, valore dichiarato, peso e potenza - questi ultimi due solo per utensili HAV), molto utili questi ultimi per l'individuazione di macchinari a minore rischio di esposizione a vibrazioni.

Incertezza

L'appendice F discute in notevole dettaglio la procedura di calcolo dell'incertezza da associare ai diversi descrittori di esposizione, sia per le HAV che per le WBV. I pochi documenti tecnici che ad oggi si esprimono su questo tema forniscono indicazioni limitate ad un semplice valore numerico, o ad un intervallo di valori numerici, con cui caratterizzare l'incertezza complessiva da associare al descrittore. Come sottolinea opportunamente il documento INAIL, tale informazione non è soltanto grossolana, ma anche fortemente lacunosa in quanto: a) non consente di comprendere quale sia la fonte dominante di incertezza e quindi non consente di intraprendere azioni correttive efficienti per ridurre l'incertezza stessa; b) risulta pertinente soltanto nel caso in cui il descrittore dell'esposizione a vibrazioni venga stimato attraverso misure, ma non possiede alcun valore nel caso in cui si proceda con uno degli altri due metodi (informazioni reperite dalla BDV o fornite dal costruttore nel libretto dell'utensile/macchinario).

Si è pertanto ritenuto opportuno sviluppare il tema dell'incertezza disegnando, nelle sezioni tre (F.2), (F.3) ed (F.4), tre specifici e indipendenti percorsi per il calcolo dell'incertezza per i tre metodi di estrazione dei dati di accelerazione, in modo che sia anche possibile apprezzare come il risparmio di tempo e di energie associato all'uso dei metodi che non prevedono misure, si rifletta inevitabilmente sulla precisione del dato finale, mediante un aumento dell'incertezza. L'articolazione con la quale vengono dettagliati i tre percorsi consente inoltre di apprezzare quali siano i contributi all'incertezza tipicamente dominanti in ciascun percorso, in modo da consentire di sviluppare interventi mirati.

Per quanto detto finora, l'appendice F risulta in larga parte inevitabilmente originale. L'unico documento al quale ci si è appoggiati nel corso della sua redazione è lo standard tedesco DIN 45660-2 [9], il rapporto con il quale non è comunque stato privo di attriti, come peraltro normale vista la fase quasi embrionale in cui ancora si trova questo argomento. La recentissima apparizione del primo *draft* dello standard ISO 22704 [10] su questo stesso

tema, conferma peraltro che la tematica dell'incertezza sta adesso assumendo un suo significato anche all'interno del mondo dell'esposizione a vibrazioni, al quale essa era stata tradizionalmente aliena.

Vale infine la pena sottolineare come l'appendice F, benché si focalizzi soprattutto sull'incertezza da associare al descrittore di esposizione A(8), contenga anche sezioni dedicate ai descrittori alternativi quali quello relativo alla cosiddetta esposizione su periodi brevi (F.8) e il VDV (F.9).

Manca, e non poteva essere diversamente, qualsiasi indicazione ferma riguardo all'uso dell'incertezza nel contesto della verifica del rispetto o del superamento dei valori soglia di legge. Come ben noto, il D.Lgs. 81/2008 non fa alcun riferimento al concetto di incertezza nel capo III, al contrario di quanto avviene nel capo II per l'esposizione a rumore. Di conseguenza, sebbene questo approccio possa apparire pilatesco, esso in realtà riflette semplicemente il desiderio di non forzare nella prassi procedure che la legge non richiede, e che alla fin fine possiedono un impatto sul rischio cui viene esposto il lavoratore che sicuramente non è paragonabile ad altri aspetti (come ad esempio la manutenzione delle attrezzature, la misura nelle reali condizioni di uso o le gravi possibili sottostime indotte dall'uso di dati forniti dal fabbricante), che è essenziale mantenere in primo piano.

Conclusioni

Il Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale dell'Inail ha voluto realizzare la pubblicazione "La valutazione del rischio vibrazioni" per fornire ai datori di lavoro, ai RSPP e a tutti coloro che si occupano di prevenzione nei luoghi di lavoro, un documento operativo di sintesi sulle attuali conoscenze nazionali e internazionali, per permettere loro di valutare nel migliore dei modi i rischi legati all'esposizione alle vibrazioni meccaniche, sia quelle trasmesse al sistema mano-braccio che quelle trasmesse al corpo intero. In particolare, vengono date indicazioni operative sulla corretta metodologia di misura, valutazione e controllo del rischio vibrazioni, comprensive di indicazioni tecniche per la corretta scelta di macchine e attrezzature e per la scelta di interventi tecnici di prevenzione e protezione per la riduzione del rischio.

Tale pubblicazione si pone in linea di continuità con analoghe monografie "La valutazione del rischio rumore" del 2015 e "La valutazione del microclima" del 2018. Le indicazioni tecniche e operative ivi contenute saranno poi recepite sia nell'aggiornamento delle FAQ [11], che il



Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province Autonome prevede di pubblicare agli inizi del 2020, che nelle sezioni vibrazioni mano-braccio e corpo intero del Portale Agenti Fisici (www.portaleagentifisici.it).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Decreto Legislativo n. 81 del 9 aprile 2008, Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, G.U. n. 101 del 30 aprile 2008 – suppl. n.108/L
- [2] Direttiva europea 2002/44/CE, del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002 sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (vibrazioni) (sedicesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE), G.U.C.E. L 177 del 6.7.2002
- [3] UNI ISO 2631-1: 2014, Valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse al corpo intero. Parte 1: Requisiti generali
- [4] UNI EN ISO 5349-1:2004, Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano. Parte 1: Requisiti generali
- [5] UNI EN ISO 5349-2:2015, Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano. Parte 2: Guida pratica per la misurazione al posto di lavoro
- [6] UNI EN ISO 9612:2011, Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro. Metodo tecnico progettuale
- [7] UNI ISO/TR 18570:2018 Vibrazioni Meccaniche – Misurazione e valutazione dell'esposizione umana alla vibrazione trasmessa al sistema mano - braccio – Metodo supplementare per valutare il rischio di lesione vascolare
- [8] AA.VV. I cinque lati del comfort, Ambiente Lavoro, Bologna, 16 ottobre 2019.

- [9] DIN 45660-2:2015, Guide for dealing with uncertainty in acoustics and vibration - Part 2: Uncertainty of vibration quantities
- [10] ISO/PWI 22704:2019, Mechanical vibration - Uncertainty of the measurement and evaluation of human exposure to vibration
- [11] 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. Revisione 3 del 13.2.2014

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

IL TEMPO DI MISURA DEI PARAMETRI TERMOIGROMETRICI NEGLI ACCERTAMENTI TECNICI DI MICROCLIMA.

Gianluca Gambino⁽¹⁾, Daniele Meda⁽¹⁾, Alessandro Merlino⁽¹⁾, Gabriele Quadrio⁽¹⁾

⁽¹⁾ CeSNIR srl, Villasanta (MB)

1 – INTRODUZIONE

Con questo lavoro si intende intervenire sul delicato aspetto dei tempi di misurazione dei parametri necessari a condurre le verifiche sul comfort o sullo stress termico dei lavoratori. La durata di ogni misurazione dei parametri termo-igrometrici quali temperatura, irraggiamento e umidità, deve includere un tempo di adattamento delle sonde che è di diversi minuti e che, per quelle con la maggior inerzia termica, può arrivare a circa 20 minuti. Questa attesa è necessaria affinché tutte le sonde si portino all'equilibrio termico con l'ambiente che caratterizza ogni specifico punto di misura.

Ogni campagna di misurazioni è pertanto limitata da una frequenza di campionamento molto bassa, dell'ordine delle 2 misurazioni all'ora.

Oltre a fare chiarezza su questo aspetto, talvolta trascurato dai valutatori con il rischio di importanti errori nella quantificazione dell'esposizione, si intende proporre una procedura che consente di ridurre tali tempi di attesa.

Partendo dall'espressione analitica che descrive l'evoluzione temporale della risposta di un sensore alle variazioni della grandezza misurata, il lavoro approda ad una tecnica per determinare il valore finale di questa, avvantaggiandosi di interpolazioni eseguite sui valori restituiti dalla sonda nei primi minuti del tempo di adattamento, quindi prima che questa si sia portata all'equilibrio termico con l'ambiente.

Sono infine restituiti gli esiti di alcune prove condotte in camera climatica e sul campo.

2 – IL TEMPO DI RISPOSTA DI UN SENSORE

Come anticipato nell'introduzione, la determinazione del valore numerico di ognuno dei parametri oggetto di misurazione nel contesto di un accertamento sul microclima, può avvenire solo dopo aver atteso che le diverse sonde utilizzate si siano portate all'equilibrio termico con l'ambiente in cui sono inserite. Sonde differenti impiegano tempi diversi per raggiungere l'equilibrio termico e il tempo di attesa prima della misurazione sarà evidentemente pari al tempo di adattamento più lungo tra quelli di tutte le sonde impiegate.

Considerata la lentezza nella risposta di questo tipo di strumenti, le misurazioni sono da condurre in condizioni ambientali stazionarie o quasi-stazionarie, procedendo, eventualmente, a più misurazioni in momenti diversi per cogliere le variazioni nelle condizioni termiche. Le variazioni a cui si deve comunque far fronte sono quelle che si presentano tra un punto e l'altro di misura ed è pertanto all'inizio di ogni nuova misurazione che si deve tenere conto del tempo di acclimatamento della strumentazione, prima di acquisire il valore delle grandezze da misurare. Nella figura sotto si può apprezzare il tipico andamento dell'acclimatamento dei diversi sensori di temperatura utilizzati in un rilievo microclimatico. È risaputo che il globotermometro, utilizzato per la stima della temperatura media radiante, richiede un'attesa lunga, dell'ordine dei 20 minuti. Da notare che anche i termoigrometri capacitivi hanno comunque tempi di risposta lunghi, mentre lo psicrometro è molto più rapido.

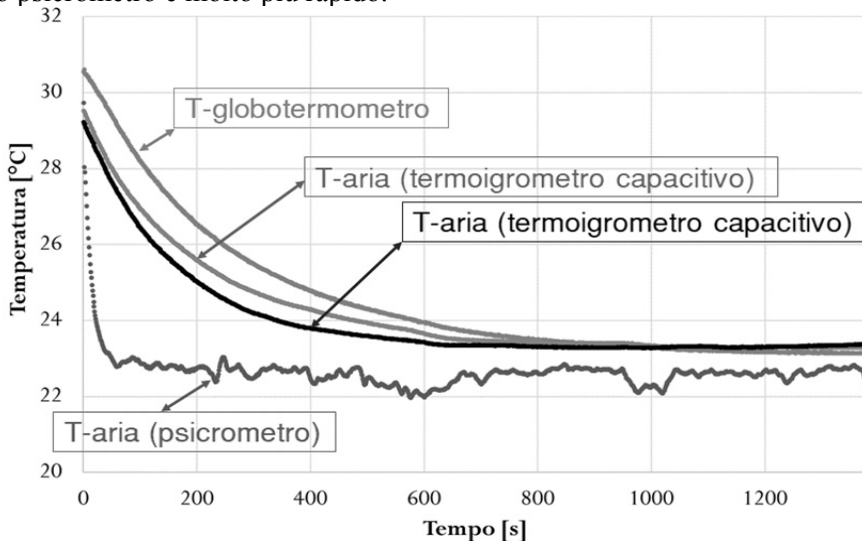


Figura 1. Andamento temporale dell'output di diversi sensori di temperatura, durante un normale rilievo sul campo.

L'individuazione di una corretta tempistica di misura è necessaria nell'ottica di minimizzare l'incertezza sulla stima del parametro fisico di interesse. Nel caso in cui le grandezze di interesse abbiano variazioni lievi nell'intervallo di misura, l'ambiente termico sotto esame può essere considerato un sistema stazionario. In questo contesto il raggiungimento dell'equilibrio termico con l'ambiente da parte delle sonde è dettato principalmente dall'inerzia termica di ogni sensore. Un sensore immerso in un ambiente con caratteristiche differenti rispetto al precedente, si porterà in equilibrio secondo la legge matematica (INAIL, 2018) [5]:

$$X(t) = X_1 + \Delta X \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad 1$$

Nell'equazione soprastante X è la grandezza fisica sotto esame, sia essa la temperatura dell'aria, l'umidità, la temperatura media radiante, o altro. Con X_1 si indica il valore segnato dal sensore nel momento in cui esso è inserito nel nuovo ambiente, ΔX è la variazione della grandezza fisica tra l'attuale punto di misura e il precedente e τ è la costante di tempo del sensore, la cui definizione è ripresa dalla norma tecnica UNI EN ISO 7726:2002 [1] *Ergonomia degli ambienti termici - Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche*.

Costante di tempo di un sensore (τ): tempo necessario per l'output del sensore, in risposta a un cambiamento immediato nella quantità ambientale misurata, per raggiungere il 63% della sua variazione verso il valore finale, senza considerare il fenomeno di overshooting, ovvero la tendenza del segnale a oscillare attorno al valore finale a causa dell'inerzia del sistema.

Un altro parametro importante per la caratterizzazione temporale dei sensori microclimatici è il **tempo di risposta (T_r)**, definito come il tempo oltre il quale la quantità misurata può essere considerata sufficientemente vicina al valore vero della grandezza fisica oggetto di misura. In condizioni di stazionarietà, questo parametro è direttamente calcolabile a partire dalla costante di tempo, mediante la formula in equazione 1. Si assume come riferimento il tempo di risposta T_{90} , pari a circa 2.3 volte la costante di tempo. I produttori di strumentazione tecnica generalmente forniscono questo valore nei data sheet della strumentazione.

Nel contesto microclimatico la costante di tempo di un sensore, e quindi il tempo di risposta, non dipende solo dalle caratteristiche del sensore, come ci si potrebbe aspettare, ma anche dalle condizioni dell'ambiente di misura. Per fare un esempio, nella stima della temperatura dell'aria l'acclimatamento del termometro dipende anche dalla velocità dell'aria nel punto di misura, infatti

il sensore si porta all'equilibrio termico più velocemente se immerso in un flusso d'aria importante, grazie a un maggior scambio di calore per convezione, rispetto a un ambiente caratterizzato da una minor movimentazione dell'aria.

3 – INCERTEZZA DI MISURA E DURATA DEL RILIEVO

Per quanto scritto sopra, la durata del rilievo microclimatico è strettamente correlata con la precisione della misura.

La norma tecnica UNI EN ISO 7726, oltre a definire i requisiti minimi che deve rispettare la strumentazione impiegata per la misurazione delle grandezze fisiche che caratterizzano un ambiente, fornisce informazioni sui metodi da utilizzare per questo tipo di rilevazioni. Per quanto riguarda le rilevazioni di temperatura, la norma tecnica indica precisamente il tempo di attesa necessario per una misura di temperatura dell'aria e per una di temperatura media radiante attraverso l'utilizzo di un globotermometro di diametro pari a 15 cm. Questi tempi sono riportati in tabella 1.

Tabella 1: tempi di attesa necessari prima di condurre una misurazione (UNI EN ISO 7726:2002)

Grandezza fisica	Tempo di attesa
temperatura dell'aria	$1.5 \cdot T_{90}$
temperatura di globo	20 – 30 minuti

Si ricorda che il tempo di risposta T_{90} del termometro dovrebbe essere indicato direttamente dal produttore del sensore.

Queste indicazioni sono riportate negli allegati informativi A e B della norma. Secondo questo approccio, l'attesa prima dell'esecuzione di una misura dei parametri microclimatici all'interno di un ambiente non potrebbe essere inferiore a 20 minuti.

Le linee guida per la valutazione del microclima del coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome indicano che la distanza temporale fra due misure è dettata dal sensore più lento nell'acclimatamento, ovvero il globotermometro. Nel documento è suggerito un tempo di attesa di almeno 15 minuti e soltanto se il campo di radiazione prevedibile nell'ambiente è prossimo a quello dell'ambiente oggetto della precedente misura, è possibile l'esecuzione di una nuova misura a 6-8 minuti dalla precedente.

Nel caso non si abbiano indicazioni sul tempo di risposta della strumentazione, il documento INAIL del 2018 fornisce un approccio diverso e meno rigido rispetto a quello della norma tecnica UNI EN ISO 7726, applicando la formula in Equazione 1 al sensore che possiede la maggior inerzia termica, il globotermometro.

La proposta consiste nel valutare l'attesa necessaria all'acclimatamento della sonda caso per caso, stimando il tempo necessario al sensore per raggiungere un livello di precisione pari a ± 2 °C. Questo approccio rende il tempo di attesa variabile in base alle condizioni ambientali, infatti segue il principio fisico per cui a una maggior escursione di temperatura tra 2 punti di misura, corrisponde una maggiore durata dell'acclimatamento.

INAIL avverte che una limitazione importante all'applicazione di questo metodo è intrinseca nel metodo stesso: la differenza di temperatura è infatti la grandezza oggetto di misura, pertanto si possono solo effettuare delle stime qualitative da inserire nella formula e avere un'indicazione sulla durata dell'attesa necessaria. In fase di progettazione della campagna di rilievi il metodo non può fornire quantitativamente i tempi di attesa necessari ai vari rilievi pianificati.

Un livello di precisione di ± 2 °C deve essere inoltre considerato come il minimo obiettivo da raggiungere e noi riteniamo consigliabile puntare a una migliore accuratezza, soprattutto nel caso di accertamenti di comfort termico. Secondo la nostra esperienza, infatti, una differenza tra temperatura media radiante e temperatura dell'aria pari a 1.2 °C è già significativa per sostenere che il contributo radiante è rilevante e che quindi un'azione di mitigazione dovrebbe agire sulla riduzione degli apporti di calore che raggiungono il soggetto per irraggiamento e non sull'aumento del raffrescamento per convezione. Raggiungere una migliore accuratezza nella misurazione delle temperature dell'aria e di globotermometro è pertanto funzionale ad una efficace ricerca delle cause di un eventuale discomfort globale da caldo.

Inoltre anche l'incidenza del valore della temperatura del globotermometro sul PMV risultante rende desiderabile una maggiore accuratezza. Un esempio numerico può rendere più chiara questa osservazione: supponiamo che nella postazione di lavoro indagata la temperatura di globo reale sia di 25 °C, questo vorrebbe dire che i valori accettabili sarebbero compresi nell'intervallo 23 °C – 27 °C. Effettuando una simulazione con i parametri fissi di temperatura dell'aria di 25 °C, umidità relativa pari a 50%, velocità dell'aria pari a 0.1 m/s, isolamento termico del vestiario e metabolismo tipici del lavoro d'ufficio, lo scostamento massimo tra gli esiti di PMV sarebbe pari a 0.72. Si riportano due esempi numerici in tabella 2.

Nelle principali norme tecniche non ci sono indicazioni su come governare l'incertezza della misura. L'unico riferimento al momento disponibile è ancora una volta la norma tecnica UNI EN ISO 7726, che fissa i requisiti di accuratezza strumentale per la misura delle grandezze fisiche fondamentali.

Questi requisiti sono riferiti alla strumentazione, non alla misura. Questo vuol dire che, nel calcolo dell'incertezza di misura, andrebbero tenuti in considerazione sia il contributo relativo all'accuratezza del sensore che quello dovuto alla precisione della misura connessa con la durata dell'attesa. Per le considerazioni successive useremo comunque i limiti indicati nella

norma 7726, i quali sono riportati in Tabella 3 per le misure di temperatura dell'aria, temperatura media radiante e temperatura di globotermometro.

Tabella 2: esempi dell'incidenza delle variazioni della temperatura di globotermometro Tg sul valore dell'indice PMV

Icl	Met	Rh	Va	Ta	Tg	PMV
0.7 clo	1.2 Met	50 %	0.1 m/s	25 °C	23 °C	-0.10
					25 °C	0.24
					27 °C	0.62
				23 °C	21 °C	-0.66
					23 °C	-0.32
					25 °C	0.06

L'accuratezza strumentale per l'ultima grandezza fisica in tabella 3 è stata derivata attraverso la formula di propagazione degli errori arrestata al primo ordine.

Da notare che la stessa norma fornisce valori diversi a seconda dell'utilizzo della strumentazione, infatti per le valutazioni di stress termico i limiti di accuratezza sono ben più alti di quelli definiti per le valutazioni di comfort termico.

Tabella 3: Requisiti di accuratezza strumentale secondo la norma UNI EN ISO 7726

Grandezza fisica	Accuratezza strumentale		
	Tipologia	Comfort	Stress
temperatura dell'aria	Richiesta	± 0.5 °C	$\pm 0.5 / 3.3$ °C
	Desiderabile	± 0.2 °C	$\pm 0.25 / 1.65$ °C
temperatura media radiante	Richiesta	± 2 °C	$\pm 5 / 13$ °C
	Desiderabile	± 0.2 °C	$\pm 0.5 / 4.5$ °C
Temperatura di globo	Richiesta	± 1.7 °C	$\pm 4.3 / 11.7$ °C
	Desiderabile	± 0.2 °C	$\pm 0.4 / 4$ °C

Per ogni grandezza fisica e per ogni tipologia di valutazione, sono presenti un'accuratezza accettabile e una desiderabile. Secondo la nostra esperienza, sarebbe auspicabile che l'incertezza della misura dovuta al tempo di risposta della sonda non fosse superiore al limite desiderabile. Nel caso del comfort termico, sarebbe quindi necessario ricercare una precisione di misura pari a 0.2 °C. Con questo obiettivo, utilizzando l'approccio descritto nel documento INAIL, è possibile calcolare il tempo di attesa necessario per ogni rilievo in funzione della differenza di temperatura di globotermometro tra un punto di misura e il successivo, come riportato negli esempi in tabella 4.

Tabella 4: tempi di attesa in funzione della differenza di temperatura di globotermometro T_g

ΔT_g [°C]	Precisione [°C]	Tempo di attesa [min]
2	0.2	20
5	0.2	28
10	0.2	34

I risultati indicano che per differenze di temperatura superiori ai 2 °C, il tempo di attesa necessario per avere una precisione strumentale inferiore a 0.2 °C dovrebbe essere ben superiore ai 20 minuti. L'entità di questi scostamenti è sperimentabile in uffici dello stesso stabile, magari esposti verso punti cardinali diversi. I tempi di attesa indicati dalla norma tecnica per il globotermometro, pari a 20-30 minuti, risultano quindi confrontabili con quelli proposti nella tabella sopra.

Viste le considerazioni fatte sopra, la corretta procedura di campionamento consente non più di 2 misure all'ora, dove all'interno di questo intervallo di tempo la misura effettiva occupa 2-3 minuti per punto. Infatti, se assumiamo che lo spostamento della strumentazione da una postazione a quella successiva possa richiedere circa 3 minuti per rilievo, la durata di un rilievo compreso il posizionamento della sonda è di 26 minuti. Pertanto si può affermare che in un'indagine microclimatica, circa tre quarti del tempo totale dovrebbero essere impiegati per l'attesa dell'acclimatamento delle sonde.

