

d-BA 2020

La gestione del microclima nei
luoghi di lavoro in presenza di
una emergenza epidemica



d-BA 2020

d-BA 2020

La gestione del microclima nei
luoghi di lavoro in presenza di
una emergenza epidemica

Atti a cura di:
Silvia Goldoni, Angelo Tirabasso

In collaborazione con:



Con il patrocinio di:



CONSIGLIO NAZIONALE DEGLI INGEGNERI



La gestione del microclima nei luoghi di lavoro
in presenza di una emergenza epidemica

Bologna, 3 dicembre 2020





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

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

dBAinfo@ausl.mo.it



La gestione del microclima nei luoghi di lavoro
in presenza di una emergenza epidemica

Convegno Nazionale promosso da:



In collaborazione con:



Con il patrocinio di:



CONSIGLIO NAZIONALE DEGLI INGEGNERI



Bologna, 3 dicembre 2020

Atti a cura di:
Silvia Goldoni, Angelo Tirabasso

Comitato Promotore

Giuseppe Diegoli	Regione Emilia-Romagna
Ester Rotoli	INAIL DC Prevenzione
Antonio Brambilla	Azienda USL di Modena

Comitato Scientifico

Davide Ferrari	Azienda USL di Modena
Silvia Goldoni	Azienda USL di Modena
Pietro Nataletti	INAIL - DiMEILA
Liliana Frusteri	INAIL – Contarp centrale
Pasquale Antonio Di Palma	INAIL – Ssc
Raffaella Raffaelli	Ord. Interpr. Chimici e Fisici Emilia R.
Gaetano Settimo	ISS
Giona Compagnoni	Confindustria Emilia Area Centro
Alessandro Merlino	CeSNIR, Villasanta (MB)
Lucia Miligi	ISPRO Firenze
Iole Pinto	Usl Toscana Sud-Est
Francesco Frigerio	ICS Maugeri Spa Pavia
Franco Rusnati	ASSIL
Gian Marco Contessa	ENEA

Segreteria Scientifica

Silvia Goldoni
Angelo Tirabasso

Azienda USL di Modena
INAIL - DiMEILA

Segreteria Organizzativa

Morena Piumi: formazionesp@ausl.mo.it

Redazione atti:

Silvia Goldoni: s.goldoni@ausl.mo.it

Angelo Tirabasso: a.tirabasso@inail.it



La gestione del microclima nei luoghi di lavoro in presenza di una emergenza epidemica

PRESENTAZIONE

Questo volume raccoglie gli Atti del Convegno “**dBA2020 – La gestione del microclima nei luoghi di lavoro in presenza di una emergenza epidemica**” che si è tenuto il 3 dicembre 2020 in modalità on-line, anziché in presenza, per effetto delle recenti disposizioni normative in relazione all’evolversi dell’emergenza di sanità pubblica, dovuta al diffondersi del contagio da Covid19.

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

La pandemia di Coronavirus - COVID-19 ha naturalmente coinvolto anche i luoghi di lavoro, evidenziando aspetti critici tra i quali la necessità di gestire ed utilizzare gli impianti di climatizzazione, sia estiva che invernale, per prevenire e limitare il rischio di diffusione di SARS-CoV2-19, i rischi da ROA derivanti dall’utilizzo di lampade germicide a UV, nonché il discomfort termico conseguente all’utilizzo prolungato di mascherine chirurgiche e filtranti facciali durante l’attività lavorativa. Il Convegno ha l’obiettivo di fornire alle Imprese e a tutti gli attori della prevenzione le evidenze scientifiche e le migliori prassi oggi disponibili relativamente alla riduzione del rischio di propagazione per via area (aerosol) del SARS-CoV2-19 tramite un impiego corretto degli impianti di climatizzazione ambientale e di ventilazione, delle lampade germicide a UV e dei DPI per le vie respiratorie.

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



La gestione del microclima nei luoghi di lavoro in presenza di una emergenza epidemica

Programma

- 9,00 Registrazione dei partecipanti ECM e CFP
- 9,30 Apertura dei lavori - Saluti delle Autorità
- 10,00 Qualità dell'aria indoor e Covid-19: il ruolo degli impianti di ventilazione/climatizzazione nei luoghi di lavoro nel contrasto alla diffusione del virus SARS_CoV-2 (*Gaetano SETTIMO - Istituto Superiore di Sanità*)
- 10,30 Esperienze di gestione degli impianti di ventilazione/climatizzazione in azienda: tutela della salute dei lavoratori e contrasto alla diffusione del virus SARSCoV-2 (*Davide Roncagli, Luciano Maresca, Marco Romani – CETRA SRL*)
- 11,00 Uso dei DPI e impatto dello stress termico sulla salute e produttività dei lavoratori: il progetto WORKCLIMATE (*Michela Bonafede – INAIL*)
- 11,20 Il rischio da stress termico per gli operatori sanitari impegnati in attività anti-COVID all'aperto. (*Alessandro Merlino - CeSNIR srl*)
- 11,40 Criteri per la valutazione del rischio foto-tossico dei disinfettanti nel lavoro outdoor (*Lucia Miligi – ISPRO*)
- 12,00 Il rischio da ROA nell'utilizzo di lampade germicide per il contrasto alla diffusione del virus SARS-CoV-2: stato dell'arte e indirizzi del Coordinamento Interregionale (*Iole Pinto – ASL Toscana Sud Est*)
- 12,30 La sanificazione per mezzo della radiazione UV: esperienze consolidate, problemi di sicurezza e possibili sviluppi (*Francesco Frigerio - ICS Maugeri Spa; Massimo Borra, Andrea Militello, Angelo Tirabasso – INAIL*)

- 13,00 L'adeguamento degli standard di prodotto delle sorgenti di UV con funzione germicida quale necessario strumento per la valutazione del rischio (*Franco Rusnati – ASSIL*)
- 13,20 Esperienze di vigilanza nei luoghi di lavoro in periodo di emergenza epidemica (*Silvia Goldoni – AUSL Modena*).
- 13,40 Dibattito
- 14,00 Chiusura del Convegno

Indice generale

RELAZIONI

GLI IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO NELL'AMBITO DELLA PANDEMIA DA SARS COV-2

Davide Roncagli, Luciano Maresca, Marco Romani pag.1

IMPATTO DELLO STRESS TERMICO AMBIENTALE SULLA SALUTE E PRODUTTIVITÀ DEI LAVORATORI: IL PROGETTO WORKCLIMATE

Michela Bonafede, Simona Del Ferraro, Tiziana Falcone, Alessandro Marinaccio, Alessandro Messeri, Vincenzo Molinaro, Emma Pietrafesa, Marco Morabito & con il contributo del gruppo di lavoro WORKCLIMATE pag.37

IL RISCHIO DA STRESS TERMICO PER GLI OPERATORI SANITARI IMPEGNATI IN ATTIVITÀ ANTI-COVID ALL'APERTO

Alessandro Merlino, Gianluca Gambino, Daniele Meda, Gabriele Quadrio, Neva Pasqualini, Pasqualino D'Aloia, Gabriele Pellicciotta, Paolo Zani pag.55

CRITERI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO FOTO-TOSSICO DEI DISINFETTANTI NEL LAVORO OUTDOOR

Lucia Miligi, Maria Cristina Acciai, Roberta Pozzi, Lucia Bramanti, Alessandra Chiarugi, Carlo Grandi, Iole Pinto pag.73

IL RISCHIO DA ROA NELL'UTILIZZO DI LAMPADE GERMICIDE PER IL CONTRASTO ALLA DIFFUSIONE DEL VIRUS SARS- COV-2: STATO DELL'ARTE ED INDIRIZZI DEL COORDINAMENTO INTERREGIONALE

Iole Pinto, Andrea Bogi, Nicola Stacchini, Francesco Picciolo, Roberta Pozzi pag.81

LA SANIFICAZIONE PER MEZZO DELLA RADIAZIONE UV: ESPERIENZE CONSOLIDATE, PROBLEMI DI SICUREZZA E POSSIBILI SVILUPPI

Francesco Frigerio, Massimo Borra, Andrea Militello, Angelo Tirabasso pag.91

L'ADEGUAMENTO DEGLI STANDARD DI PRODOTTO DELLE
SORGENTI DI UV CON FUNZIONE GERMICIDA QUALE
NECESSARIO STRUMENTO PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Franco Rusnati

pag.111

ESPERIENZE DI VIGILANZA NEI LUOGHI DI LAVORO IN PERIODO
DI EMERGENZA EPIDEMICA

Silvia Goldoni

pag.119

RELAZIONI LIBERE

AFFIDABILITÀ DELLA METODICA DI RILEVAZIONE DELLA
TEMPERATURA MEDIANTE TERMOMETRI IR

**Maurizio Diano, Claudia Giliberti, Raffaele Mariconte, Renata Sisto,
Filippo Sanjust, Maria Patrizia Orlando**

pag.135

ANALISI SPERIMENTALE DI UN DISPOSITIVO DI PROTEZIONE
ACUSTICA AD ATTENUAZIONE CONTROLLATA

**Diego Annesi, Pietro Nataletti, Guido Alfaro Degan, Gianluca
Coltrinari, Andrea Ursillo**

pag.147

ISTANZA DI “NULLA OSTA” AI SENSI DEL D.LGS. 101/2020:
ANALISI PRELIMINARE DELLE NOVITÀ E DEI CAMBIAMENTI
RISPETTO AL D.LGS. 230/95 E S.M.I.

**Gian Marco Contessa, Francesco Campanella, Paolo Rossi, Abdul
Ghani Ahmad, Barbara Castrucci, Maria Antonietta D'Avanzo**

pag.163

GLI IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO NELL'AMBITO DELLA PANDEMIA DA SARS COV-2

Davide Roncagli (1), Luciano Maresca (1), Marco Romani (1)

(1) CETRA SRL

1 - INTRODUZIONE

Nel contesto normativo relativo ai sistemi di condizionamento (HVACS - Heating Ventilation Air Conditioning Systems) la qualità dell'aria rappresenta un parametro per il quale sta maturando una crescente attenzione. La stessa OMS apriva nell'Ottobre 2006 un gruppo di lavoro per lo sviluppo di linee guida in questa direzione.

Al contempo, la sempre maggiore attenzione per il risparmio energetico, ha condotto a scelte progettuali finalizzate all'aumento delle performance dell'involucro edilizio. I nuovi edifici, residenziali e non residenziali, di moderna concezione hanno di conseguenza ridotte dispersioni termiche e un basso rateo di trafilamento aria. Per garantire la salubrità degli ambienti, la ventilazione meccanica controllata è diventata essenziale.