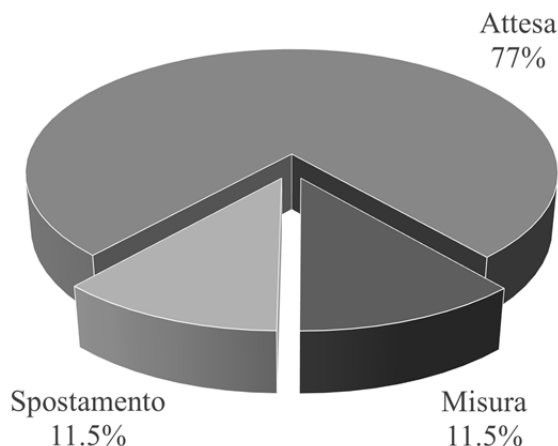


Figura 2. Suddivisione del tempo complessivo di accertamento del microclima nelle tre fasi di attesa, spostamento e misura.

Nei casi in cui l'accertamento richiede alcune decine di misurazioni, la campagna di misure può protrarsi per diversi giorni. Questo vincolo apre la strada al problema della confrontabilità degli esiti delle valutazioni in punti diversi, in quanto un cambiamento sensibile nelle condizioni metereologiche può incidere anche sull'andamento delle grandezze termoigrometriche nei punti di misura.

4 – UN APPROCCIO ALTERNATIVO

Entrambi i metodi per la determinazione di un corretto tempo di attesa, sia questo tempo fisso per tutti i rilievi o variabile, utilizzano lo stesso approccio, per cui la durata dell'acclimatamento delle sonde equivale a un tempo di attesa improduttivo ai fini dell'indagine microclimatica. Il tecnico deve aspettare un tempo corretto affinché i valori dei parametri termoigrometrici rilevati dai sensori si siano stabilizzati e, a quel punto, può iniziare il campionamento dei dati che utilizzerà per portare a termine la sua valutazione, sia essa di stress o di comfort termico.

In questo contributo si propone un metodo alternativo, basato su un approccio diverso da quello standard appena visto.

L'idea di base del metodo alternativo proposto è la seguente: capitalizzare le misure raccolte nel corso del tempo di adattamento, nobilitando quel che prima era solo attesa.

A questo scopo, ricavata la curva che meglio descrive l'evolvere di ogni singola grandezza oggetto di misura, è possibile calcolare il valore a cui la stessa tende asintoticamente, ovvero il valore atteso al raggiungimento dell'equilibrio termico tra sonda e ambiente.

La curva di acclimatamento del sensore in funzione del tempo è descritta dall'equazione 1, in cui, per una maggior chiarezza, è esplicitato il valore a cui tende asintoticamente il sistema (X_2).

$$X(t) = X_1 + (X_2 - X_1) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad 2$$

Tramite tecniche di fitting dei dati, disponibili in fogli di calcolo o in librerie dei più comuni ambienti di sviluppo, è possibile interpolare i dati raccolti con la funzione in eq. 2 attraverso i parametri liberi X_1 , X_2 , τ . La stima della grandezza termoigrometrica da considerare per la valutazione microclimatica è rappresentata dal valore di X_2 .

A titolo esemplificativo si riporta in figura 3 un grafico che rappresenta l'acclimatamento di un globotermometro nel corso di un rilievo della durata di 30 minuti (linea continua). La curva tratteggiata rappresenta la funzione che interpola i dati, i cui parametri liberi sono stati calcolati utilizzando la porzione del rilievo compresa tra il 100mo e l'800mo secondo (area evidenziata nel grafico).

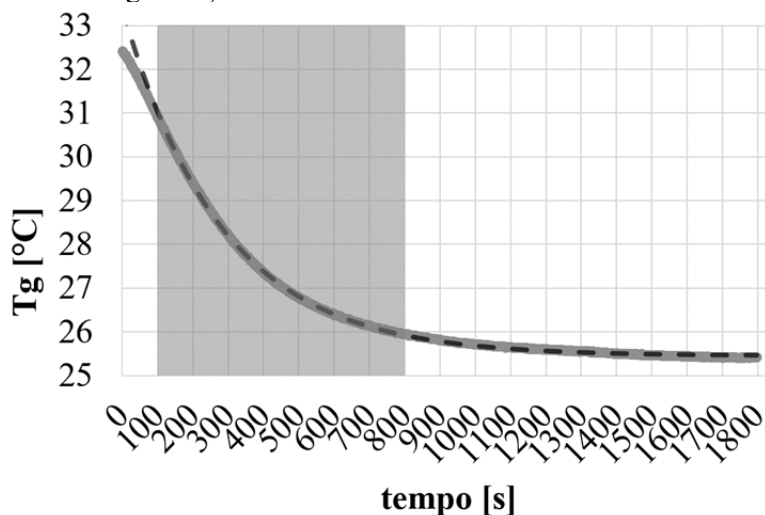


Figura 3. Andamento temporale di un rilievo di temperatura di globo e curva che approssima tale andamento (linea tratteggiata) attraverso l'interpolazione dei dati compresi nella regione evidenziata.

La misura rappresentata in figura 3, come le altre pubblicate nel presente contributo, è stata pensata ed eseguita all'interno di un progetto mirato allo sviluppo di un metodo basato sul nuovo approccio. Le rilevazioni sono state eseguite con strumentazione LSI Lastem (acquisitore dati M-Log e relative sonde) sia nella sede di Ce.S.N.I.R. srl che nella camera climatica presente nei laboratori LSI di Settala.

Gli esiti del calcolo dei parametri sono riportati in tabella 5, ognuno con il relativo errore standard asintotico. Questo errore è restituito dal software opensource Gnuplot, utilizzato per l'interpolazione, e fornisce un'indicazione qualitativa sulla bontà dell'accordo tra l'andamento temporale dei dati e della curva risultante dalla procedura di fitting.

Tabella 5: Valori finali dei parametri del fit con relativo errore asintotico e intervallo di interpolazione ($t_1 \div t_2$)

t_1	t_2	T_{g1} [°C]	ΔT_{g1} [°C]	T_{g2} [°C]	ΔT_{g2} [°C]	τ [s]	$\Delta\tau$ [s]
100 s	800 s	33.38	0.02	25.45	0.02	283 s	1.3 s

Se in termini visivi l'accordo appare sostanzialmente perfetto, nella tabella 6 si può apprezzare quantitativamente la bontà del fit. La differenza tra la media aritmetica dei dati raccolti negli ultimi 3 minuti del rilievo e il valore del parametro T_{g2} ricavato tramite fitting è pari a 4 centesimi di grado centigrado.

Tabella 6: Confronto tra media calcolata sugli ultimi 3 minuti del rilievo, esito del fit e media calcolata a partire dal T_{90} risultante dal fit

	Media su 3 minuti finali, da $t_1=1620$ s a $t_2=1800$ s	Con procedura di Fitting	Media da $t_1=660$ s a $t_2=840$ s (da T_{90} per 3 minuti)
T_{g2}	25.41 °C	25.45 °C	26.04 °C
Differenza tra media finale e fit	0.04 °C	Differenza tra media al minuto 11 e fit	0.59 °C

Da questo esempio si possono trarre anche delle considerazioni sul tempo di risposta del sensore: l'interpolazione per la costante di tempo restituisce un valore di 283 secondi, quindi il T_{90} è pari a circa 11 minuti. L'acclimatamento è quindi più veloce rispetto al dato teorico dichiarato dal produttore, che fornisce un tempo di risposta di 20 minuti. Con un'attesa di 11 minuti e un rilievo successivo di 3 minuti, la stima della temperatura di globo avrebbe avuto un valore più alto di circa 0.6°C rispetto a quella risultante dalla procedura di interpolazione eseguita sui primi 15 minuti. Quindi a parità di tempo speso nella postazione di misura, con l'applicazione del secondo approccio descritto in questo contributo è possibile migliorare la stima di circa 0.6 °C rispetto all'approccio migliorativo descritto nel documento INAIL.

Il secondo esempio che riportiamo è riferito a un rilievo eseguito ad hoc per confrontare le risposte di due globotermometri identici tra loro, posizionati sullo stesso cavalletto a distanza ravvicinata e alla stessa altezza da terra. La strumentazione è stata collocata in un ambiente caldo e, non appena è stata spostata in un ambiente climatizzato, è stato avviato il campionamento dei dati.

Nel grafico in figura 4 sono riportati gli andamenti dell'acclimatamento dei due sensori, le linee tratteggiate rappresentano le curve di interpolazione calcolate sempre nell'intervallo 100 – 800 s. L'ingrandimento dell'ultima parte del grafico permette di apprezzare l'adattamento delle due curve ai due set di dati. Il passo di campionamento è pari a 3 secondi, ma per una maggiore chiarezza del grafico, nell'ingrandimento è riportato un dato ogni 30 secondi.

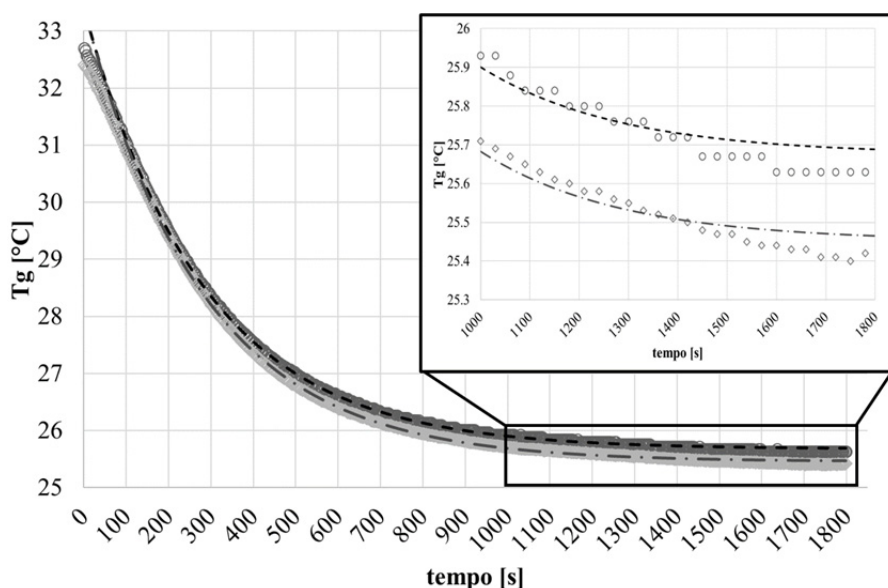


Figura 4. Andamento temporale di due rilievi di temperatura di globo e curve derivanti dalla procedura di fitting (linee tratteggiate), con ingrandimento sulla regione compresa tra 1000 e 1800 s.

Gli esiti riportati in tabella 7 indicano un accordo sorprendente per quanto riguarda i parametri ΔT_{g1} e τ , con riferimento alla differenza tra le due previsioni della temperatura di globo T_{g2} , questa è pari a 0.22 °C.

Tabella 7: Valori finali dei parametri dei fit con relativi errori asintotici e intervallo di interpolazione ($t_1 \div t_2$) per i due sensori utilizzati

	t_1	t_2	T_{g1} [°C]	ΔT_{g1} [°C]	T_{g2} [°C]	ΔT_{g2} [°C]	τ [s]	$\Delta \tau$ [s]
Globo 1	100 s	800 s	33.38	0.02	25.45	0.02	283	1.3
Globo 2	100 s	800 s	33.38	0.01	25.67	0.01	283	0.8
Δ_{1-2}	--	--	0.00	--	0.22	--	0	--

Tale discrepanza è dovuta all'accuratezza della strumentazione, infatti le medie eseguite sugli ultimi 3 minuti del rilievo hanno uno scostamento identico, come visibile in tabella 8. L'accordo tra le previsioni è dell'ordine dei 4 centesimi di grado coi rispettivi set di dati. Per il rilievo sotto esame, si può affermare che l'incertezza sulla stima della temperatura di globo sia pari a oltre 5 volte l'errore risultante dalla stima attraverso interpolazione dei dati.

Tabella 8: Confronto tra medie calcolate sugli ultimi 3 minuti dei rilievi, esiti dei fit e differenze

	Media su 3 minuti finali, da $t_1=1620$ s a $t_2=1800$ s	Con procedura di Fitting	Differenza tra media finale e fit
T_{g2} globo 1	25.41 °C	25.45 °C	0.04 °C
T_{g2} globo 2	25.63 °C	25.67 °C	0.04 °C
Δ_{1-2}	0.22 °C	0.22 °C	

Gli esempi sopra discussi indicano che in un ambiente stazionario, il secondo approccio può rendere più veloce la procedura di misura con un errore sulla stima sostanzialmente trascurabile. Inoltre, questo metodo può essere utilizzato per diverse grandezze termoisometriche, come temperatura dell'aria e umidità relativa, ovvero per tutti quei sensori che hanno un tempo di risposta non immediato.

I risultati esposti sono stati raggiunti attraverso l'utilizzo del software Gnuplot, preferiti a quelli ottenuti con il foglio di previsione del pacchetto Office Excel per una maggior versatilità e un miglior controllo dello strumento di interpolazione dimostrate dal primo dei due programmi. Il software implementa l'algoritmo di Levenberg-Marquardt, una tecnica standard per la risoluzione di problemi ai minimi quadrati non lineari.

Non sempre l'esecuzione dell'algoritmo ha esito positivo: in alcuni casi può succedere che la previsione non si adatti bene al set di dati, nei casi peggiori invece l'algoritmo potrebbe fallire e restituire un messaggio di errore. Per ridurre al minimo queste eventualità, i valori iniziali dei parametri X_1 e X_2 usati per iniziare il ciclo iterativo di fitting, sono stati posti rispettivamente uguali al primo e all'ultimo dei dati collezionati. Il valore iniziale della costante di tempo iniziale è stato posto pari a 500 secondi, l'equivalente di un tempo di risposta di circa 20 minuti. Un'ulteriore accortezza riguarda gli spazi in cui possono variare i 3 parametri liberi, infatti per aumentare le

probabilità che l'esito sia positivo conviene vincolare l'intervallo di variabilità. Al momento, si è scelto di vincolare i parametri X_1 , X_2 ad un intervallo pari al campo di misura del sensore, mentre la costante di tempo può variare nel semiasse positivo del campo reale.

5 – TEMPISTICHE DI MISURA COL METODO DEL FITTING

Nel precedente paragrafo abbiamo mostrato le potenzialità del metodo confrontando gli esiti derivanti dall'applicazione dei due approcci su rilievi di lunga durata. Nel presente si discutono alcune osservazioni sulla durata minima del rilievo al fine di raggiungere una buona stima della grandezza termogrometrica sotto esame.

In analogia all'approccio standard, anche per l'uso della tecnica del fitting la durata minima dei rilievi dipende dall'ampiezza dell'intervallo che la strumentazione deve coprire durante l'acclimatamento e dallo scostamento dalle condizioni di stazionarietà del sistema. Sulla base della nostra esperienza, in queste condizioni, la durata del singolo rilievo può essere ridotta del 50% rispetto a quella definita dal metodo standard (20 ÷ 30 minuti di attesa + 3 minuti di campionamento).

Fissata la durata del rilievo, la scelta dell'intervallo di dati su cui effettuare l'interpolazione, ovvero la determinazione del numero di dati iniziali da scartare, risulta decisivo nella riduzione dell'errore sulla stima. In effetti non tutti i campioni sono utili alla minimizzazione dell'errore sulla stima. Come mostrato nella figura 5, nei primi minuti di misura l'evoluzione della grandezza segue un andamento diverso da quello teorico (decadimento esponenziale). Una volta superata questa fase, l'output del sensore restituisce valori in linea con le previsioni analitiche. Per questo motivo i primi campioni, più che essere inutili, costituiscono una vera e propria perturbazione del calcolo e se utilizzati, a parità di incertezza del risultato, dovrà essere maggiore il numero totale di campioni su cui estenderne il calcolo e quindi maggiore la durata di ogni misura. Risulta pertanto importante scartare alcuni dei campioni iniziali, ma con quale criterio?

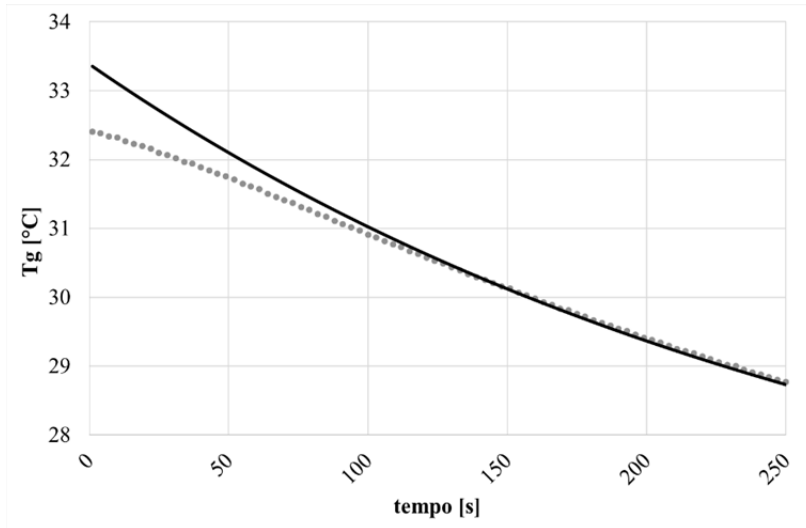


Figura 5. Confronto tra risposta temporale di un globotermometro nei primi minuti del rilievo (rappresentazione per punti) e approssimazione analitica tramite fitting (linea continua).

Non siamo certi che si possa definire una regola generale che permetta di scartare un numero fisso di punti iniziali per ogni rilievo sottoposto alla procedura di interpolazione o che si riesca a determinare una relazione matematica tra il numero di dati da scartare e alcuni parametri quali la durata complessiva del rilievo o l'escursione tra valore iniziale e valore finale della grandezza sotto osservazione. Nella pratica, ad oggi, abbiamo provveduto con delle routine che restituiscono una serie di grafici costruiti su set di campioni diversi per punto iniziale e medesimo punto finale del fit, scegliendo visivamente, nei casi dubbi, il miglior intervallo di interpolazione.

Nella figura 6 sono mostrati gli esiti delle interpolazioni eseguite su diversi intervalli di dati dello stesso rilievo.

Gli esiti che hanno in comune il numero di dati iniziali scartati e che differiscono tra loro per numero di campioni utilizzati nell'interpolazione sono collegati con una linea. Nel grafico sono rappresentati i risultati riferiti a intervalli che partono dall'istante iniziale (nella figura indicati dalla linea denominata $t_1=1s$), quelli ottenuti scartando il primo minuto ($t_1=61s$) e così via, fino ad arrivare a non considerare i primi 5 minuti ($t_1=301s$). Il grafico indica che, all'aumentare della durata della misura, tutti i fit convergono a valori vicini alla media eseguita sugli ultimi 3 minuti del rilievo (dal 20° minuto fino al 23°), in figura rappresentata dalla linea continua stazionaria. Gli esiti che ricadono nella banda evidenziata hanno uno scostamento inferiore a 0.2 °C rispetto alla media. Da notare che il rilievo entra in questa

regione dopo 16 minuti dal posizionamento della strumentazione nel nuovo punto di misura, quindi un tempo di attesa consono secondo l'approccio standard sarebbe stato non inferiore a questa durata.

Per il rilievo in questione, quasi tutte le curve derivanti da approssimazione analitica si attestano su valori accettabili a partire dall'undicesimo minuto. L'unica eccezione è rappresentata dalla linea relativa ai fit che escludono i primi 5 minuti di misura, che converge verso il suo valore limite ma con un andamento non monotono.

Gli esiti migliori sono quelli ottenuti con l'esclusione dei primi 3 o 4 minuti del rilievo (nel grafico sono rispettivamente rappresentati da quadrati e triangoli), infatti nel primo caso l'adattamento è buono già dopo 8 minuti totali di rilievo, nel secondo addirittura dal settimo minuto in poi.

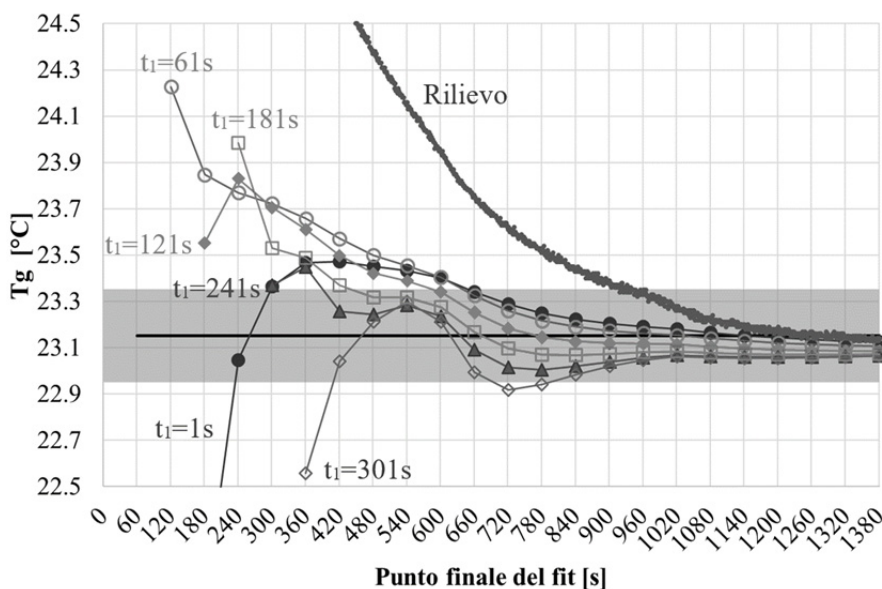


Figura 6. Esiti delle interpolazioni eseguite sui dati di un rilievo, al variare dell'intervallo su cui è applicata la procedura. È riportata anche la media sugli ultimi 3 minuti del rilievo (linea continua stazionaria) e la banda di accettabilità dell'esito, quantificata in ± 0.2 °C.

La tabella 9 riassume i dati mostrati nel grafico, dove t_1 indica l'istante iniziale del fit e t_2 quello finale. Le celle della tabella con sfondo grigio evidenziano gli esiti che hanno uno scostamento superiore a 0.2 °C rispetto alla media sui 3 minuti finali del rilievo, pari a 23.15 °C.

Tabella 9: Esiti delle interpolazioni eseguite sui dati del rilievo, al variare dell'intervallo su cui è applicata la procedura.

t_2 [s]	$t_1 = 1$ s T_{g2} [°C]	$t_1 = 61$ s T_{g2} [°C]	$t_1 = 121$ s T_{g2} [°C]	$t_1 = 181$ s T_{g2} [°C]	$t_1 = 241$ s T_{g2} [°C]	$t_1 = 301$ s T_{g2} [°C]
61	-27752.24	--	--	--	--	--
121	12.41	24.23	--	--	--	--
181	22.00	23.85	23.55	--	--	--
241	23.05	23.77	23.83	23.98	--	--
301	23.36	23.72	23.71	23.53	23.37	--
361	23.47	23.66	23.61	23.49	23.45	22.56
421	23.47	23.57	23.50	23.37	23.26	23.04
481	23.45	23.50	23.42	23.32	23.24	23.21
541	23.43	23.45	23.39	23.32	23.28	23.30
601	23.40	23.40	23.34	23.27	23.23	23.21
661	23.34	23.33	23.25	23.17	23.09	22.99
721	23.29	23.26	23.18	23.10	23.02	22.92
781	23.25	23.22	23.15	23.07	23.01	22.94
841	23.22	23.19	23.13	23.07	23.02	22.98
901	23.20	23.17	23.12	23.07	23.04	23.02
961	23.19	23.16	23.12	23.08	23.06	23.05
1021	23.18	23.15	23.11	23.08	23.07	23.06
1081	23.17	23.14	23.11	23.08	23.06	23.06
1141	23.15	23.13	23.10	23.07	23.06	23.06
1201	23.14	23.12	23.09	23.07	23.06	23.05
1261	23.14	23.11	23.09	23.07	23.06	23.06
1321	23.13	23.11	23.09	23.07	23.06	23.06
1381	23.12	23.11	23.09	23.07	23.07	23.06

6 – TEMPISTICHE DELL'INDAGINE, UN CASO PRATICO

In chiusura citiamo quanto abbiamo sperimentato nel corso di un accertamento composto da numerosissime misurazioni nell'estate 2019, soffermandoci solo sugli aspetti concernenti la tempistica.