A maggior ragione, nell'attuale contesto di emergenza sanitaria da SARS-CoV2, garantire un'elevata qualità dell'aria e un sufficiente tasso di ricambio orario è prerogativa essenziale ad una corretta strategia di contrasto alla diffusione del virus. Allo stato odierno delle conoscenze, il SARS-Cov2 ha tra le sue vie di trasmissione principali la via aerea. L'urgenza è legata specialmente alla qualità dell'aria nei luoghi di lavoro: garantire la normale prosecuzione delle attività produttive e commerciali è una prerogativa essenziale al mantenimento della spina dorsale del nostro sistema economico e sociale.

Partendo da queste premesse, sono state promosse dalle principali istituzioni ed organizzazioni di settore azioni di manutenzione sugli impianti esistenti, col fine di ridurre i rischi connessi alla conduzione degli

stessi. È tuttavia fondamentale, al tempo stesso, considerare i limiti costruttivi e funzionali degli impianti.

Per i nuovi impianti in fase di progettazione e realizzazione, è importante contestualizzare le normative nazionali ed internazionali nell'odierno contesto di emergenza sanitaria. La necessità è quella di ridurre i rischi associati alla trasmissione del virus SARS-Cov2, eseguendo scelte progettuali mirate. Alcuni accorgimenti relativi alle Unità di Trattamento Aria verranno illustrati in seguito.

Scopo di questo intervento è quello di evidenziare in una prima parte i riferimenti normativi e le tipologie di impianto. La prima parte serve così da introduzione alle principali criticità che si osservano nel mettere in pratica le azioni suggerite in risposta all'emergenza sanitaria, nello specifico contesto dei luoghi di lavoro.

2 - UNITÀ DI TRATTAMENTO ARIA

CETRA S.r.l. è una società del Gruppo Galletti che opera nel campo della progettazione e costruzione di Unità di Trattamento Aria (UTA) per il settore industriale, chimico-farmaceutico, ospedaliero, terziario ed alimentare.

Scopo di una Unità di Trattamento Aria è quello di filtrare e ricambiare l'aria ambiente, oltre che controllarne le normali caratteristiche termigrometriche. Una UTA può inoltre garantire le condizioni di sovrappressione o sottopressione di un locale.

Alla luce di ciò, è evidente che la UTA è una componente fondamentale di un impianto di condizionamento centralizzato.

Quando la UTA serve più ambienti distinti viene detta "multizona".

Quando la UTA serve un unico ambiente (ad esempio un ipermercato) viene detta "monozona".

In base alla configurazione, gli impianti di condizionamento centralizzato sono schematizzabili in

- sistemi a tutt'aria
- sistemi misti ad aria primaria.

Nei primi, la UTA assolve tutte le funzioni di condizionamento e ricambio d'aria ambiente.

Nei secondi, la UTA assolve la funzione di solo ricambio d'aria ambiente, in condizioni più o meno neutre per i locali. In questo caso, il riscaldamento e raffrescamento sono solitamente a carico di unità terminali (ventilconvettori o split/multi-split system) a tutto ricircolo.



Fig.1 – Unità di trattamento aria a servizio di reparti infialamento – Distretto Chimico-Farmaceutico Anagni (FR). La centrale ha lo scopo di mantenere stabili le condizioni termoigrometriche, di sovrappressione e purezza dell'aria ambiente. Foto: Cetra S.r.l.



Fig.2 – Unità di trattamento aria primaria a servizio di una RSA. Foto: Cetra S.r.l.

In figura 2 una UTA a servizio di una RSA: la macchina garantisce aria primaria negli ambienti comuni e nelle singole camere, in condizioni di temperatura ed umidità neutre. La portata d'aria viene controllata in funzione della concentrazione di CO₂ in ppm nei vari locali. In funzione

dell'affollamento, i diffusori modulano la portata d'aria richiesta, al fine di massimizzare il risparmio energetico.

In figura 3, è possibile osservare il tipico layout dell'impianto misto ad aria primaria a servizio di uno stabilimento produttivo. La UTA ha lo scopo di fornire aria esterna filtrata e condizionata ai vari locali. I terminali idronici posti in ambiente lavorano con aria di ricircolo, realizzando il raffrescamento e riscaldamento stagionale. Il fluido termovettore utilizzato da terminali e UTA è l'acqua, riscaldata e raffreddata da una pompa di calore geotermica di tipo polivalente, a recupero totale.

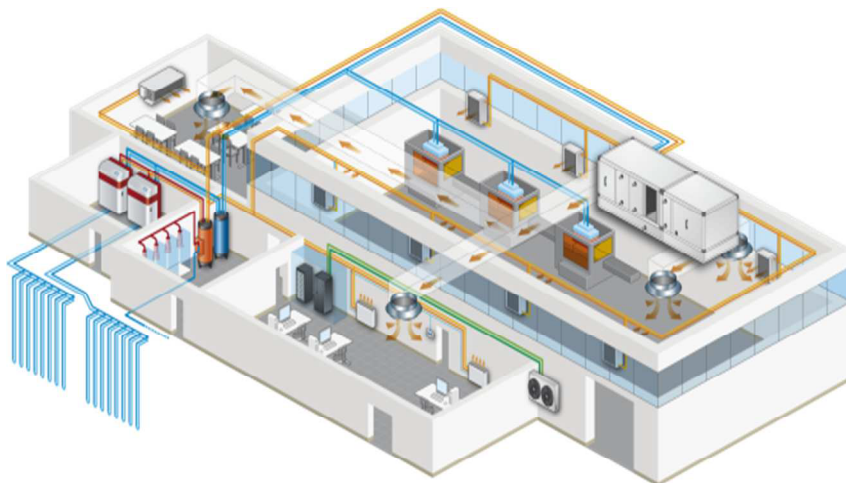


Fig.3 – Layout caratteristico di un impianto misto ad aria primaria a servizio di più zone. Fonte: Galletti Group

3 - VINCOLI PROGETTUALI

Esistono numerose linee guida nazionali ed internazionali che forniscono indicazioni sul dimensionamento e la conduzione delle UTA a servizio dei luoghi di lavoro: si vedano ad esempio le norme ISO, ASHRAE e le indicazioni da parte di CTI, AiCARR, INAIL, nonché decreti legge nazionali che impongono scelte ed azioni nel campo del trattamento dell'aria. Un elenco parziale è presente nel testo “*Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro. Requisiti e standard. Indicazioni operative e progettuali.* - AA.VV. - 01 Giugno 2006”.

Nel contesto specifico dei luoghi di lavoro, si fa riferimento a normative di ambito “non residenziale”. Dal punto di vista normativo, nel contesto di gestione del microclima nei luoghi di lavoro, si possono distinguere due macro aree:

- Impianti per applicazioni comfort
- Impianti per applicazioni speciali

Nel primo rientrano tutti gli impianti a servizio di uffici, ristoranti, mense, palestre, ecc., dove i parametri utilizzati nel dimensionamento sono principalmente legati al comfort termoigrometrico. Nel secondo rientrano gli impianti per ambienti industriali, camere bianche, sale operatorie, dove i parametri utilizzati nel dimensionamento hanno come primaria importanza quella di soddisfare la qualità del processo (ad esempio un processo industriale, una sala di lavorazione alimentare, un intervento chirurgico). Per applicazioni comfort, la normativa di riferimento è la UNI-EN-ISO 16798. La normativa detta i dati minimi di progetto per temperatura, umidità, ricambi orari e velocità dell'aria.

Come si anticipava nelle premesse, grande attenzione viene riposta alla qualità dell'aria nei locali. In presenza di ricambio d'aria esterna, tanto più la qualità dell'aria esterna è gravosa (ODA 3), tanto più è necessario innalzare il grado di filtrazione. La normativa indica ad esempio che l'aria di mandata debba essere filtrata almeno con filtri F7 (EN 779:2012). Questi filtri riescono normalmente a trattenere il 50% del particolato sottile PM₁ presente nell'aria, garantendo una immissione SUP 2 in ODA 3 (Figura 4).

Qualità dell'aria esterna	Classe di filtrazione in funzione della qualità dell'aria di mandata voluta				
	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA 1	M5+F7	F7	F7	F7	-
ODA 2	F7+F7	M5+F7	F7	F7	M5
ODA 3	F7+F9	F7+F7	M6+F7	F7	F7

Fig.4 – Efficienza di filtrazione minima di una UTA secondo EN 779 (sostituita da ISO 16890 nel Luglio 2018) in funzione della qualità dell'aria esterna e della purezza dell'aria di immissione voluta – UNI-EN-ISO 16798-3.

Oltre alla qualità dell'aria primaria immessa nei locali, la normativa indica i requisiti minimi per garantire il comfort termoigrometrico. Tre diversi livelli di comfort possono essere scelti in funzione della percentuali di insoddisfatti. Normalmente, criteri più stringenti o adattati a situazioni specifiche vengono valutati caso per caso in sede di progettazione.

classi di comfort ambientale	Correnti d'aria			Gradiente verticale di temperatura (testa-caviglie)		Livelli di temperatura del pavimento		Asimmetria di temperatura radiante				
	Rateo [%]	Velocità massima dell'aria [m/s] ¹		PD [%]	Differenza di temp. [K] ²	PD [%]	Tempe. del pavimento [°C]	PD [%]	Soffitto caldo [K]	Muro freddo [K]	Soffitto freddo [K]	Muro caldo [K]
		Inverno	Estate ³									
Cat. I	10	0,10	0,12	3	2	5	19 – 29	5	<5	<10	<14	<23
Cat. II	20	0,16	0,19	5	3	5	19 – 29	5	<5	<10	<14	<23
Cat. III	30	0,21	0,24	10	4	10	17 - 31	10	<7	<13	<18	<35
Si assume un livello di attività di 1,2 MET, un intensità di turbolenza del 40% e una temperatura operativa di 20°C in inverno e 23°C in estate												
Differenza tra 1,1 metri e 0,1 metri al di sopra del pavimento												
Quando la temperatura dell'aria ambiente supera i 25°C velocità dell'aria sono consentite e spesso consigliate, ma solo quando gli occupanti possano avere pieno controllo sulla velocità dell'aria												

Fig.5 – Criteri generali per la definizione delle classi di comfort ambientale (I, II, III): velocità dell'aria, temperatura media radiante, gradiente termico verticale – UNI EN ISO 16798-1.

Per applicazioni comfort, alla base di ogni valutazione ci sono i modelli di Fanger raccolti nella norma UNI-EN 7730. In base alla qualità dell'aria voluta, si fissano le condizioni termoigrometriche degli ambienti come dato di progetto, al fine di ottimizzare la PPD (percentuale prevista insoddisfatti). Parallelamente, in base al tipo di attività svolte in ambiente, si impongono i ricambi minimi di aria (su base legislativa e sanitaria).