A fronte della necessità di compiere circa 120 misurazioni, il tempo teorico da dedicare ai soli accertamenti sarebbe stato di 60 ore, 7.5 giorni/uomo. Questa è stata la prima occasione in cui abbiamo sperimentato il metodo di lavoro appena illustrato, con l'aspettativa di ridurre il tempo teorico di indagine a circa 4 giorni/uomo di lavoro. Il dato interessante è che i

giorni/uomo lavorativi sono stati alla fine 8. Per un impianto complesso qual era quello oggetto di queste misurazioni, bisogna infatti tenere conto di una discreta quantità di tempo che si aggiunge al tempo teorico di accertamento e rappresentata, ad esempio, da:

- lunghi spostamenti,
- tempi di attesa perché ci siano le opportune condizioni di misura (quelle più rappresentative dell'esposizione reale più intensa),
- tempi di attesa per parziali indisponibilità del personale aziendale,
- fermi impianto,
- ripetizioni di misure in condizioni ritenute più significative delle precedenti (o desiderate dai lavoratori, piuttosto che dalla direzione aziendale).

In definitiva, dimezzare il tempo correlato alle misure vere e proprie ha permesso di eseguire in un tempo comunque ragionevole gli accertamenti che altrimenti si sarebbero potuti protrarre per tempi incompatibili con le disponibilità del nostro personale e di quello dell'azienda cliente.

7 – CONCLUSIONI

Con questo lavoro abbiamo voluto approfondire il tema relativo alle tempistiche che governano le rilevazioni microclimatiche, attraverso il riesame di quanto proposto dalla letteratura più autorevole e la proposta di una tecnica di analisi dati che consente di accorciare i tempi di attesa per l'adattamento delle sonde.

L'approccio standard alla problematica del tempo di acclimatamento dei sensori prevede che il campionamento sia eseguito una volta che la strumentazione ha raggiunto l'equilibrio termico con l'ambiente in cui è inserita. L'esito del rilievo sarà quindi composto dalla media eseguita sui dati collezionati dopo questo tempo di attesa. L'approccio da noi sviluppato propone di utilizzare i dati raccolti durante l'acclimatamento delle sonde per la determinazione del valore da misurare, rendendo così produttivo tutto il tempo trascorso in una postazione di misura. Il presente lavoro dimostra anche che con un'oculata scelta dell'intervallo di misura, è possibile ridurre i tempi del 50% rispetto all'approccio standard, con una perdita in precisione trascurabile.

Il metodo sviluppato è già stato testato nel corso di un accertamento reale e ha permesso di controllare il tempo totale dedicato all'indagine strumentale, compensando il tempo richiesto per gestire gli imprevisti che normalmente occorrono in contesti produttivi.

La messa a punto del metodo richiede tuttavia ulteriori validazioni e approfondimenti. Questi concernono principalmente la scelta degli estremi dell'intervallo di interpolazione, tema che coinvolge sia la questione relativa alla durata complessiva del rilievo, sia il problema legato allo scostamento

dall'andamento teorico per i primi dati del rilievo. Una volta conclusa l'esplorazione di questa tematica, sarà possibile quantificare l'errore reale sui risultati ottenuti con questa metodica. Al momento la procedura restituisce l'errore standard asintotico, indicazione solo qualitativa del buon adattamento della curva al set di dati.

Un altro tema degno di attenzione è il campo di applicabilità di questo metodo in termini di escursione tra valore iniziale e finale della grandezza sotto esame e di scostamento dell'evoluzione temporale dalle condizioni di stazionarietà.

Uno sviluppo auspicabile è, infine, il coinvolgimento dei produttori di strumentazione tecnica al fine di implementare a bordo della strumentazione il metodo proposto. Questo passo permetterebbe da un lato di utilizzare le tecniche di interpolazione per la previsione in tempo reale dei valori corretti e del relativo livello di affidabilità, dall'altro potrebbe dare indicazioni utili sull'effettiva stazionarietà della grandezza oggetto di misura.

8 – BIBLIOGRAFIA

- [1] UNI EN ISO 7726:2002 *Ergonomia degli ambienti termici – Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche*
- [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*
- [3] UNI CEI 70098-3:2016 *Incertezza di misura - Parte 3: Guida all'espressione dell'incertezza di misura*
- [4] Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome in collaborazione con ISPESL (2006-06) *Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro*
- [5] INAIL (2018-07) *La valutazione del microclima*
- [6] T. Williams, C. Kelley, E. A. Merritt & others (2018-11) *Gnuplot 5.2 – An interactive plotting program*
- [7] M. I. A. Lourakis (2005) *A brief description of the Levenberg-Larquardt algorithm implemented by levmar*

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

ACCERTAMENTI DI STRESS TERMICO MEDIANTE MONITORAGGIO DELLA FREQUENZA CARDIACA DEGLI ESPOSTI

Alessandro Merlino⁽¹⁾, Gianluca Gambino⁽¹⁾, Daniele Meda⁽¹⁾, Gabriele Quadrio⁽¹⁾

⁽¹⁾CeSNIR, Villasanta (MB)

1 – INTRODUZIONE

Questo lavoro rappresenta il seguito di un altro presentato nell'ambito del convegno dBA 2018, con il quale veniva proposta una disamina dei metodi di valutazione dello stress termico da caldo per quei lavoratori che indossano abbigliamento protettivo. In quel primo contributo era fornita la descrizione di un metodo basato sulle letture della frequenza cardiaca dei soggetti esposti sviluppato da M. J. Buller [1], ricercatore statunitense, nell'ambito delle forze armate.

Con l'attuale contributo intendiamo restituire l'esito di alcuni accertamenti tecnici eseguiti nell'estate del 2019 secondo questa procedura.

Come già evidenziato con il primo lavoro, ricordiamo che un approccio tramite il monitoraggio di parametri fisiologici risulta l'unica soluzione praticabile per l'accertamento dello stress termico da caldo nei casi in cui non risultino utilizzabili i metodi noti con gli acronimi WGBT (UNI, 2017) e PHS (UNI, 2005) e nei casi in cui, pur risultando utilizzabili detti metodi, gli indici di esposizione superano i pertinenti limiti o li rispettano con un margine troppo piccolo per poter essere considerato di sicurezza.

2 – ENTITÀ DEL RISCHIO

Le persone esposte al caldo subiscono effetti che possono incidere sulle loro prestazioni, sul comfort e sulla loro salute con conseguenze di varia gravità

fino ad arrivare addirittura alla morte. Quando il tempo meteorologico diventa eccezionalmente 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 meglio governata che in quello del pubblico generico dove, nelle estati più calde, si possono contare centinaia di morti, con picchi di migliaia (nell'estate del 2003 nella sola città di Parigi morirono 14 000 persone per il caldo e in Italia i morti arrivarono complessivamente a circa 18 000).

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 personale sanitario, vigili del fuoco, militari.

Condizioni di alto rischio possono verificarsi anche in agricoltura, nell'industria siderurgica, in quella automobilistica, in quella dell'estrazione del petrolio, a bordo di imbarcazioni, sui cantieri edili e stradali.

Gli effetti sull'organismo che si possono verificare all'aumentare del surriscaldamento corporeo sono i seguenti: 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 [4] 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 e della sensibilità del singolo soggetto, è necessario che il limite adottato comprenda un opportuno margine di sicurezza ed è per questo motivo che tale limite viene universalmente assunto pari a 38 °C su indicazione della OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità).

Bisogna infine considerare che vi sono importanti fattori individuali, nella vulnerabilità al calore, tra cui: età, genere, grasso corporeo, droghe e alcol, stato di salute e disabilità fisiche.

3 – LA DISPERSIONE DEL CALORE SVILUPPATO INTERNAMENTE

Nella valutazione dello stress termico non deve essere sottovalutato il calore prodotto dell'attività fisica e che si accumula all'interno dell'organismo e la facilità/difficoltà a disperderlo. Sulla dispersione di questo incide evidentemente l'abbigliamento. Nei casi in cui i lavoratori devono indossare anche un abbigliamento protettivo (e talvolta questo accade proprio per proteggersi dal calore esterno, specialmente radiato), la capacità di disperdere il calore sviluppato internamente può ridursi criticamente, fino ad annullarsi nel caso di abbigliamento incapsulante. Di qui l'importanza di considerare correttamente gli effetti dell'abbigliamento protettivo nelle valutazioni di stress termico.

Si rimanda al precedente lavoro (Merlino et al., 2018) per una descrizione più ampia delle conseguenze sullo stress termico riconducibili all'uso di abbigliamento protettivo.

In questa sede vogliamo però ricordare che gli effetti dell'abbigliamento sugli scambi di calore tra soggetto e ambiente 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 di tipo non evaporativo che avvengono attraverso la pelle, 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".

La resistenza all'evaporazione influenza invece gli scambi di calore che possono avvenire attraverso la pelle a mezzo del meccanismo dell'evaporazione. Quando la resistenza all'evaporazione è elevata (come nel caso di indumenti impermeabili) l'unico modo di disperdere calore rimane quello per convezione e irraggiamento dalla superficie esterna dell'abbigliamento, ma la quota di calore così dispersa è di molto inferiore a quella che sarebbe stata ceduta attraverso l'evaporazione del sudore all'esterno.

4 – 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:

- il metodo basato sull'indice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), illustrato nella norma tecnica UNI EN ISO 7243:2017 [10];

- il metodo denominato PHS (Predicted Heat Strain), basato sui descrittori t_{re} (temperatura rettale) e D (quantità di liquidi persi durante l'esposizione), illustrato nella norma tecnica UNI EN ISO 7933:2005 [9].

In termini gerarchici, il metodo WBGT dev'essere considerato di screening e 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.

Il principio del metodo WBGT si basa sull'assunzione che gli scambi di calore tra la strumentazione di misura 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, ...).

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. Il metodo PHS propone questo tipo di calcolo.

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, permettendo 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 precedenti e dei tempi di risposta delle variabili fisiologiche considerate.

Il metodo può essere utilizzato se ogni parametro oggetto di valutazione rientra entro gli intervalli di applicabilità definiti dal metodo stesso (cfr. tabella 1)

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

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

Nessuno dei due standard illustrati sopra è tuttavia adatto alla valutazione dello stress termico per lavoratori sottoposti ad alti carichi termici e che indossano abbigliamento protettivo. Il metodo WBGT non è infatti idoneo per valutazioni approfondite e il metodo PHS consente di compiere valutazioni solo nei casi in cui l'isolamento termico dell'abbigliamento non supera il valore di 1 clo e l'indice di permeabilità al vapore non si discosta da 0.38.

I due metodi appena richiamati sono gli unici elaborati a livello internazionale per una valutazione oggettiva dello stress termico da caldo riferita a gruppi di lavoratori, ma 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.

L'unico standard che affronta il caso di lavoratori 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 nel 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 esistenti¹ (WBGT e PHS) [5] per ottenere una possibile valutazione degli effetti dello stress termico da caldo anche per i lavoratori che devono indossare abbigliamento protettivi o altri DPI che possono incidere sull'ambiente termico personale. Rimandando al precedente articolo per una dettagliata illustrazione della procedura proposta dallo standard britannico, richiamiamo di seguito i principi da questo adottati per rivedere la metodologia PHS (è parere degli scriventi che un indice di screening come il WBGT non dovrebbe nemmeno essere preso in considerazione per esaminare casi ad alta criticità).

a) Innanzitutto occorre determinare l'impatto dei DPI, abbigliamento incluso, sul tasso metabolico. Questo risulterà aumentato quando il

¹ 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 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.

lavoratore indossa un abbigliamento diverso da quello *standard*² e la BS 7963 [6] propone con la tabella 3.2, una serie di fattori correttivi da aggiungere al tasso metabolico determinato in base agli sforzi compiuti dal lavoratore, tramite la UNI EN ISO 8996:2005 (“Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione del metabolismo energetico”).

- 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, ma 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.
- 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 di ridurre, se non eliminare, la quota di calore ceduta dal corpo all'ambiente per evaporazione del sudore.
- d) Per rendere conto infine 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” e risulta pertanto 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). Una mancata rivalutazione, in questi casi, può comportare pesanti sottostime se gli operatori indossano un abbigliamento con isolamento termico e resistenza all'evaporazione molto diversi da quello standard.

5 – VALUTAZIONE DELLO STRESS DA CALDO MEDIANTE MISURAZIONI FISIOLGICHE

² 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).

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 (UNI EN ISO 9886:2004³).

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 di alcune specificità del singolo.

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.

Tenuto conto del grado di invasività e delle difficoltà metrologiche di alcune di queste pratiche, l'unica utilizzabile sul campo per valutazioni di igiene industriale è quella della misurazione della frequenza cardiaca. Tuttavia anche questa presenta una serie di limiti: l'impossibilità di restituire i risultati in tempo reale, una certa arbitrarietà nella determinazione degli extra-battiti cardiaci riconducibili all'innalzamento termico del nucleo corporeo e una scarsa praticabilità sul campo, considerato che per ogni esposizione al calore ritenuta pericolosa, si deve prevedere l'interruzione dal lavoro dell'addetto allo scopo di eseguire una misurazione della frequenza cardiaca in un ambiente a temperatura controllata con il soggetto a riposo e per un tempo prolungato (almeno 15 minuti).

Esistono tuttavia soluzioni che, pur non godendo dell'*imprimatur* di un organo di normazione, possono risultare utili per giungere ad un'attendibile e praticabile valutazione individuale dello stress termico basata sul monitoraggio della frequenza cardiaca.

Con il precedente articolo (Merlino et al, 2018) abbiamo illustrato il metodo elaborato da Mark J. Buller nel 2013 (Buller et al, 2013), il quale ha dimostrato che la frequenza cardiaca HR può essere letta come una funzione della temperatura del nucleo t_{cr} , distorta da rumore e filtrata applicando un filtro Kalman. 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 nel fornire un'indicazione operativa della sollecitazione termica del personale nei luoghi di lavoro.

Con un successivo studio del 2015 (Buller et al, 2015) [2] 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.

³ "Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche"

Per valutare la performance dell'algoritmo gli autori hanno esaminato le differenze tra le temperature misurate direttamente mediante termometri in forma di pillola ingeribile e quelle stimate dall'algoritmo che elabora i dati sulla frequenza cardiaca.

L'algoritmo si è confermato come affidabile e utilizzabile anche nei casi in cui gli addetti indossino abbigliamento protettivo di tipo CBRNE (Chemical Biological Radiological Nuclear and Explosive Equipment).

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 sullo stato di salute).

Si fa notare inoltre che il modello lavora al meglio se è nota la temperatura interna iniziale. Tuttavia potrebbero essere numerose le circostanze in cui questo dato è ignoto, ma in questi casi si può fornire una temperatura ipotetica, 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.

Il lavoro si conclude ribadendo che il monitoraggio individuale dello stress termico è molto importante poiché le risposte organiche alle sollecitazioni termiche degli individui possono essere diverse, anche a parità di compito lavorativo. L'algoritmo di calcolo della temperatura interna del corpo elaborato da Buller e colleghi 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 permettendo così di prevenire eventuali malattie o incidenti dovuti all'eccesso di calore, oltre che a gestire al meglio i programmi di lavoro.

È parere degli scriventi che questa metodologia, per quanto ai suoi albori, risulti preziosa già oggi per esaminare i casi maggiormente critici di esposizione allo stress termico da caldo. Dopo averne sperimentato l'uso nell'estate del 2018 ed averne restituito l'esito al convegno dBA di quell'anno [3], con il 2019 abbiamo iniziato ad adottarla per condurre i nostri accertamenti tecnici di stress termico laddove i metodi standardizzati presentano i limiti illustrati sopra.

6 – DISPOSITIVI PER IL MONITORAGGIO

Sul mercato sono presenti dispositivi per il monitoraggio di diversi parametri riferiti allo stato di attività e di salute umana. Alcuni integrano anche una stima della temperatura del nucleo (o temperatura rettale) quale grandezza

derivata dalla frequenza cardiaca e tra questi citiamo il dispositivo chiamato BioHarness della Zephyr e quello denominato EQ02 della Equivital. Nel corso della nostra prima sperimentazione abbiamo impiegato un dispositivo che restituiva una molteplicità dei parametri, tra cui la temperatura del nucleo; inoltre, grazie a un collegamento radio, consentiva anche il monitoraggio in tempo reale.



Figura 1. Tipologia di dispositivi adottati da noi per le prime sperimentazioni e indirizzati al monitoraggio di diversi parametri umani correlati alla salute ed all'attività fisica del soggetto



Figura 2. Tipologia di dispositivi per il monitoraggio della frequenza cardiaca da torace da noi valutati per l'adozione in campo.

Nella transizione verso un sistema da adottare correntemente abbiamo provato diversi altri dispositivi, per approdare infine a lettori della sola frequenza cardiaca con tecnologia ottica, tipicamente indirizzati agli sportivi. L'andamento della temperatura interna è stato da noi ricavato a posteriori elaborando i dati sulla frequenza cardiaca, con l'algoritmo di Buller, reso noto dall'autore come funzione Matlab (Buller et al., 2013).

Questa scelta è stata dettata dalla necessità di condurre grandi quantità di misurazioni. Si ricorda infatti che un accertamento condotto mediante il monitoraggio di parametri fisiologici restituisce risultati riferibili al solo individuo oggetto dell'osservazione e, benché questo costituisca un vantaggio perché consente di valutare il rischio a cui è esposto il soggetto, implica tuttavia la necessità di condurre l'accertamento su tutti i lavoratori. Inoltre, perlomeno in questo primo anno di adozione, abbiamo scelto di condurre osservazioni della durata di una settimana lavorativa per ogni addetto. Questo per garantire che le osservazioni includessero ogni possibile fase lavorativa così da essere ragionevolmente sicuri di non perdere quelle più gravose dal punto di vista dello stress termico e, anzi, che di queste ci fosse qualche ridondanza tra i dati raccolti.

Con queste basi, un ipotetico monitoraggio di 20 addetti per 1 settimana lavorativa ciascuno, può essere svolto mediante 5 sensori nell'arco di 4 settimane o, meglio, mediante 10 sensori nell'arco di 2 settimane. Si capisce tuttavia quanto sia facile che le giornate di osservazione raggiungano il numero di diverse decine, se non il centinaio.

Si tenga conto che è possibile ricavare i valori della temperatura del nucleo a partire da letture della frequenza cardiaca (1 dato al minuto), mediante l'algoritmo di Buller, anche senza scrivere del codice *ad-hoc*. Sul sito Internet della USARIEM (US Army Research Institute of Environmental Medicine) [11] è infatti pubblicato un calcolatore online che implementa lo stesso calcolo (questo l'indirizzo:

[https://www.usariem.army.mil/index.cfm/modeling/](https://www.usariem.army.mil/index.cfm/modeling/cbt_algorithm#estimate)

[cbt_algorithm#estimate](https://www.usariem.army.mil/index.cfm/modeling/cbt_algorithm#estimate)). Noi abbiamo utilizzato questo calcolatore per verificare l'esattezza dei risultati ottenuti con il tool preparato internamente.

Per quel che concerne le misurazioni della frequenza cardiaca, abbiamo provato sistemi basati su sensori elettrici (ECG) e dispositivi ottici, da torace i primi, da polso o braccio i secondi. Il miglior compromesso tra affidabilità, costo, maneggevolezza e facilità di utilizzo, a nostro parere, è raggiunto dai sensori ottici da indossare sul braccio. Noi abbiamo scelto un modello a 6 LED.



Figura 3. Tipologia di dispositivo da noi adottato per gli accertamenti di igiene industriale (cardiofrequenzimetro da braccio con tecnologia ottica a sei LED)

Nell'utilizzo su un campione di circa 50 persone abbiamo riscontrato delle perdite di dati per mancata lettura della pulsazione cardiaca. Tali lacune si sono presentate in numero elevato solo su specifici soggetti indicando che probabilmente si tratta di un problema riferibile a casi precisi. Al momento non ne abbiamo individuato la causa che inizialmente avevamo cercato nella colorazione della pelle, ipotesi scartata però dal produttore. Questo è un elemento da approfondire perché, per quanto limitato a pochi casi (3 su 50 nel corso dei nostri monitoraggi dell'estate 2019), se il numero di dati persi è elevato, potrebbe richiedere di adottare un diverso sistema di misura (ad esempio la fascia toracica).

Tornando sui sistemi che implementano a bordo la stima della temperatura interna, si raccomanda di verificare quale sia la procedura di calcolo utilizzata. Con il calcolatore online segnalato sopra è inoltre possibile controllare che i risultati restituiti siano in linea con quelli attesi dal metodo di Buller.

7 – ORGANIZZAZIONE DI UNA CAMPAGNA DI RILIEVI

Ai fini della progettazione della campagna di rilievi si deve tenere conto che la valutazione relativa allo stress termico da caldo mediante il monitoraggio della temperatura interna, prevede di accertare che quest'ultima non superi mai il valore di 38 °C nemmeno per un minuto all'interno della giornata lavorativa (dove 38 °C, come spiegato sopra, comprende già un margine di sicurezza).

Questo implica la necessità che il rilievo sia sufficientemente esteso da includere ogni fase lavorativa che espone l'addetto allo stress termico. Riteniamo inoltre raccomandabile che il monitoraggio inizi in condizioni di riposo, meglio se a inizio turno, così che l'algoritmo di calcolo abbia dati sufficienti perché l'eventuale gap tra l'effettiva temperatura interna iniziale dell'addetto e quella assunta nel calcolo abbia una minima rilevanza nella determinazione della temperatura interna durante le fasi di esposizione al calore. Il valore della temperatura interna iniziale è assunto pari a 37.1 °C nell'algoritmo di Buller (è invece pari a 36.8 °C nella procedura di calcolo

PHS). Il metodo riesce comunque a neutralizzare velocemente un eventuale errore anche grossolano nell'attribuzione della temperatura iniziale del soggetto.

Nel corso delle campagne condotte nell'estate 2019 abbiamo monitorato ogni addetto per l'intero turno, per 5 giornate lavorative. Questo ha garantito l'acquisizione dei dati sulla frequenza cardiaca anche nei momenti di maggior stress termico e in occasioni ripetute.

Il monitoraggio strumentale dev'essere corredato da un diario sul quale sono annotati gli orari dei diversi compiti lavorativi svolti e anche i momenti di permanenza in ambienti termicamente non stressanti, così come quelli di riposo e recupero. Questa è un'attività da progettare anzitempo, badando all'efficienza del processo, per evitare di dover compilare decine se non centinaia di schede con la descrizione e la tempistica di ogni attività che compone l'intera giornata di ogni lavoratore oggetto di osservazione. Un'iniziativa efficace può essere quella di suddividere i compiti lavorativi in classi, da quella a stress termico nullo fino a quella di massima esposizione, fornendo solo per le situazioni termicamente più sollecitanti il dettaglio circa la descrizione dell'attività e l'orario di inizio e fine.

Nella tabella 2 si propone un esempio di suddivisione delle attività lavorative in tre classi:

1. stress termico irrilevante
2. condizioni ambientali non severe ma sforzo fisico medio o intenso
3. condizioni ambientali severe

La seconda classe serve a tenere conto dei casi in cui il surriscaldamento corporeo deriva dall'attività muscolare. Non deve infatti essere trascurata la quota di calore sviluppata internamente da parte di un soggetto che compie sforzi fisici di una qualche rilevanza, soprattutto se l'abbigliamento che indossa non consente un'efficace evaporazione. Per esempio, per un lavoratore impegnato nella pulizia della stiva di una nave, con abbigliamento incapsulante e respiratore, la temperatura interna potrebbe superare i 38 °C in breve tempo anche con una temperatura dell'aria di 18 °C (BS, 2000).

Nella tabella 3 restituiamo come potrebbe essere stilato il diario delle attività di una giornata lavorativa che consenta una corretta interpretazione dei tracciati della temperatura interna, risparmiando nel contempo di annotare informazione di scarsa utilità a questo scopo.

Nella nostra pratica di questo primo anno di applicazione di tale modalità di indagine, abbiamo utilizzato una suddivisione in classi lievemente più articolata, ovvero la seguente:

1. aree con condizioni climatiche di comfort termico, nelle quali i compiti lavorativi comportano dispendio metabolico molto basso
2. aree con condizioni climatiche di comfort termico, nelle quali i compiti lavorativi comportano dispendio metabolico di bassa/media intensità

3. aree con condizioni climatiche di stress termico, nelle quali i compiti lavorativi comportano dispendio metabolico di bassa/media intensità
4. aree con condizioni climatiche di elevato stress termico, nelle quali i compiti lavorativi comportano dispendio metabolico di media/alta intensità

Tabella 2: esempio di suddivisione in classi delle attività lavorative

classe	attività/ambiente <i>(esempi)</i>	abbigliamento protettivo
1 (stress termico irrilevante)	sala controllo climatizzata pulpito climatizzato sala break mensa	--
2 (condizioni ambientali non severe ma sforzo fisico medio o intenso)	riparazioni in officina attività in spazi confinati	<input type="checkbox"/> guanti <input type="checkbox"/> grembiule/giubbotto alluminizzato <input type="checkbox"/> elmetto <input type="checkbox"/> maschera anti-particolato <input type="checkbox"/> respiratore <input type="checkbox"/> tuta incapsulante
3 (condizioni ambientali severe)	plancher fronte forno fusorio cambio refrattari manovre in cella calda ispezione sala macchine attracco in ore meridiane	<input type="checkbox"/> guanti <input type="checkbox"/> grembiule/giubbotto alluminizzato <input type="checkbox"/> elmetto <input type="checkbox"/> maschera anti-particolato <input type="checkbox"/> respiratore <input type="checkbox"/> tuta incapsulante

Tabella 3: esempio di diario della giornata lavorativa di un manutentore

classe	attività/ambiente	abbigliamento protettivo	start stop
1	--	--	--
3	plancher fronte forno	X guanti X grembiule alluminizzato X elmetto X maschera anti-particolato <input type="checkbox"/> respiratore <input type="checkbox"/> tuta incapsulante	11:52 12:15
1	--	--	--
2	attrezzaggio pressa	X guanti <input type="checkbox"/> grembiule/giubbotto alluminizzato <input type="checkbox"/> elmetto <input type="checkbox"/> maschera anti-particolato <input type="checkbox"/> respiratore <input type="checkbox"/> tuta incapsulante ...	14:00 16:10
1	--	--	--

8 – ESEMPI TRATTI DALLE NOSTRE PRIME VALUTAZIONI

Nel seguito sono pubblicati esempi di grafici dove è tracciato l'andamento della temperatura interna nel corso del periodo di osservazione di un singolo lavoratore.

Il tempo si estende, come anticipato, all'intero turno di lavoro e per tutta la settimana lavorativa, così che l'osservazione riferita al singolo operatore si compone di tanti grafici quanti sono le giornate lavorate nella settimana.

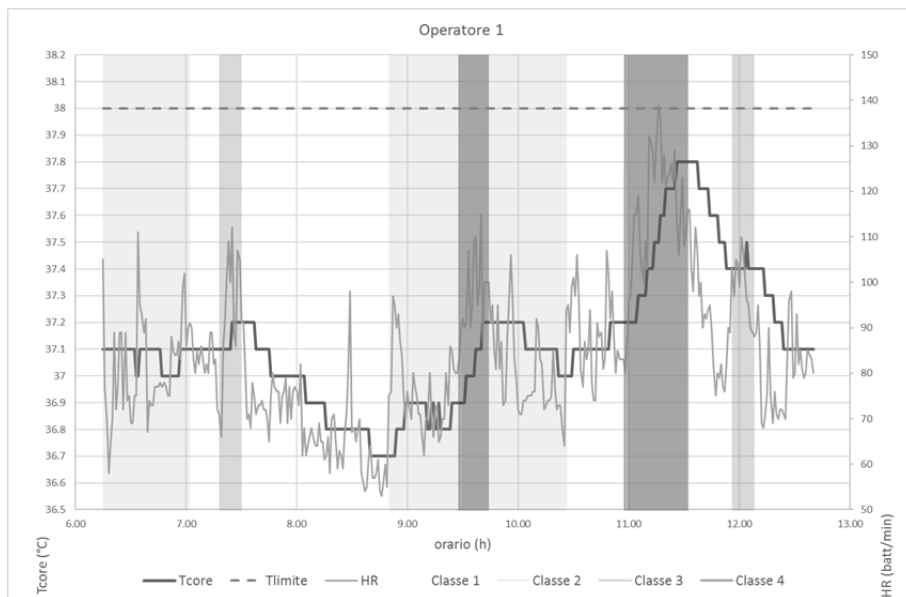


Figura 4. Andamento della grandezza HR misurata nel corso di un intero turno di lavoro e della grandezza Tcore calcolata dai valori della prima. In questo caso la Tcore si mantiene sempre al di sotto del limite di 38 °C.

Il tracciato della temperatura interna (Tcore) è quello con la linea più marcata e si compone di un valore al minuto. La linea più sottile rappresenta la frequenza cardiaca (HR) ed anche questa è rappresentata con un dato ogni minuto. Si precisa che la pulsazione cardiaca è acquisita con la frequenza di un dato al secondo e, considerato che la procedura di calcolo della Tcore elaborata da Buller richiede un dato al minuto, è calcolato il valor medio di HR per ogni minuto a partire dalle singole misurazioni.

Nell'area del grafico sono anche indicate le diverse fasi lavorative, distinte solo in base alla loro classe di appartenenza. Ricordiamo che le fasi termicamente più stressanti sono inserite nelle classi 3 e 4 (fasce più scure nel grafico).

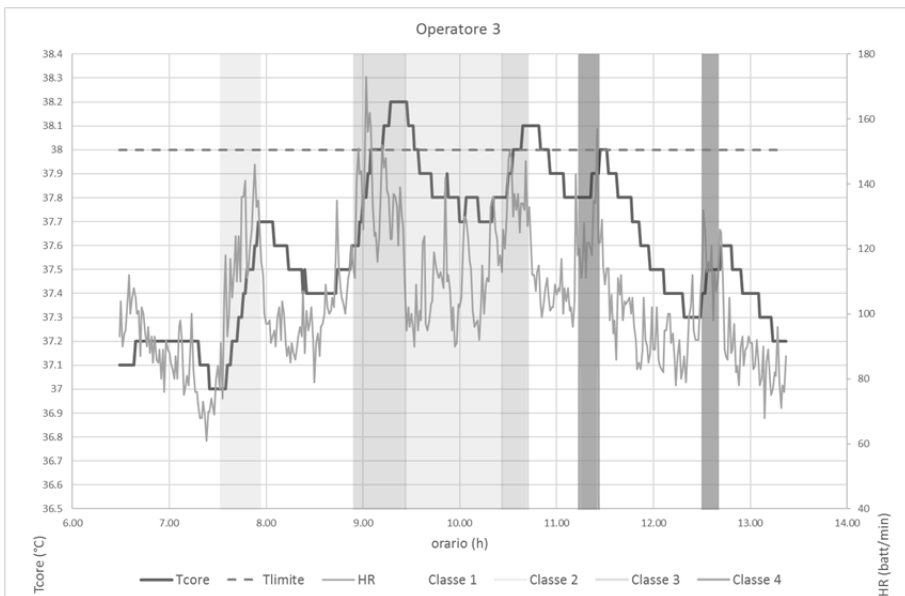
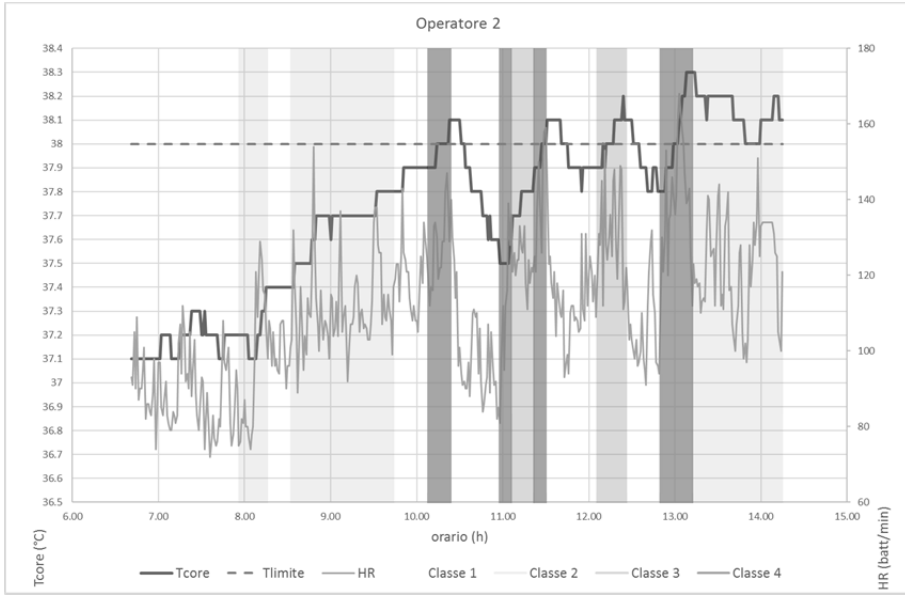


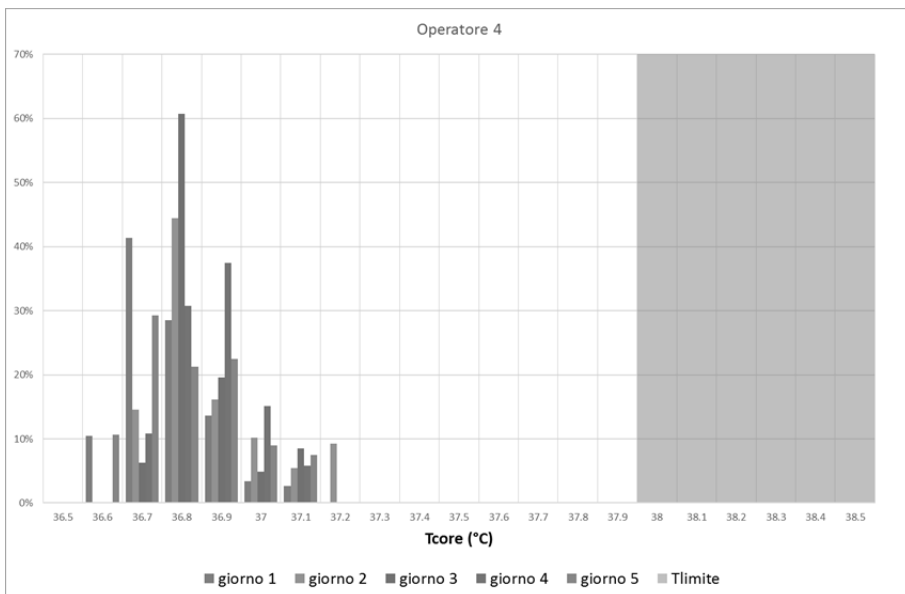
Figure 5 e 6. Andamento delle grandezze HR e Tcore. Nel primo caso la Tcore segue un trend crescente con ripetuti superamenti della temperatura limite di 38 °C. Nel secondo caso la Tcore segue un trend crescente nella prima parte della giornata per poi invertirlo. Si hanno però tre occasioni in cui la Tcore raggiunge o supera la temperatura limite di 38 °C.

Si ricorda che l'esito restituito da una valutazione così condotta è riferibile solo allo specifico lavoratore e non è generalizzabile ad un gruppo omogeneo. Di contro le peculiarità del singolo soggetto sono in qualche modo valorizzate, mentre le procedure basate su rilevazioni delle grandezze ambientali si riferiscono obbligatoriamente al soggetto di riferimento.

Ciò nonostante, considerato che la procedura non include alcuna misurazione della temperatura corporea, la temperatura risultante deve essere considerata comunque una stima e questa sarà tanto più affidabile quanto più il soggetto è in buone condizioni di salute, fattore che comunque la medicina occupazionale dovrà aver già verificato soprattutto per coloro che possono essere esposti a condizioni termiche molto stressanti.

Il contributo della medicina occupazionale è inoltre rilevante per stabilire quanto debba essere ampio il periodo di osservazione di ciascun soggetto al fine di determinare correttamente l'entità del rischio con la tecnica della misurazione della frequenza cardiaca, così come per individuare le modalità con le quali ottenere l'opportuna riduzione dell'esposizione per i soggetti che abbiano raggiunto o superato il limite di 38 °C.

Riportiamo infine esempi di analisi delle frequenze dei dati di temperatura, eseguite sui giorni lavorati da ciascun addetto sotto osservazione, a mezzo delle quali si individua agevolmente se si tratti di un soggetto che si mantiene ben al di sotto della soglia del pericolo di 38 °C o se invece vi si avvicini criticamente o, addirittura, la superi e, nel caso, di quale entità e con quale frequenza.



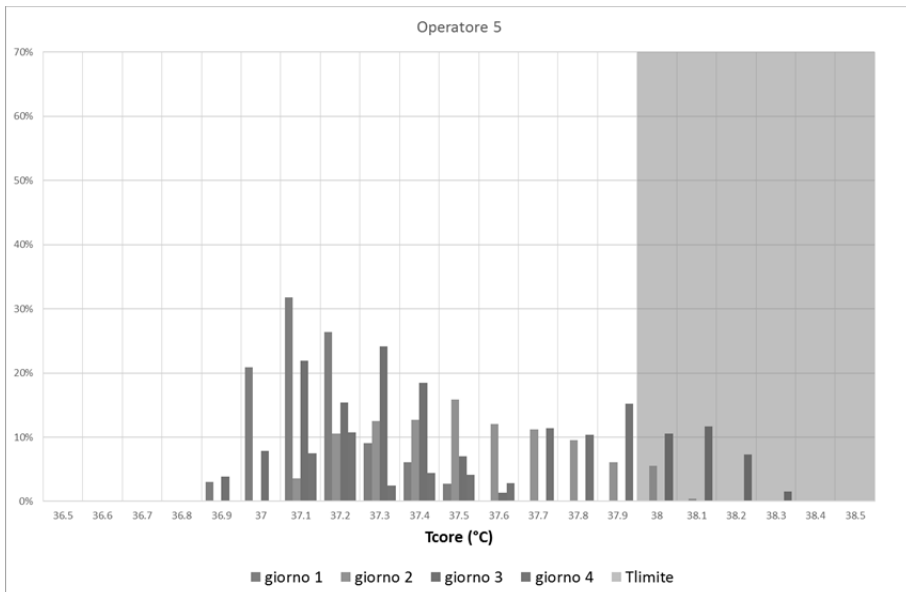
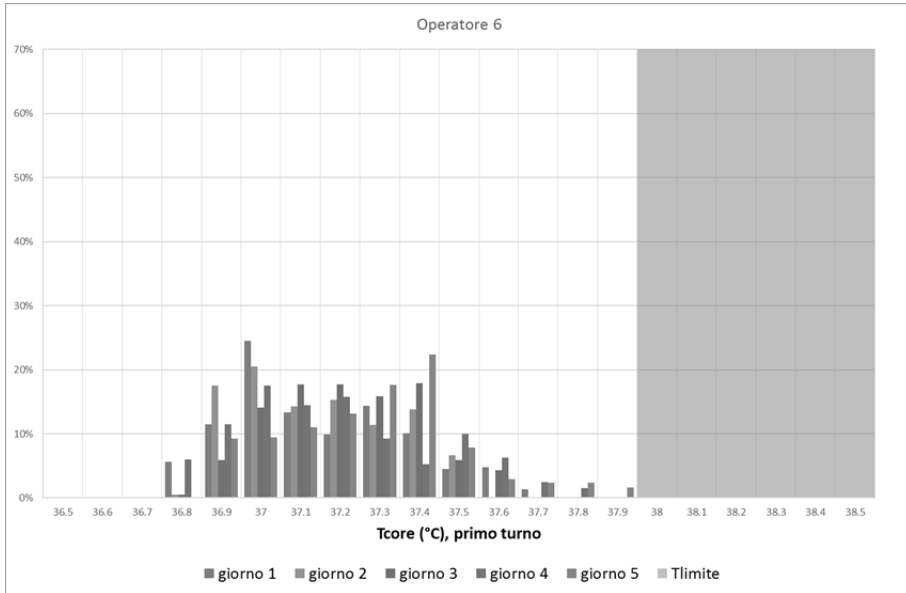


Figure 7, 8, 9. Analisi delle frequenze con cui occorrono i diversi valori della temperatura interna.

Dall'osservazione del primo dei tre grafici si nota che la temperatura interna si colloca sempre intorno al valore iniziale senza importanti scostamenti, per tutti e cinque i giorni sui quali si è protratta la misurazione.

Il secondo grafico mostra che esistono occasioni in cui la temperatura interna si avvicina criticamente al valore limite di 38 °C, per quanto si tratti di casi che si verificano in numero percentualmente molto basso.

Il terzo grafico testimonia invece una situazione nella quale è molto probabile che la temperatura del soggetto superi il valore limite di 38 °C.

9 – CONFRONTO TRA GLI ESITI RESTITUITI DA DUE METODI

In questa sezione restituiamo un confronto tra gli esiti di una valutazione condotta mediante lo standard UNI EN ISO 7933:2005 (PHS) e mediante la procedura non standardizzata definita da Buller per la stima della temperatura interna a partire dalla frequenza cardiaca.

Facciamo riferimento a due casi nei quali abbiamo potuto condurre le misurazioni necessarie ad eseguire entrambe le valutazioni.

Si faccia riferimento alle figure dalla 9 alla 12 dove ognuna delle due coppie di immagini fa riferimento alle due situazioni lavorative distinte.

La figura in alto (immagini 9 e 11) fa riferimento al risultato ottenuto con il metodo PHS. La figura in basso (immagini 10 e 12) fa invece riferimento al risultato ottenuto con il metodo basato sulla procedura di Buller.

Come ci si può attendere, i risultati ottenuti con la procedura PHS appaiono più prudenti rispetto a quelli ottenuti derivando la temperatura interna dalla frequenza cardiaca e questo risponde alla necessità del primo dei due metodi di garantire un opportuno margine di sicurezza, vista la complessità ed anche l'ambizione del metodo stesso che giunge a quantificare una grandezza fisiologica senza alcuna misurazione sulla persona a cui questo parametro si riferisce. Sempre per questo motivo la norma tecnica di riferimento (7933) raccomanda di passare ad un controllo fisiologico **diretto e individuale** nei casi in cui la procedura restituisca tempi limite inferiori ai 30 minuti.

Riteniamo ragionevole assumere che il metodo basato sul monitoraggio della frequenza cardiaca restituisca risultati più realistici, più accurati e meglio riferibili al singolo soggetto, per quanto rimanga una stima della temperatura interna e non una misura diretta. A questo proposito si deve tenere in considerazione che la norma dedicata alla supervisione medica degli esposti ad ambienti molto caldi o molto freddi (UNI EN ISO 12894:2002) [7] avverte che anche i metodi basati sulle misurazioni fisiologiche di cui alla 9886 [8] si devono applicare a soggetti sani, ovvero che non presentino alterazioni del controllo fisiologico della temperatura corporea.

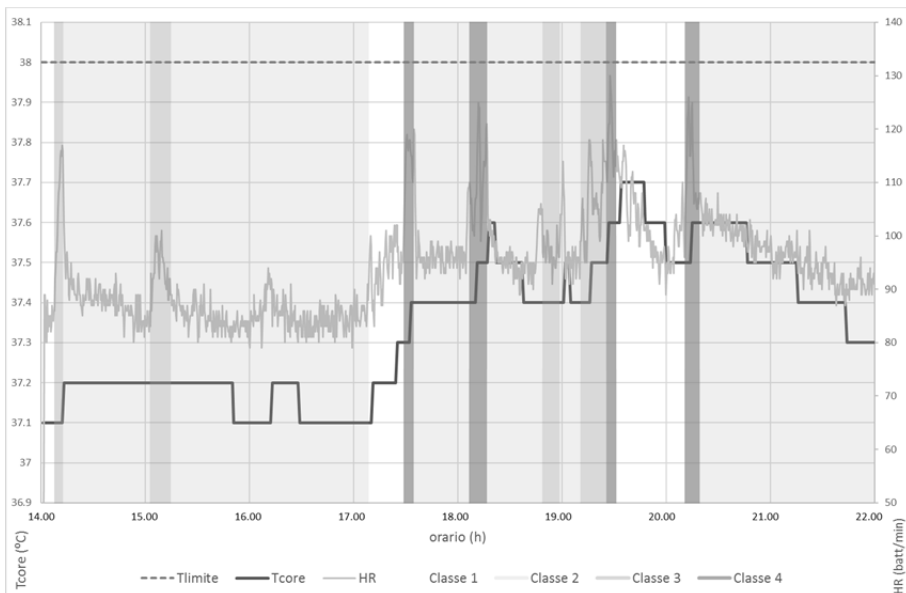
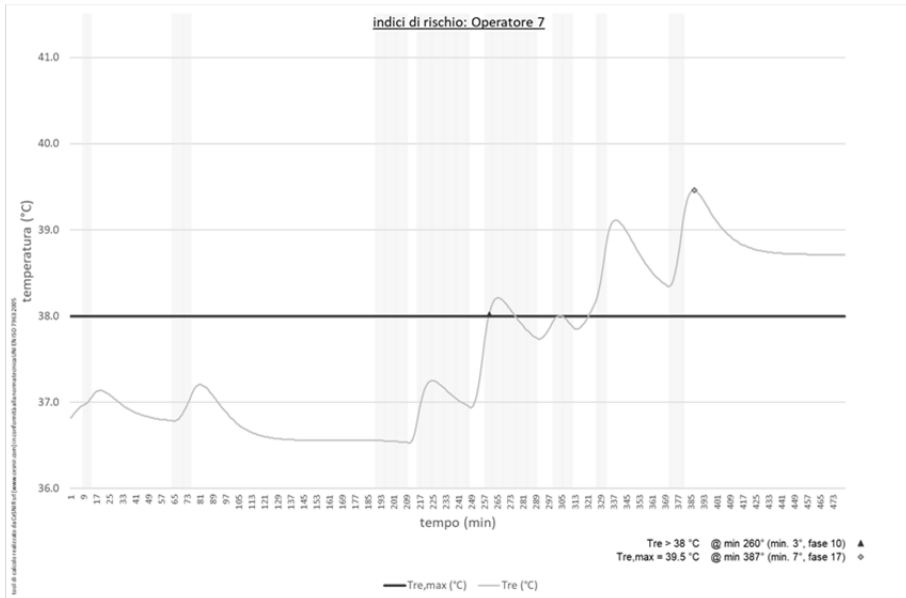


Figure 9 e 10. Nelle due figure è rappresentato l'andamento della temperatura del nucleo così come restituito dall'applicazione delle due differenti procedure. Gli esiti risultano differenti, con il superamento del limite nel primo caso e il rispetto nel secondo.