Per ciò che riguarda le applicazioni speciali, si accenna al riferimento normativo per camere bianche – la UNI EN ISO 14644-1:2016, mentre per il blocco operatorio è in vigore la UNI 11425:2011. Queste sono due applicazioni per il quale il mantenimento delle condizioni termoigrometriche, la velocità dell'aria in ambiente e la sicurezza rappresentano un vincolo prioritario rispetto al comfort termoigrometrico. Particolare attenzione in queste applicazioni viene data alla classe di filtrazione dell'aria.

Le sale operatorie hanno normalmente uno standard di filtrazione elevato, superiore o uguale al filtro semi-assoluto (Figura 7).

Negli ambienti denominati camere bianche, la classe di filtrazione e la portata d'aria sono funzionali al mantenimento della massima quantità di particelle in sospensione e al mantenimento di condizioni di sovrappressione dei locali. Fondamentale è evitare il deposito di polveri sulle superfici o la contaminazione di prodotti alimentari e farmaceutici (sale di confezionamento).



Fig.6 - UTA al servizio di una camera bianca robotizzata (2 operatori massimo) per la lavorazione di componenti elettronici – Provincia di Treviso.

AMBIENTI		TEMPERATURA		UMIDITÀ RELATIVA	
		inverno	Estate	inverno	Estate
Preparazione personale	≥22	≥20	≥24	≥40	≥60
Preparazione e operandi	≥26				
Depositi sterili		≥20	≥24	≥40	≥60
Sale operatorie a qualità dell'aria					
Sale operatorie a elevata qualità dell'aria		≥20	≥24	≥40	≥60
Sale operatorie a elevatissima qualità dell'aria					
5	10	20	15	20	20
6	6	6	15	15	15
NO	NO	NO	SI	SI	SI
-	-	ISO 8	ISO 8	ISO 7	ISO 5
F9/E10	F9/E10	E12	E12	H13	H13/H14
40	40	40	45	45	45
				livello di pressione sonora [dba]	

Depositi sporchi	Depositi puliti	Corridoio sporco	Sub sterilizzazione	Spazi filtro personale	Spazi filtro operandi	Corridoio pulito sterile	Risveglio operati
	≥18						
	≥6						
	≥40						
	≥60						
5	10	0	5	10	5	10	10
4	4	4 o 6	6	4	4	4	6
NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
-	-	-	-	-	-	-	-
F9	F9/E10	F9	F9/E10	F9/E10	F9/E10	F9/E10	F9/E10
.	.	.	40	40	40	40	40

Fig.7 - Indicazione dei parametri ambientali all'interno del blocco operatorio – Prospetto B2 - tratto da informativa AiCARR UNI 11425-2011.

In ambiente industriale la scelta del sistema di condizionamento è legata principalmente alle esigenze del processo produttivo, come ad esempio la rimozione di gas e polveri, o il raffreddamento di derrate alimentari o conservazione di deperibili. Ogni caso specifico diventa quindi un problema ingegneristico a sé stante, da valutare caso per caso. Un riferimento normativo in questo ambito rimane comunque la UNI 8852:1987.



Fig.8 – UTA a servizio di camere di fermentazione tabacco. L'elevata produzione di ammoniaca da parte del processo impone vincoli costruttivi, limitando l'efficienza energetica delle unità di trattamento aria. Il processo industriale fa da padrone.

4 - VINCOLI PROGETTUALI – ECODESIGN

In seguito alla emanazione della direttiva 2005/32/CE “*ecodesign*”, anche le unità di trattamento aria devono sottostare agli obblighi della progettazione ecocompatibile, che ne rivoluziona gli aspetti costruttivi: l'efficienza energetica non fa più parte di una scelta progettuale, ma diventa un obbligo di legge che ne vincola la marcatura CE. Si aggiunge cioè un vincolo progettuale: il budget, le dimensioni e la qualità dell'aria ambiente,

ma anche l'efficienza di recupero energetico, l'efficienza minima dei ventilatori, l'assorbimento specifico massimo.

Dal 1° Gennaio 2018
Tutte le unità di ventilazione, tranne le unità a doppio uso, devono essere dotate di azionamento a velocità multiple o variatore di velocità. Tutte le UVB (unità di ventilazione bidirezionali) devono essere dotate di un HRS (sistema di recupero calore). L'HRS deve essere dotato di un dispositivo di bypass termico,
L'efficienza termica minima η_{t_nrvu} di tutti gli HRS, tranne gli HRS a fluido termovettore nelle UVB, deve essere pari al 73 % e il bonus di efficienza $E = (\eta_{t_nrvu} - 0,73) * 3\,000$ se l'efficienza termica η_{t_nrvu} è almeno del 73 %, altrimenti $E = 0$
L'efficienza termica minima η_{t_nrvu} degli HRS a fluido termovettore nelle UVB deve essere pari al 68 % e il bonus di efficienza $E = (\eta_{t_nrvu} - 0,68) * 3\,000$ se l'efficienza termica η_{t_nrvu} è almeno del 68 %, altrimenti $E = 0$
L'efficienza minima del ventilatore per le UVU (η_{vu}) è 6,2 % * $\ln(P) + 42,0$ % se $P \leq 30$ kW 63,1 % se $P > 30$ kW,
la potenza massima interna specifica di ventilazione dei componenti della ventilazione (SFP_{int_limit}) in W/(m ³ /s) è per una UVB con HRS a fluido termovettore 1 600 + E – 300 * $q_{nom}/2$ – F se $q_{nom} < 2$ m ³ /s 1 300 + E – F se $q_{nom} \geq 2$ m ³ /s per una UVB con HRS di altro tipo 1 100 + E – 300 * $q_{nom}/2$ – F se $q_{nom} < 2$ m ³ /s 800 + E – F se $q_{nom} \geq 2$ m ³ /s, 230 per una UVU (unità di ventilazione unidirezionale) destinata all'impiego con un filtro, Se la configurazione del prodotto comprende un'unità filtro, il prodotto deve essere dotato di segnale visivo o di allarme nel sistema di controllo che si attiva se la caduta di pressione sul filtro supera la caduta di pressione finale massima ammissibile