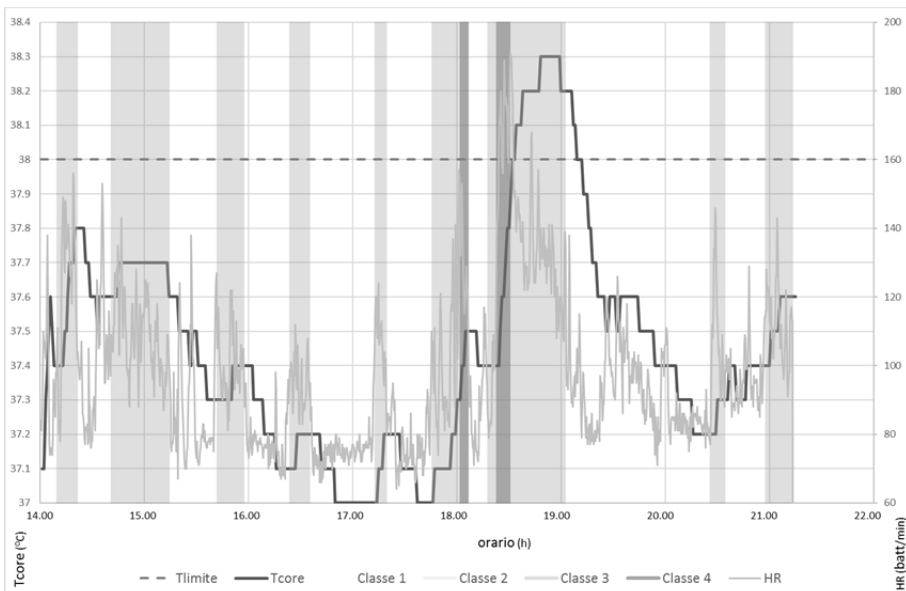
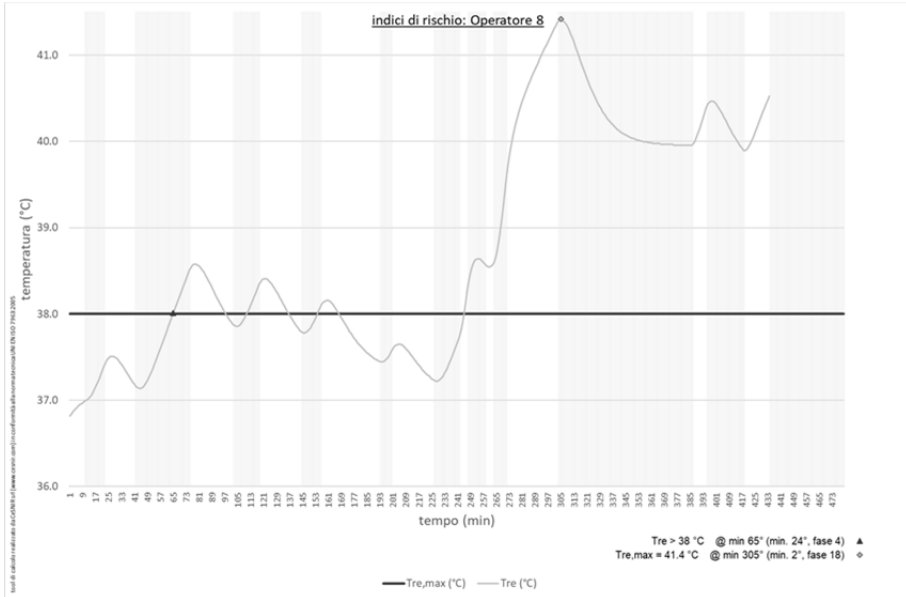


Figure 11 e 12. Nelle due figure è rappresentato l'andamento della temperatura del nucleo così come restituito dall'applicazione delle due differenti procedure. In questo esempio si riscontra il superamento del limite di 38 °C in entrambi i casi ma di misura molto differente.

Ricordiamo inoltre che la metodologia PHS restituisce la temperatura interna del soggetto esposto utilizzando un modello di calcolo che chiede in input le seguenti grandezze:

- temperatura dell'aria ($^{\circ}\text{C}$)
- temperatura media radiante ($^{\circ}\text{C}$)
- velocità dell'aria (m/s)
- pressione parziale del vapor d'acqua, (kPa)
- isolamento termico statico dell'abbigliamento indossato dal lavoratore nelle diverse fasi lavorative (clo)
- tasso metabolico associato alle attività compiute (W/m^2)
- peso (kg) e altezza (m) del soggetto
- acclimatamento (si/no)
- postura (seduto, in piedi, accovacciato)
- durata di ogni singola esposizione
- eventuale potenza ceduta nel compiere lavoro (W/m^2)
- eventuale velocità (m/s) e direzione ($^{\circ}$) di camminamento rispetto alla direzione del movimento d'aria.
- frazione della superficie corporea sotto abbigliamento riflettente (A_p , adimensionale)
- fattore correttivo per eventuale abbigliamento riflettente (Fr, adimensionale)
- indice di permeabilità al vapore dell'abbigliamento (im, adimensionale, in realtà fissato dalla norma e pari a 0.38)

Il metodo oggetto del presente lavoro giunge alla stima della temperatura interna del soggetto esposto utilizzando un modello di calcolo che chiede in input esclusivamente il dato seguente:

- frequenza cardiaca del soggetto esposto (bpm).

9 – CONCLUSIONI

Con questo lavoro, prosecuzione di quello presentato nel 2018 in questo stesso convegno, rendiamo conto dell'applicazione nella pratica corrente di igiene industriale del metodo presentato l'anno scorso per condurre gli accertamenti di stress termico da caldo a partire dal monitoraggio della frequenza cardiaca degli esposti. Abbiamo richiamato i limiti dei metodi basati sulle rilevazioni ambientali (metodiche PHS e WBGT) e per i quali si rimanda al lavoro precedente per un'analisi più dettagliata.

La nostra valutazione è che la metodologia basata sul monitoraggio della frequenza cardiaca possa essere un prezioso strumento a servizio dell'igiene industriale ma riteniamo che questa adozione sia possibile e auspicabile aderendo alla soluzione proposta dal ricercatore americano M. J. Buller che consente di tracciare le variazioni della temperatura interna direttamente dalle letture della frequenza cardiaca; confermiamo l'opinione, già espressa nel lavoro precedente, che la procedura standardizzata proposta dalla UNI

EN ISO 9886:2004 sia invece di difficile applicazione pratica e troppo interferente con l'attività aziendale.

L'aspetto più delicato, per quanto contemporaneamente più vantaggioso, è rappresentato dal fatto che i risultati ottenuti sono riferibili esclusivamente alla situazione espositiva esaminata, ovvero allo specifico lavoratore oggetto dell'osservazione, nelle condizioni di lavoro esistenti al momento del monitoraggio. Il metodo si basa infatti sulla misurazione di una grandezza fisiologica (la frequenza cardiaca) con il vantaggio di restituire un risultato che tiene conto di alcune peculiarità della persona osservata, ma con l'implicazione di non consentire di estendere questo risultato ad alcun altro soggetto (si ricordi comunque che anche questo metodo assume che il lavoratore sia sano e che la propria capacità termoregolazione funzioni regolarmente).

Riteniamo che sia necessario lavorare sul fronte delle procedure per la ricerca di una soluzione condivisa su temi come la durata delle misurazioni e l'organizzazione dei rilievi di frequenza cardiaca che, per quanto riferibili al singolo soggetto, si possano considerare ben rappresentativi della variabilità delle esposizioni in cui può incorrere.

Ad oggi suggeriamo di protrarre le misurazioni per la durata di un'intera settimana lavorativa (5 turni di lavoro completi). I costi dei dispositivi per la rilevazione della frequenza cardiaca non rappresentano una difficoltà all'esecuzione di misurazioni così estese e su più lavoratori in contemporanea, mentre occorre progettare con cura la modalità di redazione del diario che può invece avere costi importanti. Per mantenere questi ultimi sotto controllo, una soluzione sarebbe quella di far stendere il diario ai soggetti monitorati, ma va tenuto conto che una corretta compilazione di questo è fondamentale per l'interpretazione dei risultati e, sulla base della nostra esperienza, questa soluzione non si è rivelata funzionale. Occorre valutare bene come ottenere una compilazione puntuale del diario, eventualmente incaricandone un terzo.

Un ulteriore sviluppo può essere quello di includere delle misurazioni di temperatura corporea nei casi dubbi o in quelli di superamento del limite, ricorrendo a tecniche poco invasive come quella della misura della temperatura timpanica con sensori senza contatto, ammesso che una rivalutazione delle tecniche più moderne restituisca maggiore affidabilità di questo metodo rispetto a quanto stabilito dall'ultima edizione della 9886 risalente al 2002.

Concludiamo auspicando che l'attenzione degli igienisti verso questo agente di rischio cresca ancora e che i futuribili apporti tecnici e scientifici sul tema coniughino al meglio accuratezza e praticabilità.

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] A. Merlino, G. Gambino, G. Quadrio (2018) *Valutazione dello stress termico per lavoratori sottoposti ad alti carichi, in regime di non applicabilità delle metodiche WBGT e PHS*, atti del convegno nazionale dBA 2018 (Bologna, 17 ottobre 2018)
- [4] NIOSH (1986), *Occupational exposure to hot environments*, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No 86-113, Washington DC, USA
- [5] UNI EN 12515:1999 *Ambienti caldi - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico mediante calcolo della sudorazione richiesta*
- [6] BS 7963:2000 *Guide to the assessment of heat strain in workers wearing personal protective equipment*
- [7] UNI EN ISO 12894:2002 *Ergonomia degli ambienti termici - Supervisione medica per persone esposte ad ambienti molto caldi o molto freddi*
- [8] UNI EN ISO 9886:2004 *Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche*
- [9] 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*
- [10] UNI EN ISO 7243:2017 *Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dello stress da calore utilizzando l'indice WBGT*
- [11] *Core Body Temperature Estimation From Heart Rate*, US Army Research Institute of Environmental Medicine (USARIEM), 13 June 2014, www.usariem.army.mil/index.cfm/modeling/cbt_algorithm

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

VALUTAZIONE DELLA SALUTE VOCALE NEI CANTANTI PROFESSIONISTI

Claudia Giliberti ⁽¹⁾, Raffaella Mariconte ⁽¹⁾, Fabio Lo Castro ⁽²⁾, Maria Patrizia Orlando ⁽³⁾, Lucia Longo ⁽³⁾

⁽¹⁾INAIL-Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici, Roma

⁽²⁾CNR-INM Sez. di Acustica e Sensoristica “O.M. Corbino”, Roma

⁽³⁾Dipartimento Organi di Senso – Sapienza Università di Roma

INTRODUZIONE

Tra le figure professionali che sottopongono ad eccessivo sforzo il proprio organo fonatorio (insegnanti, attori, avvocati, operatori telefonici, guide turistiche, ecc.) e che utilizzano la voce in modo controllato, ci sono sicuramente i cantanti. Tali professionisti della voce possono essere considerati come un gruppo di lavoratori a rischio per lo sviluppo di *Work Related Voice Disorders* (WRVD) [1], disturbi legati alla professione che, oltre ad interferire negativamente con la prestazione professionale, possono avere un impatto sulla qualità della vita.

I WRVD, intesi come una qualsiasi forma di cambiamento vocale direttamente correlato all'uso della voce durante un'attività professionale che riduce, compromette o impedisce la prestazione del lavoratore [2], possono portare a modificazioni della frequenza fondamentale, dell'intensità e del timbro vocale, a raucedine, fino all'insorgenza di patologie (laringiti, polipi, noduli ecc.) [3].

Lo sviluppo di WRVD per i cantanti è multifattoriale, essendo associato a diversi fattori che possono innescare o peggiorare, direttamente o indirettamente, l'alterazione vocale del lavoratore [3].

Tra i rischi di natura non professionale, si annoverano fattori come il genere, l'età, le allergie respiratorie, le malattie del tratto respiratorio superiore, le influenze ormonali, i farmaci, l'abuso di alcool, fumo e caffè, la scarsa idratazione, le diete inappropriate con aumentato rischio di reflusso faringolaringeo, e le attività extraprofessionali con elevata domanda vocale.

I fattori di rischio di natura professionale [3], comprendono invece utilizzo estensivo della voce, scarso riposo, stress, ansia, improvvisi cambiamenti di temperatura, ventilazione ambientale e luminosità inadeguata, esposizione a sostanze chimiche irritanti delle vie respiratorie superiori (solventi, fumi ecc.), alterazioni posturali [4], presenza di polvere e/o fumo di sigaretta.

Tra i professionisti considerati a rischio per l'insorgenza di WRVD, gli insegnanti e i cantanti sono ampiamente studiati in letteratura, dal momento che tendono a segnalare disturbi della voce più frequentemente rispetto alla popolazione in generale [2].

Una recente meta-analisi indica una prevalenza media di problemi vocali auto-risportati più alta nei cantanti (46,0%) rispetto alla popolazione generale (18,8%) [5].

Perkner et al. [6] ha rilevato un aumento significativo dei disturbi della voce e della disabilità vocale rispetto ai controlli in tre gruppi di cantanti (d'opera, di teatro musicale e cantanti moderni) [7].

Tra le patologie più ricorrenti, c'è il reflusso gastroesofageo, particolarmente presente tra i cantanti d'opera, a causa della prolungata sollecitazione del diaframma. I risultati di uno studio su 351 cantanti professionisti e 578 controlli mostra che tale patologia si presenta per questa categoria con una frequenza quasi doppia rispetto alla popolazione [8].

Uno studio del 2009 mostra che i professionisti della voce riportano una prevalenza di pirosi gastrica, rigurgito e raucedine, statisticamente più elevata rispetto ad un gruppo di controllo e significativamente correlata con la durata della vita lavorativa nel settore [9].

L'INAIL, attraverso la "Banca dati statistica" [10], con riferimento all'ultimo quinquennio disponibile (2013-2017), è in grado di fornire un quadro dei riconoscimenti di patologie legate ai disturbi vocali, relativamente alle tipologie di malattie identificate dalla International Classification of Diseases (ICD). In particolare, nel settore Ateco *Attività artistiche, sportive, di intrattenimento e divertimento*, in cui presumibilmente potrebbe rientrare la professione dei cantanti, tra le malattie dell'apparato respiratorio, ha riconosciuto due patologie specifiche (J30-J39) i *Polipi delle corde vocali e della laringe* e i *Noduli delle corde vocali*.

Lo scopo di questo studio è analizzare la voce di un gruppo di giovani studenti di canto di un conservatorio, considerati quindi come futuri cantanti professionisti, che riferivano assenza di specifiche patologie a carico della laringe, utilizzando un software dedicato di supporto agli esami medici, per l'analisi di selezionati parametri vocali. L'obiettivo è esplorativo ed intende

analizzare se il gruppo di giovani lavoratori presenta per i parametri acustici individuati, risultati simili a quelli presenti nella letteratura nazionale e internazionale.

MATERIALI E METODI

La voce di 28 tra insegnanti (7%) e studenti di canto (93%) (9 uomini e 19 donne, tra 20 e 61 anni, con età media di 26,4 anni, con l'89% sotto i 35 anni) con un uso intensivo della voce principalmente nel genere musicale pop/rock (61%), è stata sottoposta a valutazione clinica con esami strumentali (fibrolaringoscopia e stroboscopia). Tutti i professionisti sono stati preventivamente sottoposti ad un questionario anamnestico. Per valutare la qualità della voce, è stata eseguita una registrazione di campioni vocali, con emissione confortevole della vocale /a/ tenuta a tonalità ed intensità costanti per qualche secondo, analizzata con il software multiparametrico Multi-Dimensional Voice Program (MDVP). Tale software consente l'estrazione di 33 diversi parametri, di cui 11 appaiono correlati con la valutazione percettiva del segnale vocale, con riferimento principalmente a modificazioni del periodo fondamentale e dell'ampiezza, a breve e/o a lungo termine, e con le modulazioni di frequenza e di ampiezza: *Jitter*, *Vf0*, *Shimmer*, *Vam*, *Noise to Harmonic Ratio (NHR)*, *Voice Turbulence Index (VTI)*, *Soft Phonation Index (SPI)*, *Fo Tremor Intensity Index (FTRI)*, *Amplitude Tremor Intensity Index (ATRI)*, e la rilevazione del *Tempo Massimo Fonatorio (TMF)*.

Tali parametri possono essere raggruppati in 5 regioni [11]: I) perturbazione della frequenza fondamentale: *Jitter*, *Vf0*; II) perturbazione dell'ampiezza: *Shimmer*, *Vam*; III) bilancio energetico spettrale: *NHR*, *VTI*, *SPI*; IV) tremore in frequenza e ampiezza: *FTRI*, *ATRI*; V) diffonie - rotture della voce.

MDVP rappresenta tali parametri numerici anche su un grafico a stella che consente di valutare «a vista» i valori in soglia o che eccedono la normalità.

De Colle (2001) ha stabilito i livelli di default per tali parametri, utili ai fini della discriminazione normale/patologico [12]:

- 1) *Jitter percentuale* (valore normale <1,04%) o intervallo di deviazione di frequenza, è la variabilità relativa media a breve termine, di periodo in periodo, del periodo fondamentale. Si riferisce alle anomalie di vibrazione delle corde vocali ed è correlato percettivamente alla voce rauca o rumore vocale;
- 2) *Vfo* - variazione della frequenza fondamentale (valore normale < 1,10), è la variabilità relativa a medio-lungo termine, di periodo in periodo, del periodo fondamentale;
- 3) *Shimmer percentuale* (valore normale < 3,81%), è la variabilità relativa media a breve termine, periodo per periodo, dell'ampiezza da picco a picco. Si riferisce alle anomalie nell'ampiezza della vibrazione delle corde vocali

e rappresenta un indice di irregolarità della vibrazione glottica, correlata percettivamente alla voce rauca;

4) *Vam* – variazione dell’ampiezza a medio-lungo termine (valore normale <8,20). È la variabilità relativa media a medio-lungo termine, periodo per periodo, dell’ampiezza da picco a picco. È un indice della capacità di mantenere costante la pressione sottoglottica durante i 3 secondi del vocalizzo, importante nel determinare la gravità dei disturbi della voce;

5) *NHR- Noise to Harmonic Ratio* (valore normale < 0,19) è direttamente correlato con la qualità della voce ed è definito come il rapporto tra energia non armonica (rumore) nell’intervallo 1500-4500 Hz e l’energia spettrale armonica nell’intervallo 70-4500 Hz. *NHR* fornisce una valutazione generale della presenza di rumore nel segnale analizzato (come ampiezza e variazioni di frequenza, rumore di turbolenza, componenti subarmoniche o interruzioni di voce);

6) *VTI - Voice Turbulence Index*: indice di turbolenza della voce (valore normale < 0,061). È il rapporto medio fra le componenti di rumore ad alta frequenza nella banda 2.800-5.800 Hz e le componenti armoniche nella banda 70-4.500 Hz. È un correlato acustico della “voce soffiata”;

7) *SPI - Soft Phoniation index* (valore normale < 14,12). È il rapporto medio tra le componenti di energia spettrale armonica di bassa frequenza (70-1.600 Hz) e quella di alta frequenza (1.600-4.500 Hz);

8) *FTRI - Fo Tremor Intensity Index*: (valore normale < 0,95%) Indice di profondità del tremore in frequenza, calcolato come il rapporto percentuale medio fra l’ampiezza massima della modulazione di F0 (*Jitter*) e la frequenza fondamentale media (F0);

9) *ATRI - Amplitude Tremor Intensity Index*: indice di profondità del tremore in ampiezza (valore normale < 4,37%). È il rapporto percentuale tra il tasso dell’ampiezza di picco e l’ampiezza di picco media;

10) *TMF - Tempo Massimo Fonatorio* (valore normale >10 s) è un indice aerodinamico quantitativo.

I risultati, ottenuti investigando i suddetti parametri nei 28 soggetti, sono stati confrontati con i valori standard ricavati da un campione di controllo (18 individui) rappresentato da soggetti non esposti professionalmente allo sforzo vocale (test t Student).

RISULTATI

Dai questionari anamnestici e dalle rilevazioni strumentali, è risultato che nella maggior parte dei casi del campione individuato (57%) sono assenti patologie dell’apparato fonatorio; è stato inoltre rilevato che, pur non lamentando disturbi fonatori, nel 14% dei casi è presente iperemia della mucosa cordale posteriore, nell’11% asimmetria delle due corde vocali, nel 4% angiomi. Il disturbo maggiormente segnalato, in accordo con la

letteratura, è il reflusso gastro laringeo (43% dei casi), prevalente tra le femmine.

Per quanto riguarda lo stile di vita, solo il 21% dichiara di fumare regolarmente e tale abitudine risulta prevalente tra i maschi.

In tabella 1 sono riportati i parametri ricavati da MDVP (*Jitter*, *Vf0*, *Shimmer*, *Vam*, *NHR*, *VTI*, *SPI*, *ATRI*, *FTRI*), in particolare i valori medi, la deviazione standard, i valori minimi e i valori massimi rilevati nel campione analizzato e nel campione di controllo, assieme ai valori normali.

I risultati sono in accordo con la letteratura, in particolare Ambreen et al., (2019) sottolinea come, per l'intervallo di età 21-30 per uomini e donne, siano presenti valori che confermano l'intervallo di normalità dei parametri acustici per la valutazione della voce [13].

GRUPPO CANTANTI									
	Jitter	Vf0	Shimmer	Vam	NHR	VTI	SPI	ATRI	FTRI
Valore medio	0,55	0,95	3,59	10,68	0,13	0,067	3,40	3,83	0,41
Deviazione standard	0,44	0,41	1,32	6,61	0,02	0,023	1,77	2,70	0,22
Valore massimo	2,24	1,94	7,03	36,12	0,18	0,133	9,97	10,50	0,91
Valore minimo	0,24	0,37	1,81	3,43	0,08	0,035	1,04	0,97	0,09
Valore normale	<1,04	<1,10	<3,81	<8,20	<0,19	<0,061	<14,12	<4,37	<0,95
GRUPPO CONTROLLO									
Valore medio	0,48	0,85	3,68	9,97	0,13	0,05	7,31	-	0,35
Deviazione standard	0,13	0,26	2,62	5,02	0,02	0,01	5,60	-	0,19
Valore massimo	0,68	1,44	11,80	22,04	0,17	0,09	24,65	-	0,79
Valore minimo	0,22	0,45	0,15	0,52	0,11	0,03	1,84	-	0,08

Tabella 1. parametri MDVP, valori medi, deviazione standard, valori minimi e massimi rilevati nel campione di cantanti, nel controllo, e relativi valori normali.

Anche i valori del tempo massimo di fonazione *TMF*, non riportati in tabella, mostrano, per il solo gruppo dei cantanti, valori nel range normale (*TMF* medio: $15,49 \pm 7,22$, valore minimo: 7 s; valore massimo: 32 s; valore normale > 10 s).

I risultati sono confermati anche dalla figura 1 dove si evidenzia una distribuzione gaussiana per i parametri *Shimmer*, *FTRI*, *SPI*, *ATRI*, indice di uno standard di riferimento di normalità [12, 14].

Nel dettaglio, si osserva per *Jitter* un mancato accordo con i livelli normali nell'11% dei casi, evidenziando quindi una mancanza di controllo della vibrazione delle corde, probabilmente correlata con la presenza di RGE.

Inoltre, i risultati evidenziano per lo *Shimmer* nel 32% dei casi una alterazione dei valori del parametro, indice di irregolarità della vibrazione glottica, correlata con le lievi patologie rilevate nel 43% del campione.

I risultati nell'intero gruppo dei cantanti mostrano valori alterati del parametro *Vam* rispetto ai valori normali, evidenziando l'incapacità di mantenere la voce con la stessa intensità durante i pochi secondi del vocalizzo, probabilmente legata all'inesperienza nella gestione dello strumento vocale tra i giovani lavoratori della voce. Si rileva analogo comportamento anche nel campione di controllo, probabilmente per la stessa motivazione funzionale.

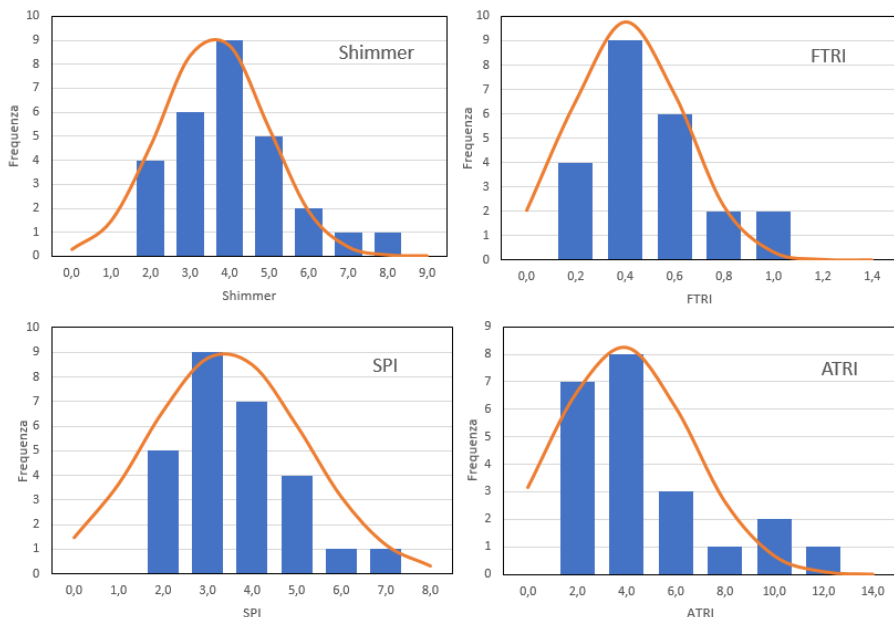


Figura 1: distribuzione normale per i parametri *Shimmer*, *FTRI*, *SPI*, *ATRI* per il campione di cantanti.

In figura 2 sono riportati i box plot per i parametri *Jitter*, *Vf0*, *Shimmer* e *FTRI* per il gruppo di cantanti e quello di controllo. Si evidenzia una distanza interquartile molto ridotta per il gruppo di controllo rispetto al gruppo cantanti sia per il parametro *Jitter* che per *Vf0*, a significare che il primo presenta, per la metà delle osservazioni, una dispersione attorno al valore mediano significativamente più contenuta. Contrariamente accade per la distanza interquartile dello *Shimmer*, dove è il gruppo cantanti ad avere

una dispersione inferiore attorno al valore mediano; per quanto riguarda il box plot del parametro *FTRI*, invece, non risultano sostanziali differenze tra i gruppi.

I box plot di *Jitter*, *Vf0* e *Shimmer* presentano sempre un accentuato grado di asimmetria, ad esclusione del *Jitter* relativo al gruppo di controllo. Tale asimmetria è molto più contenuta per quanto riguarda il parametro *FTRI*. Per tutti i grafici, l'asimmetria più accentuata è quella degli estremi dei valori massimi, sempre maggiormente distanti dal valore mediano rispetto ai valori minimi e quindi potenzialmente riferibili a degli outliers.

In generale, non risultano differenze statisticamente significative per i parametri analizzati, tra il gruppo dei cantanti e il controllo, le uniche eccezioni riguardano *VTI* e *SPI* ($p < 0.05$), per i quali sono stati rilevati valori medi tra i due campioni, soprattutto per *SPI*, nettamente differenti, molto marcati rispetto a tutti gli altri parametri.

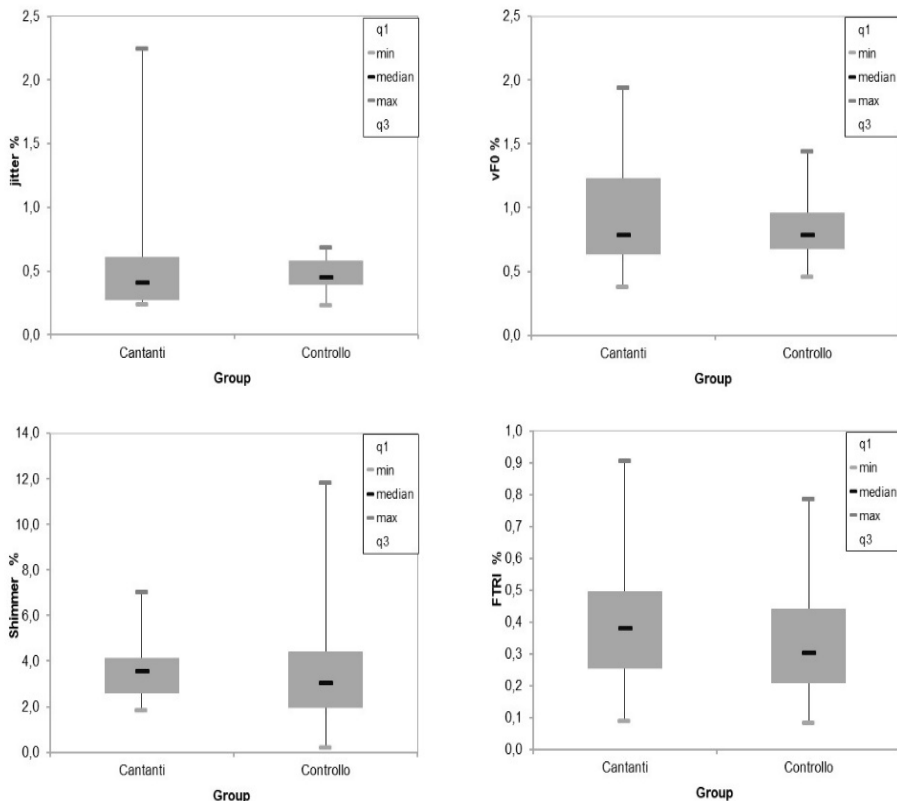


Figura 2: box plot per i parametri *Jitter*, *Vf0*, *Shimmer* e *FTRI* per il gruppo di cantanti e il gruppo di controllo.

I parametri riportati in tabella 1 sono stati anche aggregati per un'analisi di genere. I risultati per maschi e femmine mostrano ancora un accordo con i livelli normali. In particolare è stata rilevata una differenza statisticamente significativa ($p < 0,05$) per il tempo massimo fonatorio *TMF*, più elevato tra i maschi (22 s) rispetto alle femmine (12,4 s) per un maggior volume polmonare a vantaggio degli uomini, e per l'*NHR* più basso tra le donne (0,12 per le femmine, 0,14 per i maschi), ad indicare una qualità superiore per la voce del genere femminile e una maggior cura e attenzione rivolta all'apparato fonatorio, con riferimento in particolare all'abitudine al fumo, più accentuata tra i maschi.

CONCLUSIONI

Lo studio vuole orientare la consapevolezza del comportamento vocale da parte del cantante, per scongiurare la comparsa di problematiche che interferiscano negativamente con la sua professione verso l'ottimizzazione degli sforzi di prevenzione della salute vocale.

I risultati mettono in evidenza che i giovani cantanti non ancora professionisti, mostrano valori dei parametri vocali esplorati in linea con quelli di riferimento nell'intervallo della normalità. Tale condizione va mantenuta nel tempo al fine di prolungare la longevità delle prestazioni, senza la comparsa di un quadro di disfonia, che se prolungato, può portare ad una patologia organica della laringe.

Occorre elaborare raccomandazioni specifiche per la categoria professionale per la prevenzione dei disturbi vocali, attuando misure di igiene vocale generica (astensione dal fumo, dallo stress, da comportamenti fonotraumatici, idratazione) e specifica (riscaldamento pre- e raffreddamento post- prestazione).

Il professionista della voce va formato e informato sulla prevenzione del rischio professionale, e pur non volendolo "medicalizzare" a tutti i costi, si auspica una fattiva e stretta collaborazione tra foniatra, logopedista, maestro di canto e cantante al fine di valutare la strategia più efficace per preservare nel tempo la sua salute vocale.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Devadas U, Hegde M, Maruthy S. Prevalence and Risk Factors of Self-reported Voice Problems Among Yakshagana Artists. *J Voice*. 2019 Jan; 33(1):124.
- [2] Pestana PM, Vaz-Freitas S, Manso MC, Prevalence of Voice Disorders in Singers: Systematic Review and Meta-Analysis. *J Voice*. 2017 Nov; 31(6):722-727.
- [3] Przysieszny PE, Przysieszny LT. Work-related voice disorder, Braz J Otorhinolaryngol. 2015 Mar-Apr; 81(2):202-11.
- [4] Longo L, Di Stadio A, Ralli M, Marinucci I, Ruoppolo G, Dipietro L, De Vincentiis M, Greco A. Voice Parameter Changes in Professional Musician-Singers Singing with and without an Instrument: The Effect of Body Posture. *Folia Phoniatri Logop*. 2019 Jul 15:1-7.
- [5] Baird BJ, Mokhtari TE, Sung CK, Erickson-DiRenzo E. A Preliminary Study of Vocal Health Among Collegiate A Cappella Singers. *J Voice*. 2018 Nov 12. pii: S0892-1997(18)30235-2.
- [6] Perkner JJ, Fennelly KP, Balkisson R, et al. Self-reported voice problems among three groups of professional singers. *JVoice* 1999; 13:602-611.
- [7] Williams NR, Occupational groups at risk of voice disorders: a review of the literature. *Occup Med (Lond)*. 2003 Oct; 53(7):456-60.
- [8] Cammarota G, Masala G, Cianci R, Palli D, Capaccio P, Schindler A, Cuoco L, Galli J, Ierardi E, Cannizzaro O, Caselli M, Dore MP, Bendinelli B, Gasbarrini G, Reflux Symptoms in Professional Opera Choristers, *Gastroenterology* 2007;132:890-898.
- [9] Pregun I, Bakucz T, Banai J, Molnár L, Pavlik G, Altorjay I, Orosz P, Csernay L, Tulassay Z, Herszényi L. Gastroesophageal reflux disease: work-related disease? *Dig Dis*. 2009;27(1):38-44.
- [10] <https://bancadaticsa.inail.it/bancadaticsa/login.asp>
- [11] Ricci Maccarini A., Limarzi M., Pieri F., Stacchini M., Lucchini E., Magnani M. La refertazione e l'interpretazione dei tracciati e dei questionari nello studio della disfonia, *Quaderni di Aggiornamento*

AOOI, “La refertazione ed interpretazione dei tracciati e dei questionari in ORL”, Ed. Pacini, Pisa, 2008

- [12] De Colle W: “Voce & Computer – Analisi acustica digitale del segnale verbale (Il sistema CSL-MDVP). Ed. Omega, Torino, 2001.
- [13] Ambreen S, Bashir N, Tarar SA, Kausar R. Acoustic Analysis of Normal Voice Patterns in Pakistani Adults. *J Voice*. 2019 Jan; 33(1):124.
- [14] Finger LS, Cielo CA, Schwarz K, Acoustic vocal measures in women without voice complaints and with normal larynxes, *Braz J Otorhinolaryngol*. 2009; 75(3):432-40.

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

STUDIO DI UNO STRUMENTO INTERATTIVO BASATO SU CHECK LIST PER LA GESTIONE DEI CONTROLLI ISPETTIVI IN MATERIA DI RUMORE

Goldoni Silvia ⁽¹⁾, Nino della Vecchia ⁽¹⁾, Santarpia Antonio ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Azienda USL di Modena

Introduzione

Vista la complessità delle regolamentazioni vigenti (D.Lgs 81/2008, normative tecniche di riferimento) e la difficoltà tecnica dei rilievi strumentali, adempiere in maniera corretta e completa a quanto disposto dalla normativa che tutela salute e sicurezza dei lavoratori esposti a rumore non è cosa semplice; conseguentemente anche l'attività di controllo e vigilanza in tema di rischio rumore richiede specifiche competenze e può essere molto dispendiosa in termini di tempo e risorse.

L'analisi fatta nell'ambito del progetto INAIL BRIC ID 27 [1, 2], ha evidenziato che in alcune Regioni Italiane la specifica attività di vigilanza sul Capo II Titolo VIII del D.Lgs 81/2008 viene effettuata in misura marginale rispetto ai controlli eseguiti su altri fattori di rischio (in particolare quelli di natura infortunistica).

Svariate sono le motivazioni che potrebbero giustificare un così esiguo numero dei controlli: scarsità di personale addetto alla vigilanza, bassa formazione specifica su una così complessa tematica, non ultimo l'aspetto mediatico esercitato dagli infortuni, il quale potrebbe avere un ruolo fondamentale nell'orientare la vigilanza prevalentemente sugli aspetti di sicurezza, anziché sulle malattie professionali quali l'ipoacusia.

L'uso di opportune check list potrebbe ovviare a due delle problematiche su elencate, infatti l'impiego di tali strumenti supporta gli operatori durante lo svolgimento dell'attività ispettiva standardizzando e al contempo

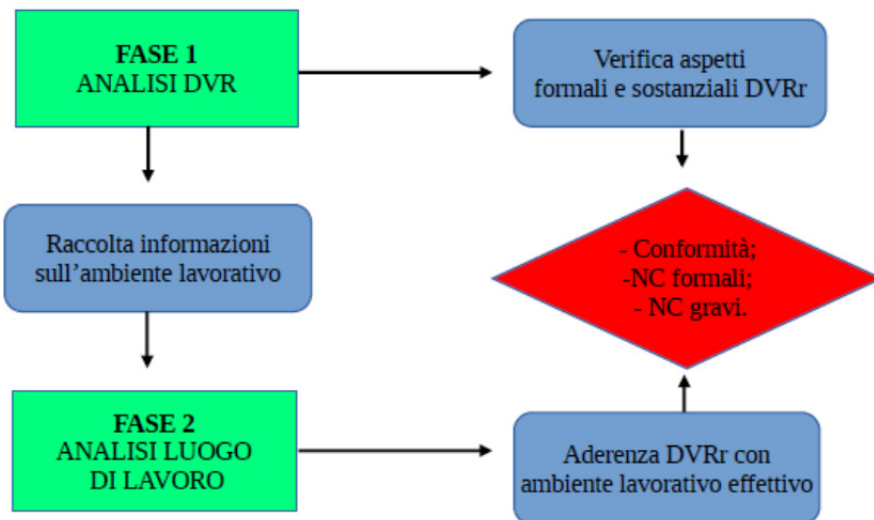
velocizzando le operazioni di controllo, indirizzando l'operatore sui punti focali della valutazione/gestione dei rischi.

Oltre a valutare l'efficacia degli interventi ispettivi, il progetto BRIC aveva come ulteriore obiettivo la creazione di uno strumento avente lo scopo di uniformare la vigilanza in tema di rischi fisici.

Per tale motivazione è stato ideato uno strumento basato su liste di controllo, che si articola in due differenti fasi (tabella 1):

1. Controllo del Documento di Valutazione del Rischio rumore e altra documentazione a corredo (relazione tecnica, P.A.R.E, sorveglianza sanitaria).
2. Ispezione in ambiente di lavoro, per la verifica della coerenza con quanto indicato dal Documento di Valutazione del Rischio rumore (da ora anche VDRr).

Tabella 1:



Al momento il presente sistema di controllo è stato redatto esclusivamente in versione cartacea, riportata in allegato al presente paper (All_1).

Dopo una fase preliminare di studio atta a verificarne la funzionalità, verrà creato un apposito programma informatico (Access, excel o app e PDF compilabile) per semplificare ulteriormente la redazione delle liste di controllo da parte degli ispettori.

Lo strumento proposto potrà essere usato anche dai datori di lavoro e dagli addetti al servizio di prevenzione e protezione come strumento di autovalutazione delle proprie VDRr e dei propri ambienti di lavoro.

Descrizione del sistema di controllo

L'intero sistema di controllo è stato ideato per verificare il rispetto alle seguenti norme: D.Lgs 81/2008 Titolo VIII Capo I e Capo II [3], UNI EN ISO 9612:2011 [4], UNI 9432:2011 [5], UNI 11347:2015 [6] e UNI EN 458 [7].

Lo strumento si compone di 13 diverse check list (da ora definite anche blocchi), ognuna delle quali raccoglie informazioni o analizza un singolo aspetto della VDRr o dell'ambiente lavorativo; di seguito l'elenco dei blocchi che costituiscono il sistema di controllo:

- **Blocco 1:** Raccolta informazioni preliminari e identificazione tipologia di valutazione dei rischi;
- **Blocco 2:** Analisi VdRr sotto forma di giustificazione;
- **Blocco 3:** Analisi VdRr per livelli di esposizione molto variabili art. 191;
- **Blocco 4:** Analisi aspetti generali VdRr con misurazioni;
- **Blocco 5:** Analisi Programma Aziendale Riduzione dell'Esposizione;
- **Blocco 6:** Dispositivi di Protezione Individuale Uditivi;
- **Blocco 7:** Analisi relazione tecnica di misurazione;
- **Blocco 8:** Analisi relazione tecnica di misurazione - basata sui compiti;
- **Blocco 9:** Analisi relazione tecnica di misurazione - basata sulle mansioni;
- **Blocco 10:** Analisi relazione tecnica di misurazione - a giornata intera;
- **Blocco L1:** - Controllo ambiente di lavoro ove la VdRr è una giustificazione;
- **Blocco L2:** - Controllo ambiente di lavoro ove la VdRr è stata effettuata per esposizione a livelli molto variabili;
- **Blocco L3:** - Controllo ambiente di lavoro ove la VdRr è corredata di misure strumentali.

Il sistema si articola in due diverse fasi: nella prima tramite alcuni dei blocchi da 1 a 10 l'addetto alla vigilanza controlla la parte documentale del "sistema di prevenzione del rischio rumore"; nella seconda fase utilizzando uno dei blocchi da L1 a L3 verifica che nell'ambiente lavorativo in esame vi sia realmente quanto "*progettato nella VDRr*" in termini di misure di prevenzione e protezione e che ciò sia efficace a tutelare la salute dei lavoratori.

Il sistema di controllo è stato ideato in più blocchi, in modo da renderlo flessibile, e quindi capace di adattarsi alle seguenti diverse tipologie di VDRr previste dal D.Lgs 81/08 (ognuna delle quali comporta oneri diversi a carico del Datore di Lavoro):

1. La "*giustificazione*" (art. 181 comma 3);
2. L'attribuzione dei lavoratori ad un'esposizione al rumore al di sopra dei valori superiori di azione (art. 191);

3. La valutazione dei rischi con misure strumentali (art. 190 comma 2) in cui viene superato il valore superiore di azione;
4. La valutazione dei rischi con misure strumentali (art. 190 comma 2) in cui non viene superato il valore superiore di azione;

e alle diverse strategie di misurazione del rumore previste dalle norme tecniche di riferimento:

1. basata sui compiti;
2. basata sulle mansioni;
3. a giornata intera.

La compilazione dei blocchi è guidata; si parte dal blocco 1 e in base alla risposta di alcune domande chiave il valutatore esegue l'intero controllo verificando e compilando i soli blocchi pertinenti alla valutazione/ambiente di lavoro in esame.

Alcuni item dei blocchi di fase 1 raccolgono informazioni che andranno poi a costituire parte dei blocchi di fase due; le informazioni raccolte sono le seguenti:

- Caratteristiche dell'ambiente di lavoro e data della VDRr (informazioni raccolte con le domande 1.3 e 1.4 check list Blocco 1);
- Tipologia dei DPI adottati (informazioni raccolte con la domanda 6.2 check list Blocco 6);
- Eventuale presenza di lavoratori particolarmente suscettibili (informazioni raccolte con la domanda 4.2 check list Blocco 4);
- Eventuale presenza di sostanze ototossiche (informazioni raccolte con la domanda 4.3 check list Blocco 4);
- Dati misurazioni: strategia per compiti (informazioni raccolte con la domanda 8.6 check list Blocco 8);
- Dati misurazioni: strategia per mansioni (informazioni raccolte con la domanda 9.7 check list Blocco 9).

La fase due è composta da tre diversi blocchi che vengono utilizzati per valutare le misure di prevenzione e protezione implementate negli ambienti di lavoro.

I blocchi di fase due sono i seguenti:

- L1 analisi del luogo di lavoro con valutazione basata su giustificazione,
- L2 analisi del luogo di lavoro con valutazione effettuata per livelli molto variabili,
- L3 analisi del luogo di lavoro basata su valutazione con misurazioni.