Tabella 1 - Specifiche di ecodesign per UTA in campo non residenziale (NRVU). I limiti di efficienza energetica portano con sé dei vincoli progettuali in termini dimensionali, costruttivi e di scelta dei componenti. Per maggiori approfondimenti sulla nomenclatura e la metodologia di calcolo, si rimanda al testo della direttiva liberamente consultabile al sito EUR-Lex.eu

I vincoli imposti in termini di recupero energetico e SFP (Specific Fan Power), richiede l'adozione di centrali di trattamento aria sempre più ingombranti. La necessità è quella di ridurre la velocità di attraversamento interna e limitare il consumo energetico dei ventilatori. I vincoli della direttiva 1253:2014 sono molto stringenti e alla frontiera del limite tecnologico odierno in termini di costruzione e messa in opera delle UTA. Nella realtà dei fatti la progettazione e costruzione di UTA è legata a limiti dimensionali, dovuti a spazi di installazione ristretti, a vincoli di budget e ammodernamento (come verrà esposto nel seguito).

5 - TIPOLOGIE DI IMPIANTO DI AERAZIONE / CONDIZIONAMENTO

Come accennato in precedenza gli impianti di aerazione/condizionamento si dividono in due categorie principali:

- Impianti **a tutt'aria**.
- Impianti **misti aria/acqua** (ad aria primaria).

Inoltre a seconda del numero di zone servite, questi impianti si possono suddividere a loro volta in:

- Impianti **monozona**
- Impianti **multizona**.

Gli impianti a tutt'aria sono preposti al controllo della qualità dell'aria ambiente e delle condizioni di comfort termo-igrometrico.

In genere elaborano volumi d'aria superiori rispetto agli impianti ad aria primaria e spesso lavorano con una percentuale di aria ricircolata dall'ambiente che servono.

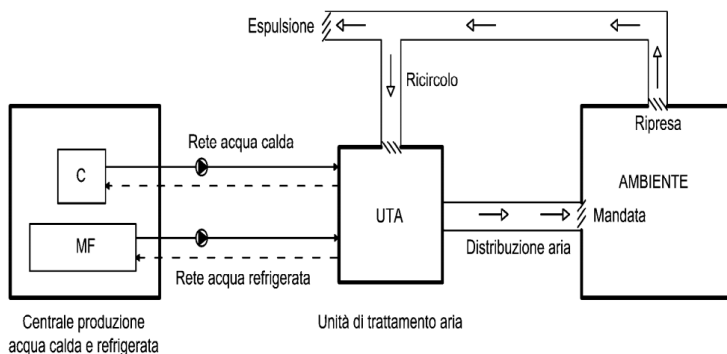


Fig.9 - Schema di impianto a tutt'aria.

Di seguito sono riportati il layout e le dimensioni di una UTA a tutt'aria con ricircolo, dimensionata per 20000 m³/h di portata e con una percentuale di aria esterna da trattare pari al 30 % della portata totale (6000 m³/h).

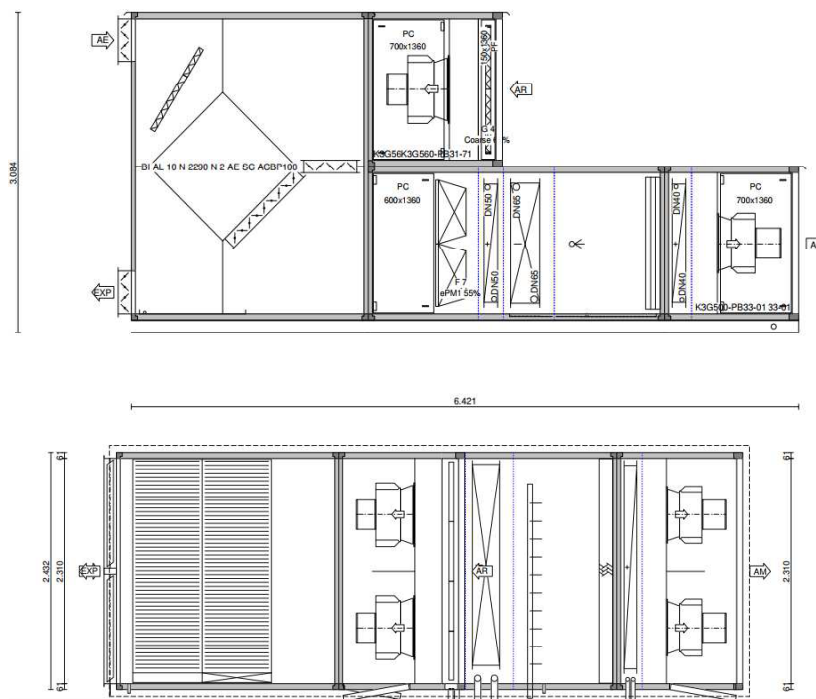


Fig.10 - Layout di UTA a tutt'aria con ricircolo.