Di seguito verrà sinteticamente schematizzato il flusso logico di compilazione dell'intero sistema di controllo (vedi anche tabella 2):

- si parte dal **blocco uno**, il quale indirizza il valutatore alla compilazione alternativa dei blocchi due, tre o quattro, a seconda che ci troviamo di fronte rispettivamente a: giustificazione (art. 181

comma 3), attribuzione dei lavoratori ad un'esposizione al rumore al di sopra dei valori superiori di azione (art. 191) o a valutazione dei rischi con misure strumentali (art. 190 comma 2);

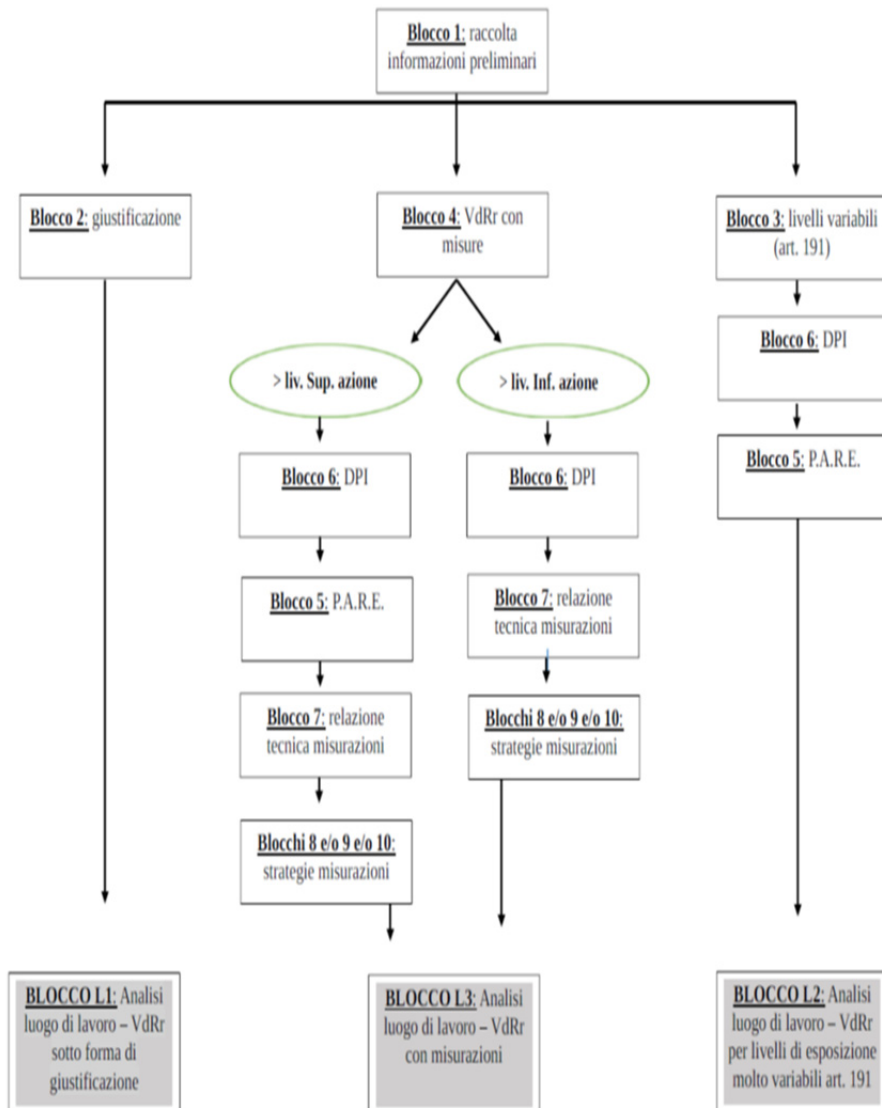
- se si è di fronte alla giustificazione bisogna compilare per la fase uno il blocco due e per la fase due il blocco L1;
- se si è di fronte alla fattispecie di cui all'art. 191 bisogna compilare per la fase 1 i blocchi tre, cinque e sei; per la fase due il blocco L2;
- se invece si è di fronte ad una VdR con misure bisogna compilare il blocco quattro il quale a sua volta indirizza il valutatore alle seguenti due compilazioni:
 - VdR con superamento del valore superiore di azione: compilare i blocchi cinque, sei e sette A sua volta il blocco sette guida il valutatore alla compilazione di o più uno fra i blocchi otto, nove e dieci (possono essere compilati più blocchi in quanto nella stessa VDRr possono essere adoperate più strategie di misurazione); per la fase due si compila il blocco L3;
 - VdR senza superamento del valore superiore di azione: compilare blocco sei e sette. A sua volta il blocco sette guida il valutatore alla compilazione di o più uno fra i blocchi otto, nove e dieci (possono essere compilati più blocchi in quanto nella stessa VDRr possono essere adoperate più strategie di misurazione); per la fase due si compila il blocco L3.

Dalla compilazione dei blocchi di fase uno e due l'operatore addetto alla vigilanza e/o il Datore di Lavoro avranno le seguenti risultanze:

- una piena conformità alla normativa;
- una non conformità formale (es. mancanza indicazione data e ora misurazioni);
- una non conformità grave (non conformità dalla quale può scaturire una prescrizione o una disposizione).

Ognuna delle risultanze sarà accompagnata da una breve descrizione indicante articolo violato e suggerimenti circa le modalità di rientro in una condizione di conformità.

Tabella 2:



Considerazioni conclusive

Lo strumento di controllo ideato verrà sperimentato da tutti gli operatori SPSAL che effettuano vigilanza in tema di rumore per un periodo di sei mesi, al termine dei quali dovranno rendere un riscontro sulla sua efficacia attraverso la compilazione del questionario riportato in tabella 3.

Tabella 3

Rispetto al controllo che effettui generalmente, hai impiegato più o meno tempo per completare l'attività ispettiva? (1 meno tempo 3 uguale 5 di più).	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
Quanto ritieni utile lo strumento come promemoria normativo? (1 poco 5 molto).	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
Ritieni che la vigilanza con questo strumento sia più o meno completa di quella effettuata in assenza di lista di controllo? (1 meno accurata 5 molto accurata).	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
Come valuti la facilità di compilazione? (1 complessa 5 molto facile).	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
NOTE E SUGGERIMENTI:	

ALLEGATO 1

Bric 1.4

Fase 1 – controllo valutazione dei rischi

BLOCCO 1: Raccolta informazioni preliminari e identificazione tipologia di valutazione dei rischi

1.1 Nome dell'azienda:

1.2 Codice ATECO dell'azienda:

1.3 Anno di redazione:

1.4 Caratteristiche dell'ambiente di lavoro:

Descrizione del ciclo di lavoro:

Attrezzature e impianti valutati (visionare planimetria punti misurazione o planimetria presente nel DVR):

Descrizione delle attività lavorative investigate:

Nota: i dati inseriti nelle domande 1.3 e 1.4 saranno richiesti in fase due.

1.5 Tipologia di valutazione:

Giustificazione.

Compila blocco 2

VdRr per livelli molto variabili.

Compila blocco 3

VdRr con misure.

Compila blocco 4

BLOCCO 2: Analisi VdRr sotto forma di giustificazione

Nota: compila anche Blocco L1 per la verifica dell'ambiente lavorativo

2.1 Espressa dichiarazione di non superamento dei valori inferiori di azione nella giornata/settimana/settimana ricorrente di massimo rischio.

SI NO

2.2 Individuazione di potenziali fattori di rischio, che possono interagire negativamente con l'esposizione al rumore (sostanze ototossiche, vibrazioni).

SI NO NON PERTINENTE

2.3 Conclusioni con le eventuali indicazioni specifiche per la riduzione del rischio e/o il mantenimento delle condizioni di bassa rumorosità.

SI NO NON PERTINENTE

**BLOCCO 3: Analisi VdRr per livelli di esposizione molto variabili
art. 191**

Nota: compila anche Blocco L2 per la verifica dell'ambiente lavorativo

3.1 Motivazioni per le quali l'azienda è classificabile ad elevata fluttuazione dei valori di esposizione a rumore.

SI NO

3.2 Sono riportati i nominativi dei lavoratori classificati come esposti a livelli di esposizione molto variabili?

SI NO

Nota se NO: non conformità formale per violazione all'articolo 191 c.2: violazione che non prevede sanzioni, si suggerisce al Datore di Lavoro di ottemperare a quanto previsto.

3.3 È stato determinato il livello di rumore prodotto dalle attrezzature nei posti operatore.

SI NO

Nota se NO: non conformità formale per violazione all'articolo 191 c.1: violazione che non prevede sanzioni, si suggerisce al Datore di Lavoro di ottemperare a quanto previsto.

3.4 È presente il P.A.R.E.

se SI compila blocco 5

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 192 c.2: violazione con sanzione penale, prescrivere la redazione del P.A.R.E

3.5 Sono stati identificati i DPIu da utilizzare? se SI Compila blocco 6

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 193 c.1 lettera g): violazione con sanzione penale, prescrivere la verifica dell'efficacia dei DPIu

3.6 I lavoratori individuati sono stati sottoposti a sorveglianza sanitaria con le modalità di cui all'art. 196?

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 196 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la sorveglianza sanitaria.

BLOCCO 4: Analisi aspetti generali VdRr con misurazioni

Nota: compila Blocco L3 per la verifica dell'ambiente lavorativo

4.1 Il datore di lavoro valuta il livello, il tipo e la durata dell'esposizione a rumore, ivi inclusa ogni esposizione a rumore impulsivo?

SI NO NON PERTINENTE

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 190 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la valutazione del/dei punti mancanti.

4.2 La VdRr tiene conto dei lavoratori particolarmente sensibili (donne in gravidanza e minori)?

SI NO NON PERTINENTE

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 190 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la valutazione del/dei punti mancanti.

4.3 La VdRr tiene conto di eventuali interazioni fra rumore e sostanze ototossiche o vibrazioni?

SI NO NON PERTINENTE

Se SI elencare le sostanze ototossiche:

4.4 La VdRr tiene conto delle informazioni sull'emissione di rumore fornite dai costruttori dell'attrezzatura di lavoro e la eventuale esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre l'emissione di rumore?

SI NO NON PERTINENTE

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 190 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la valutazione del/dei punti mancanti.

4.5 La VdR tiene conto del prolungamento del periodo di esposizione al lavoro oltre il normale orario di lavoro, in locali in cui il Datore di Lavoro è responsabile?

SI NO NON PERTINENTE

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 190 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la valutazione del/dei punti mancanti.

4.6 La VdR tiene conto delle informazioni raccolte dalla sorveglianza sanitaria?

SI NO NON PERTINENTE

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 190 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la valutazione del/dei punti mancanti.

4.7 La VdR tiene conto di eventuali interazioni fra rumore e segnali di avvertimento o altri segnali al fine di ridurre il rischio di infortuni?

SI NO NON PERTINENTE

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 190 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la valutazione del/dei punti mancanti.

4.8 La valutazione individua le misure di prevenzione e protezione necessarie di cui all'art.192?

SI NO

Se SI elenca brevemente le misure individuate:

4.9 Sono superati i valori limite di esposizione?

SI NO

Se SI compila blocco 6 e blocco 7

In caso affermativo, il datore di lavoro ha:

- Adottato misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione;
- Individuato le cause dell'esposizione eccessiva;
- Modificato le misure di prevenzione e protezione per evitare che la situazione si ripeta.

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 182 c.2: violazione con sanzione penale.

- sottoposto a sorveglianza sanitaria con le modalità di cui all'art.196?

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 196 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la sorveglianza sanitaria.

4.10 Sono superati i valori superiori di azione?

SI NO

Se SI compila blocco 5, blocco 6 e blocco 7

In caso affermativo, il datore di lavoro ha:

- I lavoratori sono stati sottoposti a sorveglianza sanitaria con le modalità di cui all'art.196?

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 196

c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la sorveglianza sanitaria.

4.10 Sono superati i valori inferiori di azione?

SI NO

Se SI compila blocco 6 e blocco 7

In caso affermativo, il datore di lavoro ha:

- esteso la sorveglianza sanitaria ai lavoratori esposti a livelli superiori ai valori inferiori di azione, su loro richiesta e qualora il medico competente ne confermi l'opportunità?

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 196 c.2: violazione con sanzione penale, prescrivere la sorveglianza sanitaria.

BLOCCO 5: Analisi Programma Aziendale Riduzione dell'Esposizione (P.A.R.E)

5.1 è stato elaborato un programma di misure tecniche e organizzative volte a ridurre l'esposizione al rumore (P.A.R.E)?

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 192 c.2: violazione con sanzione penale, prescrivere la redazione del P.A.R.E.

5.2 Vengono individuati nel P.A.R.E. gli interventi di natura tecnica da effettuare, per quelle situazioni che contribuiscono al superamento del valore superiore di azione? Viene individuato di quanto si riduce il livello di esposizione dei lavoratori in seguito agli interventi?

SI NO

5.3 Viene individuata la tempistica di realizzazione degli interventi?

SI NO

5.4 È individuato il responsabile aziendale dell'attuazione della misura?

SI NO

BLOCCO 6: Dispositivi di Protezione Individuale Uditivi (DPIu)

6.1 Viene valutata l'adeguatezza dei DPIu secondo le modalità indicate dalle norme UNI EN 458 (Appendice A) e UNI 9432:2011 (Appendice C)?

SI NO

In caso affermativo, con che modalità avviene la valutazione:

Metodo per bande d'ottava (OBM)

Metodo HML

Metodo SNR

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 193 c.1 lettera d): violazione con sanzione penale, prescrivere la verifica dell'efficacia dei DPIu.

6.2 elenca caratteristiche dei DPIu:

DPIu numero 1:

Marca DPIu individuato

Lavoratore GAO ai quali è stato fornito

DPIu numero 2:

Marca DPIu individuato

Lavoratore GAO ai quali è stato fornito

DPIu numero 3:

Marca DPIu individuato

Lavoratore GAO ai quali è stato fornito

DPIu numero 4:

Marca DPIu individuato

Lavoratore GAO ai quali è stato fornito

6.3 Il datore di lavoro tiene conto dell'attenuazione prodotta dai dispositivi di protezione individuale dell'udito indossati dal lavoratore ai fini di valutare l'efficienza dei DPI uditivi e il **rispetto del valore limite di esposizione**.

SI NO NON PERTINENTE

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 193 c.1 lettera g): violazione con sanzione penale, prescrivere la verifica dell'efficacia dei DPIu..

BLOCCO 7: analisi relazione tecnica di misurazione

7.1 Nome della persona qualificata che ha eseguito le misurazioni e i calcoli.

SI NO

7.2 Riferimento alle norme UNI EN ISO 9612 e UNI 9432.

SI NO

7.3 L'analisi del lavoro fornisce informazioni a consentire la scelta di un'opportuna strategia di misurazione e la pianificazione di idonee misurazioni?

SI NO

7.4 Descrizione del giorno/i investigati (per esempio: attività svolta, numero di macchine funzionanti, lavoratori coinvolti, presenza di eventuali indicatori di produzione).

SI NO

7.5 Segnalazione di eventuali differenze delle normali condizioni di lavoro o dai normali comportamenti durante il corso delle misurazioni.

SI NO NON PERTINENTE

7.6 Posizione e orientamento dei microfoni

SI NO

7.7 Durata di ogni misurazione

SI NO

7.8 Numero di misurazioni ad ogni postazione

SI NO

7.9 Risultati di ogni misurazione, comprensivi almeno del valore A equivalente e del valore C di picco

SI NO

7.10 Identificazione del lavoratore/i o del gruppo/i per i quali è stata valutata l'esposizione

SI NO

7.11 Identificazione e classe di strumentazione utilizzata (costruttore, modello, numero di serie)

SI NO

7.12 Configurazione catena di misura (per esempio: uso dello schermo paravento, cavo di prolunga)

SI NO

7.13 Documentazione delle verifiche di calibrazione eseguite prima e dopo ciascuna misurazione

SI NO

7.14 Tracciabilità della taratura (data e risultato della verifica più recente dei componenti del sistema di misura)

SI NO

7.15 Strategia di misurazione adottata:

- per compiti

numero _____

Compila blocco 8

- per mansioni

numero _____

Compila blocco 9

- a giornata intera

numero _____

Compila blocco 10

BLOCCO 8: analisi relazione tecnica di misurazione – basata sui compiti

8.1 Sono stati individuati i *compiti* (una parte distinta dell'insieme delle attività svolte dal lavoratore) che costituiscono la giornata o settimana nominale lavorativa dei lavoratori/gruppi acusticamente omogenei?

SI NO

8.2 La durata dei *compiti* è stata determinata in modo corretto?

SI NO

8.3 Vi sono le misurazioni per ogni *compito* rappresentativo dell'esposizione al rumore dei lavoratori/gruppi acusticamente omogenei?

SI NO

8.4 È stato determinato il livello di esposizione giornaliera e/o settimanale al rumore?

SI NO

8.5 La durata delle singole misure è rappresentativa?

SI NO

8.6 Per ogni compito sono state eseguite almeno 3 misurazioni?

SI NO

8.7 Si tiene conto dell'incertezza delle misure?

SI NO

8.8 Giornata nominale del gruppo omogeneo acustico o dei lavoratori (riportare compiti e loro durate):

--

Dati delle Misurazioni dei compiti:

--

Nota: Domanda facoltativa; i dati saranno utilizzati per controllare sul campo la bontà della Relazione Tecnica in fase 2. Scegliere le giornate con esposizione maggiormente significativa.

BLOCCO 9: analisi relazione tecnica di misurazione - basata sulle mansioni

9.1 Sono state identificate le *mansioni* (somma complessiva delle attività svolte dal lavoratore, consistente nell'insieme dei compiti svolti durante l'arco completo della giornata lavorativa o di un turno)?

SI NO

9.2 In base alle *mansioni* identificate sono stati stabiliti i gruppi acusticamente omogenei?

SI NO

9.3 È stata determinata la durata minima delle misurazioni in base al numero di lavoratori che costituiscono il gruppo omogeneo?

SI NO

9.4 È stata definita la durata di ogni campione ed il numero di campioni (almeno cinque), in modo da assicurare che la durata cumulativa sia uguale o superiore a quella definita dal Prospetto 1 della norma UNI EN ISO 9612:2011?

SI NO

9.5 È stato pianificato il prelievo di campioni in modo casuale fra i membri del gruppo omogeneo nell'arco della giornata lavorativa?

SI NO

9.6 Si tiene conto dell'incertezza delle misure?

SI NO

9.7 Descrizione mansione da analizzare:

Riportare valore e posizione dei punti di misurazione

Nota: Domanda facoltativa; i dati saranno utilizzati per controllare sul campo la bontà della Relazione Tecnica in fase 2.

Scegliere le giornate con esposizione maggiormente significativa..

**BLOCCO 10: analisi relazione tecnica di misurazione – a giornata
intera**

10.1 È stata scelta la giornata più rappresentativa della situazione lavorativa?

SI NO

10.2 Si tiene conto dell'incertezza delle misure?

SI NO

FASE 2 – ANALISI LUOGO DI LAVORO

BLOCCO L1: VdRr sotto forma di giustificazione

Anno di redazione valutazione, vedi quanto riportato nel Blocco uno punto 1.3

Nota: se la VdRr ha più di 4 anni e contestualmente AL PUNTO L1.1 SI RISPONDE NO: non conformità grave per violazione all'articolo 181 c.2 in combinato disposto con l'articolo 190: violazione con sanzione penale, prescrivere la redazione di una Valutazione aggiornata.

se invece

il VdRr ha più di 4 anni e contestualmente AL PUNTO L1.1 SI RISPONDE SI: non conformità formale per violazione all'articolo 181 c.2 in combinato disposto con l'articolo 190 c.1: disporre la redazione di una Valutazione aggiornata (aggiornare formalmente data redazione).

L1.1 L'ambiente lavorativo è coerente con quanto riportato nel punto 1.4 del Blocco 1 (perché vi sono stati cambiamenti sostanziali dell'attività)?

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione 181 c.2 in combinato disposto con l'articolo 190 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la redazione di una Valutazione aggiornata.

L1.2 Nell'ambiente lavorativo si verificano le seguenti condizioni?

- uso di getti d'aria compressa; SI NO

- rilasci d'aria compressa; SI NO

- martellamento; SI NO

- impatti intensivi; SI NO

- uso saltuario di macchine e utensili molto rumorosi; SI NO
- passaggio di veicoli rumorosi; SI NO
- attività molto rumorose nelle postazioni adiacenti a quelle in cui vi è una giustificazione. SI NO

Nota se si risponde SI anche ad una delle domande: valutare durata esposizione, mediante intervista diretta ai lavoratori, ed effettuare misure strumentali. Se dalle misure effettuate scaturisce un'esposizione superiore al valore inferiore d'azione vedi nota.

SE dopo le misure risulta superato il valore inferiore d'azione:

non conformità grave per violazione all'articolo 190 c.2: violazione con sanzione penale, prescrivere la redazione di una Valutazione con misure, in quanto l'attività esaminata non è *giustificabile*..

BLOCCO L2: VdRr per livelli di esposizione molto variabili art. 191

Anno di redazione valutazione, Vedi quanto riportato nel Blocco uno punto 1.3

Nota: se la VdRr ha più di 4 anni e contestualmente AL PUNTO L1.1 SI RISPONDE NO: non conformità grave per violazione all'articolo 181 c.2 in combinato disposto con l'articolo 190: violazione con sanzione penale, prescrivere la redazione di una Valutazione aggiornata.

se invece

il VdRr ha più di 4 anni e contestualmente AL PUNTO L1.1 SI RISPONDE SI: non conformità formale per violazione all'articolo 181 c.2 in combinato disposto con l'articolo 190 c.1: disporre la redazione di una Valutazione aggiornata (aggiornare formalmente data redazione).

L2.1 L'ambiente lavorativo è coerente con quanto riportato nel punto 1.4 del Blocco 1 (perché vi sono stati cambiamenti sostanziali dell'attività)?

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione 181 c.2 in combinato disposto con l'articolo 190 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la redazione di una Valutazione aggiornata.

L2.2 Sono presenti e a disposizione i DPIu individuati al punto 6.2?

SI NO ALTRI DPIu

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 193 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la fornitura dei DPIu previsti

SE I DPIu HANNO CARATTERISTICHE DIVERSE DA QUELLI PREVISTI (meno efficaci): non conformità grave per violazione all'articolo 193: violazione con sanzione penale, prescrivere la verifica e l'adozione di idonei DPIu.

L2.3 I luoghi di lavoro dove i lavoratori possono essere esposti ad un rumore al di sopra dei valori superiori di azione sono indicati da appositi segnali?

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 192 c.3: violazione con sanzione penale, prescrivere la segnalazione dei luoghi in cui vi è la possibilità che sia superato il valore superiore di azione.

In alcuni particolari luoghi di lavoro (Es. cantiere edili), la segnaletica può essere affissa all'esterno dell'area di cantiere, oppure sulle attrezzature rumorose.