Negli impianti misti aria/acqua invece si lascia che la qualità e il ricambio d'aria siano gestiti da una UTA mentre le condizioni termo-igrometriche siano controllate mediante terminali idronici posti direttamente in ambiente: ventilconvettori o pannelli radianti, piuttosto che sistemi ad espansione diretta VRF (Variable Refrigerant Flow) o multi-split.

La UTA a servizio di questi impianti, trattando la sola aria di rinnovo, elabora volumi d'aria inferiori rispetto ad una UTA a tutt'aria a servizio dello stesso ambiente, risultando quindi più piccola e compatta.

Nella UTA ad aria primaria, l'utilizzo del ricircolo può essere introdotto col fine di gestire fasi di preriscaldamento e preraffreddamento, oppure laddove sia presente un controllo di qualità dell'aria ambiente che permetta di modulare istante per istante la percentuale di aria esterna, agendo sulle serrande di presa aria esterna, espulsione e ricircolo.

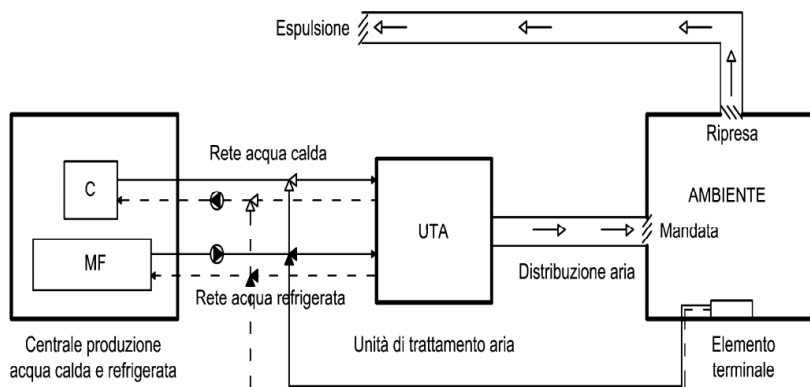


Fig.11 - Schema di impianto ad aria primaria.

A titolo di esempio, si riporta sotto il layout e le dimensioni di una UTA ad aria primaria dimensionata per elaborare $6000 \text{ m}^3/\text{h}$ di aria esterna e che non presenta la serranda di ricircolo. Si osserva la differenza in termini dimensionali rispetto al caso di UTA a tutt'aria con la stessa portata di aria esterna.

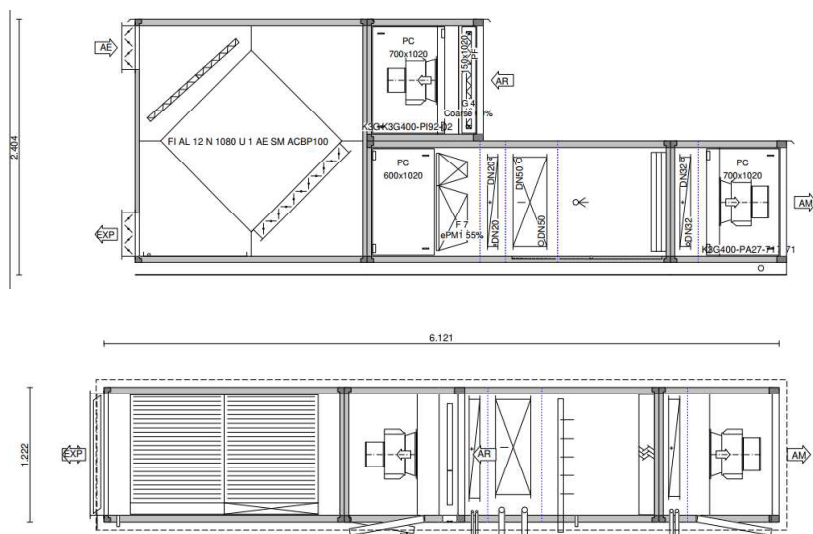


Fig.12 - Layout di UTA ad aria primaria.

Dai disegni riportati si evidenzia che, a meno della serranda di ricircolo, i componenti delle due tipologie di UTA rimangono gli stessi. A cambiare sono le dimensioni, in particolare la UTA a tutt'aria risulta avere una larghezza doppia rispetto a quella ad aria primaria.

Nel caso di UTA a tutt'aria è infatti necessario elaborare grandi volumi d'aria, in modo tale da riuscire a condizionare l'ambiente servito oltre che assicurarne il corretto ricambio d'aria.

6 - LA GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO NEL CONTESTO DEL COVID-19

Nella prima fase di emergenza sanitaria da SARS-Cov2, sono state rilasciate dalle associazioni di settore le linee guida per la conduzione e la manutenzione degli impianti di climatizzazione. Come contestualizzato in precedenza, questi ultimi sono stati progettati e rispondono a direttive di respiro internazionale: in termini di prestazioni energetiche, qualità dell'aria, classe di filtrazione, componenti.

La conformazione di una UTA, insieme alla configurazione di impianto in cui questa viene inserita, implica una serie di criticità tecniche, che assumono una certa rilevanza se analizzate in funzione dell'attuale pandemia.

I principali rischi associati alla conduzione degli impianti di condizionamento sono:

- insufficiente ricambio di aria esterna in funzione dell'affollamento;
- possibili fenomeni di trasporto di bio-aerosol da un locale ad un altro;
- trasporto di bio-aerosol e droplet infetto, via fenomeni di trasporto di massa interno ai locali.

Se un'importante sorgente di rischio di trasmissione degli agenti patogeni è rappresentata dalle turbolenze e flussi d'aria all'interno degli ambienti, un altro fattore di rischio viene dal ricircolo dell'aria ambiente negli impianti a tutt'aria.