BLOCCO L3: VdRr per livelli di esposizione molto variabili art. 191

Anno di redazione valutazione, Vedi quanto riportato nel Blocco uno punto 1.3

Nota: se la VdRr ha più di 4 anni e contestualmente AL PUNTO L1.1 SI RISPONDE NO: non conformità grave per violazione all'articolo 181 c.2 in combinato disposto con l'articolo 190: violazione con sanzione penale, prescrivere la redazione di una Valutazione aggiornata.

se invece

il VdRr ha più di 4 anni e contestualmente AL PUNTO L1.1 SI RISPONDE SI: non conformità formale per violazione all'articolo 181 c.2 in combinato disposto con l'articolo 190 c.1: disporre la redazione di una Valutazione aggiornata (aggiornare formalmente data redazione).

L3.1 L'ambiente lavorativo è coerente con quanto riportato nel punto 1.4 del Blocco 1 (perché vi sono stati cambiamenti sostanziali dell'attività)?

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione 181 c.2 in combinato disposto con l'articolo 190 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la redazione di una Valutazione aggiornata.

L3.2 Sono presenti e a disposizione i DPIu individuati al punto 6.2?

SI NO ALTRI DPIu

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 193 c.1: violazione con sanzione penale, prescrivere la fornitura dei DPIu previsti

SE I DPIu HANNO CARATTERISTICHE DIVERSE DA QUELLI PREVISTI (meno efficaci): non conformità grave per violazione all'articolo 193: violazione con sanzione penale, prescrivere la verifica e l'adozione di idonei DPIu.

L3.3 I luoghi di lavoro dove i lavoratori posso essere esposti ad un rumore al di sopra dei valori superiori di azione sono indicati da appositi segnali?

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 192 c.3: violazione con sanzione penale, prescrivere la segnalazione dei luoghi in cui vi è la possibilità che sia superato il valore superiore di azione.

In alcuni particolari luoghi di lavoro (Es. cantiere edili), la segnaletica può essere affissa all'esterno dell'area di cantiere, oppure sulle attrezzature rumorose.

L3.4 Sono presenti sostanze ototossiche o interazioni con vibrazioni, come al punto 4.3?

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 190 c.1 lettera d): violazione con sanzione penale, prescrivere la redazione di una Valutazione aggiornata con i rischi presenti.

L3.5 Sono presenti lavoratori particolarmente suscettibili, come al punto 4.2?

SI NO

Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 190 c.1 lettera c): violazione con sanzione penale, prescrivere la redazione di una Valutazione aggiornata con i rischi presenti.

L3.6 Le eventuali misure sul campo confermano quanto riportato al punto 8.6?

SI NO NON PERTINENTE

Domande facoltative rispondere se sono state effettuate delle misure di verifica sul campo.

L3.7 Le eventuali misure sul campo confermano quanto riportato al punto 9.7?

SI NO NON PERTINENTE

(Le misure vanno effettuate seguendo le norme tecniche di riferimento.)



Nota se NO: non conformità grave per violazione all'articolo 190 c.3:
violazione con sanzione penale, prescrivere il rifacimento di misure in base a
quanto disposto dalle norme tecniche.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. 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 – S.Goldoni, N.Della Vecchia, A.Santarpia, S.Gatti, M.Gatti, F.Demontis, A.Figini - Atti convegno dBA2018
- [2]. Silvia Goldoni, Antonio Santarpia, Nino Della Vecchia – Azienda USL di Modena; Pietro Nataletti, Massimo Garai, Dario D'Orazio. 2019. Uniformità ed efficacia della vigilanza in materia di rumore: il progetto BRIC. Atti dBA2019 - Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro, Bologna.
- [3]. D.Lgs 81/2008 “Testo Unico tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”
- [4]. UNI EN ISO 9612:2011 “Acustica - Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro - Metodo tecnico progettuale”
- [5]. UNI 9432:2011: “Acustica - Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell’ambiente di lavoro”
- [6]. UNI 11347:2015; “Acustica - Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro”
- [7]. UNI EN 458 “Protettori dell'udito - Raccomandazioni per la selezione, l'uso, la cura e la manutenzione - Documento guida”

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

**TCA2020: MISURA E CONTROLLO DELL'AGENTE FISICO
RUMORE: FOCUS ISTITUZIONI – ECCELLENZE ITALIANE
DELLA RICERCA - 22-24 giugno 2020 Auditorium Ravello**

Augusto Papa ⁽¹⁾

⁽¹⁾INAIL UOT CVR Napoli

1 Sintesi

L'evento "Misura e controllo del rumore" che si svolgerà presso l'auditorium di Ravello, si pone come obiettivo quello di divenire un appuntamento annuale, utile ad un confronto con le amministrazioni pubbliche competenti nel settore, il mondo della ricerca e quello dei tecnici acustici accreditati.

L'iniziativa è finalizzata, alla diffusione ed alla condivisione di esperienze di studio e monitoraggio del rumore, mediante relazioni di esperti e professori universitari e l'esposizione di significativi lavori, in comunicazioni orali o poster, nelle 5 sessioni tematiche, presso le 4 sale dell'auditorium e nel coffee Lab.

Al fine di favorire lo scambio di idee, esperienze e progetti, per un valido accrescimento delle competenze, saranno presentate le innovazioni tecniche nel campo della strumentazione, dei materiali e dei software per l'acustica, in stand espositivi, posti nel piazzale.

La cerimonia di chiusura sarà dedicata al rilascio di riconoscimenti e consegna di premi. Particolare rilevanza assumerà il premio per il miglior Poster scientifico: Under 35- TCA Women Poster Award.

Ai partecipanti verranno rilasciati Crediti Formativi Professionali, ed ore di aggiornamento per gli iscritti all'ENTECA, ai fini dell'obbligo di acquisire nell'arco di 5 anni dalla data di iscrizione e per ogni quinquennio, 30 ore di

aggiornamento professionale distribuite su almeno 3 anni, pena la sospensione e la successiva cancellazione dall'elenco.

2 Le eccellenze Italiane della ricerca acustica nel mondo

Al convegno, saranno inviati a dare un loro contributo gli interpreti italiani della ricerca estera in campo acustico. Vogliamo dar voce alle eccellenze Italiane che occupano da anni posizioni di rilievo in università straniere; vengono insigniti di riconoscimenti scientifici in ambito internazionale; e ricoprono incarichi direttivi in qualificati istituti di ricerca internazionali.

3 TCA2020: un'occasione di incontro nazionale dei TCA

La misura ed il controllo del rumore sono prerogative esclusive del Tecnico Competente in Acustica (TCA), un professionista con competenza nel campo dell'acustica ambientale, su tutto il territorio italiano.

I requisiti per svolgere tale professione, sono riportati nel D.lgs. 17 febbraio 2017, n.42 che istituisce anche l'elenco nazionale ENTECA presso il Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

L'evento TCA2020, si pone come principale obiettivo quello di rappresentare la prima opportunità in Italia di confronto e di aggiornamento delle conoscenze dei TCA dall'entrata in vigore dell'elenco.

Completando in questo modo, il panorama dell'offerta degli eventi di settore, che già analizzano il fenomeno acustico con un approccio fisico-scientifico, trattando il tema anche da un'ottica tecnico-professionale.

Il TCA trova suo iniziale riconoscimento giuridico, in un'istanza documentale presentata alla Regione di appartenenza, atta ad attestare l'esperienza svolta in affiancamento ad un TCA. Tale istanza non necessitava di una verifica delle effettive competenze. L'avvento dell'elenco nazionale ha segnato un cambiamento radicale. Seppure la professione di TCA continui a non essere organizzata in un ordine o collegio professionale, è ora possibile attivare strumenti atti a valorizzare le competenze specifiche (aggiornamento professionale obbligatorio) e far rispettare le essenziali regole deontologiche, con la possibilità di sospensione/cancellazione dall'elenco da parte delle Regioni

4 L'Auditorium di RAVELLO una conchiglia sul mare

Incastonata contro il versante scosceso di una rupe, lungo la spettacolare costiera amalfitana, l'antica cittadina di Ravello, decretata Patrimonio dell'Umanità dall'Unesco nel 1996, è oggi una delle più celebri mete italiane del turismo internazionale ma anche, e soprattutto, il luogo dell'anima per gli intellettuali e gli appassionati dell'arte e della cultura.

L'evento si svolgerà nella sala plenaria, nelle 4 sale e nel Coffee Lab del famoso auditorium realizzato dall'architetto Oscar Niemeyer.

Parcheggio interrato	Plenaria	Sala 1	Sala 2	Sala 3	CLab
110 posti auto su due livelli.	400 posti	60 posti	50 posti	50 posti	25 posti

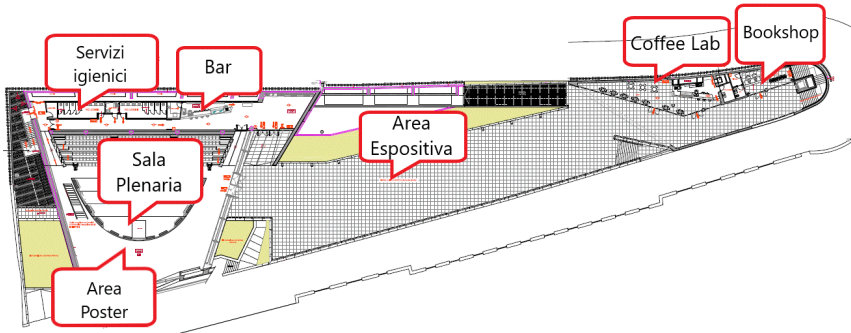


Fig. 1 – Auditorium 2 piano



Fig. 2 – Area Auditorium primo piano



Fig. 3 – Sala sessioni e camerini primo piano

5 Sessioni tematiche TCA2020

Le sessioni tematiche sono coordinate da esperti, principalmente docenti universitari di acustica, e sono suddivise in diverse sotto sessioni, meglio descritte a seguire.

Area tematica S1 Elaborati tecnici, misure e indagini del rumore. Casi di studio significativi.

Questa area tematica, tratta tutti gli aspetti connessi alla redazione delle perizie tecniche autorizzative e d'impatto acustico per tutte le differenti sorgenti di rumore, analizzando anche il tema delle consulenze tecniche d'ufficio nell'acustica forense.

S1-a) Rumore dei sistemi di trasporto e delle attività produttive ed acustica forense

S1-b) Acustica Forense - Consulenze tecniche d'ufficio e normale tollerabilità del rumore.

S1-c) Relazioni e accertamenti strumentali del rumore per specifica sorgente

(impianti eolici, attività industriali, cantieri temporanei, impianti in generale, ecc)

Area tematica S2 Rumore negli ambienti di lavoro.

Questa area tematica, tratta tutti gli aspetti connessi alla redazione delle perizie tecniche acustiche negli ambienti di lavoro, trattando anche il tema dei piani di bonifica (PARE), obbligatori per le imprese con esposizione al rumore > 85 dBA.

S2-a) Relazioni Acustiche negli Ambienti di lavoro, valutazione dell'esposizione al rischio obblighi del datore di lavoro;

S2-b) Piani acustici di riduzione dell'esposizione aziendale, bonifiche impianti industriali.

Area tematica S3 Gestione del rumore ambientale e Community Noise.

Questa area tematica copre tutti gli aspetti della gestione ambientale del rumore della comunità. Questi argomenti includono le attività di accertamento e le procedure in merito alla valutazione del rumore ambientale da parte degli enti pubblici competenti. Si vogliono affrontare argomenti quali: valutazioni di clima acustico, mappature e piani di classificazione acustica, piani di azione/risanamento, mappature strategiche e relativi modelli di calcolo, il coinvolgimento della comunità. Contributi teorici, metodologici ed empirici sono i benvenuti.

S3-a) Enti pubblici: Attività di accertamento. procedure, elaborati tecnici e giudizi di merito;

S3-b) Piani di classificazione acustica, programmi di intervento, piani di azione/risanamento, mappature strategiche - modelli di calcolo per l'elaborazione di impatto acustico previsionale e valutazioni di clima acustico).

Area tematica S4 Metodi di valutazione dei requisiti di Acustici in Edilizia, l'acustica Architettonica ed il comfort.

Questa area tematica copre tutti gli aspetti dell'acustica degli edifici e delle sale in relazione alla trasmissione del suono e della vibrazione attraverso elementi costruttivi, le qualità ed il comfort acustico degli spazi e la progettazione acustica architettonica.

S4-a) Verifica dei requisiti acustici passivi degli edifici, interventi di correzione e di bonifica;

S4-b) Acustica architettonica per il comfort di uffici e locali pubblici nuovi prodotti e soluzioni. Global comfort.

Area tematica S5 Strumentazioni, software e prodotti per la misura e l'elaborazione dei livelli sonori

In questa area tematica, dedicata ad enti e aziende del settore, si vogliono trattare tutti gli aspetti relativi alla misurazione del suono. Presentare gli strumenti di misura, sia tradizionali, che innovativi con nuovi concetti di misurazione: nuovi trasduttori, nuovi algoritmi matematici, nuovi parametri acustici o nuove applicazioni delle tecnologie ad esempio per realtà virtuale e multimediale.

Coffee Lab Questa area tematica verrà trattata nel Coffee Lab, una sala appositamente dedicata,

L'invio delle presentazioni avverrà tramite il portale www.tca2020.org

Invio abstract	25 ottobre 2019
Notifica dell'accettazione	15 novembre 2019
Invio relazioni entro	01 marzo 2020
Notifica dell'accettazione	15 marzo 2020
Programma Preliminare	15 aprile 2020

3.1 Stand e spazi di esposizione

L'auditorium presenta 900 mq di piazzale esterno, che vogliono essere impiegati per l'esposizione di materiali e strumentazioni e componenti per l'acustica. Saranno invitate a tal proposito, le aziende del settore offrendo la disponibilità di uno spazio espositivo nel piazzale, dell'utilizzo del coffee Lab per la presentazione dei loro prodotti, e finanche dell'uso dei camerini presenti nell'auditorium e di un posto auto nel parcheggio interrato. Le modalità di partecipazione saranno da concordare e prevedono la richiesta di un'erogazione liberale al fine di sostenere le spese di realizzazione dell'evento. Sarà inoltre possibile l'inserimento di materiale informativo nella cartella del convegno. Dettagli saranno disponibili nella sezione dedicata del sito. www.tca2020.org

3.2 Focus Istituzioni e Plenary Lecture

La prima giornata sarà dedicata al Focus Istituzioni e raccoglierà le relazioni dei maggiori esperti delle amministrazioni pubbliche coinvolte nella gestione del rumore. Tra gli invitati a dare un contributo gli esperti della Direzione generale per l'Ambiente della Commissione europea, per trattare il tema: Lo scenario politico UE per la tutela dal rumore ambientale e l'ambiente urbano. Rilevante interesse è dedicato alle attività del Ministero dell'ambiente e direttive Europee, dove funzioni del MATTM tratteranno il tema dell'attuazione della normativa, in particolare del D.lgs. 17 febbraio 2017, n. 42 ex art. 21, Direttive 2000/14/CE e 2002/49/CE. Si discuterà anche sull'elenco nazionale dei tecnici competenti in acustica e sul tavolo tecnico di coordinamento.

Ampio spazio verrà, infine, dedicato all'attività di accertamento, controllo e vigilanza, svolto delle Agenzie regionali Protezione Ambiente e delle Aziende sanitarie locali.

Nella seconda giornata TCA2020, verranno trattati in varie Plenary lectures i temi: La Commissione Acustica e Vibrazioni di UNI: presente e futuro delle norme tecniche di settore, l'Acustica forense, la progettazione ed il collaudo acustico degli edifici pubblici alla luce dei nuovi CAM (DM 11 gennaio 2017), il portale web agenti fisici quale strumento informativo per orientare gli attori aziendali della sicurezza e gli operatori della prevenzione ad una risposta corretta ai fini della prevenzione e protezione da agenti fisici, la progettazione, correzione e misure acustiche in spazi confinati: sale conferenza, uffici, ristoranti

5 Premio miglior poster scientifico al femminile

Il bando in questione ha lo scopo di valorizzare le attività e la produzione scientifica delle giovani donne, con età inferiore ai 35 anni, partecipanti ai corsi abilitanti TCA (indicati sul portale ENTECA). Riguarda le candidate che presenteranno mediante poster, argomenti delle sessioni tematiche o delle tesine di esame ai corsi svolti negli anni accademici 2019-2020. I 5 più rilevanti poster verranno esposti al convegno e l'autrice del migliore poster, potrà presentare la memoria scientifica e ricevere una targa di riconoscimento nella cerimonia di chiusura della giornata conclusiva. La presentazione delle candidature e degli abstract avverrà con la stessa modalità e tempistica, prevista per i contributi scientifici.

Maggiori info su www.tca2020.org

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] D.lgs. 17 febbraio 2017 n. 42. Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico, a norma dell'articolo 19, comma 2, lettere a), b), c), d), e), f) e h) della legge 30 ottobre 2014, n. 161. (17G00055) (GU Serie Generale n.79 del 4-4-2017)
- [2] Linee guida del tavolo tecnico MATTM, aggiornate al 9 maggio 2019.

La biblioteca di

- **dB A'85 Il rumore industriale - Prevenzione e bonifica in ambiente di lavoro.**
Atti del Convegno di Modena del 14, 15 e 16 febbraio 1985
- **dB A'90 Rumore e vibrazioni - Valutazione, prevenzione e bonifica**
Atti del Convegno di Bologna e Modena del 20, 21, 22 e 23 novembre 1990
- **dB A'94 Rumore e vibrazioni - Valutazione, prevenzione e bonifica in ambiente di lavoro**
Atti del Convegno di Modena del 20, 21 e 22 ottobre 1994
- **dB A'98 Dal rumore ai rischi fisici - Valutazione, prevenzione e bonifica in ambiente di lavoro**
Atti del Convegno di Modena del 17, 18 e 19 ottobre 1998
- **dB A_{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
- **dB_A2019 – Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro.**
Atti del Convegno di Bologna del 17 ottobre 2019

Altre pubblicazioni

Collana REACH

- **REACH2019 – Sostanze Pericolose. Valutazione del Rischio e dell’esposizione. (2019)**
- **REACH2018 – Sostanze Pericolose. Identificazione, Registrazione, Valutazione, Autorizzazione, Restrizione e Gestione del Rischio. (2018)**
- **REACH 2017 – L’applicazione dei Regolamenti REACH e CLP nei luoghi di vita e di lavoro e nel comparto metalmeccanico (2017)**
- **REACH 2016 – L’applicazione dei regolamenti REACH e CLP nei luoghi di vita e di lavoro (2016)**
- **REACH 2015 – L’applicazione dei regolamenti REACH e CLP nei luoghi di lavoro. L’applicazione dei Regolamenti Europei delle Sostanze Chimiche in ambito sanitario (2015)**
- **REACH 2014 - I Regolamenti Europei REACH e CLP: l’interazione tra le normative sociali e di prodotto, il confronto e l’assistenza alle imprese, l’armonizzazione europea dei controlli (2014)**

Collana Risch

- **RisCh 2014 – L’aggiornamento della valutazione del rischio da agenti chimici pericolosi, cancerogeni e mutageni: la valutazione della sicurezza chimica, la nuova scheda di dati di sicurezza e gli scenari di esposizione**
- **RisCh 2012 – Agenti chimici pericolosi, cancerogeni, mutageni, REACH, CLP, SDS**

- **RisCh 2011 – Le nuove valutazioni del rischio da agenti chimici pericolosi e dell’esposizione ad agenti cancerogeni, mutageni**
- **RisCh 2010 – Le sostanze pericolose nei luoghi di lavoro.** Individuazione del pericolo, Regolamenti REACH e CLP, Scheda Dati di Sicurezza, Valutazione del rischio da agenti chimici pericolosi, cancerogeni e mutageni
- **RisCh 2008 – Sostanze pericolose:** agenti chimici pericolosi, cancerogeni, mutageni e l'amianto
- **RisCh 2006 – Il rischio chimico nei luoghi di lavoro:** identificazione, misurazione, valutazione, prevenzione e protezione, sorveglianza sanitaria, esperienze ed approfondimenti
- **RisCh 2005 – Sostanze e preparati pericolosi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.** Classificazione ed autoclassificazione, etichettatura di pericolo e scheda di sicurezza, valutazione del pericolo e del rischio, aspetti critici ed innovativi. Il caso della silice libera cristallina
- **RisCh 2004 – Agenti cancerogeni, mutageni e chimici pericolosi:** l’applicazione dei Titoli VII e VII-bis DLgs.626/94, l’assistenza e la collaborazione con le parti sociali, la vigilanza e il controllo
- **RisCh-Bitume - Il rischio da agenti chimici nella produzione e messa in opera dei conglomerati bituminosi (2004)**
- **RisCh-La valutazione del rischio e dell’esposizione ad Agenti Chimici Pericolosi (2003)**
- **RisCh-Prevenzione e Protezione da Agenti Chimici Pericolosi.** Le novità del D.Lgs.25/02, la valutazione e la giustificazione del rischio, le misurazioni e la sorveglianza sanitaria (2002)

- **RisCh-Prevenzione e Protezione da Agenti Cancerogeni e Mutageni.** Le novità del D.Lgs.66/2000, la valutazione dell'esposizione, la sostituzione e i protocolli di prevenzione (2001)
- **RisCh'Alt-Prodotti chimici e tecnologie alternative all'impiego delle sostanze pericolose:** formulazioni e tecnologie meno pericolose per l'uomo e l'ambiente, le schede informative in materia di salute, sicurezza e ambiente (2000)
- **RisCh'Amb-La produzione compatibile con l'ambiente di vita e di lavoro:** approfondimenti sul D.Lgs.626/94, gestione dei rischi ambientali, assicurazione dell'ambiente (1999)
- **RisCh'dpi-I dispositivi di protezione individuale delle vie respiratorie:** aspetti normativi ed applicativi, linee guida e criteri per la scelta e l'uso, stato di applicazione del Titolo IV D.Lgs.626/94 (1999)
- **RisCh'flr-I fluidi lubrorefrigeranti nelle lavorazioni meccaniche:** Fattori di rischio - Misure di sicurezza ed igiene del lavoro - Tutela dell'ambiente (1998)
- **RisCh'SP-Le sostanze pericolose per l'uomo e per l'ambiente:** identificazione dei pericoli, valutazione dei rischi, classificazione, obbligo di ricerca, imballaggio ed etichettatura, scheda di dati di sicurezza, vigilanza e controlli (1998)
- **RisCh'96-II rischio chimico negli ambienti di lavoro:** identificazione, misurazione, valutazione, prevenzione e protezione (1996)

Collana SICUREZZA

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

Collana ASL incontri

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



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

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

Oggi dBA è un'iniziativa matura che porta a sintesi il progetto di un confronto multidisciplinare sui rischi fisici e approfondisce gli argomenti più attuali in incontri dedicati a temi specifici, sempre nell'ambito dei rischi fisici, con contributi 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 978-88-944190-3-0



9 788894 419030

Stampato in Italia – Printed in Italy – Ottobre 2019

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

ISBN 978-88-944190-3-0



dBA 2019

Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro

In collaborazione con:



Ordine Interprovinciale
dei **Chimici** e dei **Fisici** dell'Emilia-Romagna



COORDINAMENTO
TECNICO
INTERREGIONALE
DELLA PREVENZIONE
NEI LUOGHI DI LAVORO



ORDINE
INGEGNERI
BOLOGNA
OIBO