In ambito impiantistico, ricircolare l'aria attraverso gli elementi di scambio termico permette di ridurre i consumi di energia, in contrapposizione all'utilizzo di sola aria esterna. Questo perché, essendo l'aria ambiente già nelle condizioni prossime a quelle di comfort, richiede un trattamento energeticamente meno dispendioso per essere portata alle condizioni di immissione di progetto.

L'aria esterna può invece, in funzione della stagione, essere in condizioni termigrometriche molto distanti dal set-point/immissione.

D'altra parte, l'adozione del ricircolo implica l'utilizzo di aria la cui qualità è compromessa dalle attività svolte negli ambienti, e a seconda dei casi analizzati questo aspetto può risultare più o meno rilevante.

Specie negli impianti multizona, l'utilizzo del ricircolo presenta il rischio di *cross contamination*, ossia il trasferimento di aria prelevata da aree contaminate verso aree non contaminate.

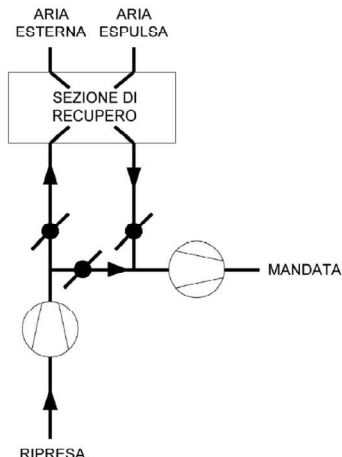
Si intuisce come nell'odierno contesto pandemico in cui le strategie di contrasto alla trasmissione del virus SARS-COV2 passano dal confinamento delle zone infette e dal mantenimento di elevati standard di qualità dell'aria, l'utilizzo del ricircolo di aria ambiente debba essere limitato al massimo.

A questo proposito sono stati rilasciati diversi documenti e linee guide sulla gestione e la conduzione degli impianti di condizionamento esistenti.

AiCARR già dalle prime fasi della pandemia si è prontamente espressa attraverso il *"Protocollo per la riduzione del rischio da diffusione del SARS-CoV2-19 mediante gli impianti di climatizzazione e ventilazione esistenti"*. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con alcuni degli interventi suggeriti.

INTERVENTI SUGGERITI	Richiede interventi sul sistema di controllo	Richiedono azioni del personale di manutenzione	Richiedono o possono richiedere modifiche impiantistiche
Aumento della portata d'aria (di rinnovo <i>ndr.</i>)	x	x	x
Forzatura delle serrande in sola aria esterna	x	x	
Disattivazione o by- pass del recuperatore di calore	x	x	
Mantenimento del setpoint di umidità relativa al di sopra del 40%	x		
Funzionamento h24 dell'immissione di aria esterna	x		

Tabella 2 - Principali interventi suggeriti da AiCARR nelle linee guide rilasciate il 18 Marzo 2020, in piena emergenza sanitaria. Gli interventi riguardano principalmente la gestione delle UTA.

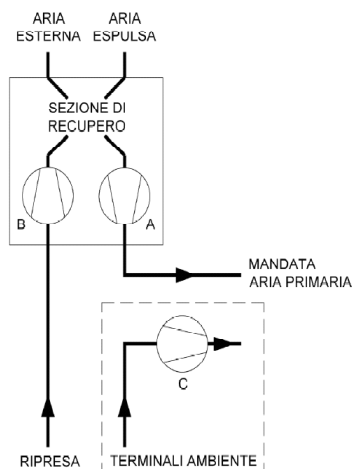


IMPIANTI A TUTTA ARIA CON RICIRCOLO CENTRALIZZATO (SCHEMA N.1)

E' il caso tipico di molti grandi impianti a tutta aria con ricircolo. Il ventilatore di ripresa è posto a monte del collegamento al ricircolo. Si possono avere due configurazioni:

1) *Impianti progettati tenendo conto di un possibile funzionamento in modalità free-cooling*: il dimensionamento dei canali di espulsione e di ripresa è realizzato sulla massima portata d'aria dell'impianto. Le serrande sono sempre coniugate e motorizzate.

2) *Impianti progettati senza il funzionamento in modalità free-cooling*: il dimensionamento dei canali di aria esterna e di ripresa è realizzato sulla sola frazione di portata di aria esterna. Negli impianti più vecchi le serrande sono di taratura manuali e non coniugate tra loro. Negli impianti più recenti le serrande possono essere motorizzate e coniugate, per permettere la variazione di immissione di aria esterna in funzione del numero di persone presenti, ma hanno un blocco manuale per impedire la chiusura completa del by-pass di ricircolo. Tale blocco va rimosso, per eseguire quanto suggerito nell'intervento n. 2.



IMPIANTI AD ARIA PRIMARIA CON TERMINALI AMBIENTE O DI ZONA (SCHEMA N.2)

E' il tipico caso dei sistemi con VMC di nuova concezione costruiti secondo quanto prescritto da ERP 2016 o ERP 2018.

La portata d'aria esterna dipende solo dai due ventilatori presenti nell'unità di recupero del calore, A e B nello schema. Il terzo ventilatore, C, serve solamente per il funzionamento dell'impianto e non entra in gioco nell'aumento della portata d'aria esterna.

www.aicarr.org

Fig.13 - Principali interventi suggeriti da AiCARR nelle linee guida rilasciate il 18 Marzo 2020, in piena emergenza sanitaria. Gli interventi riguardano principalmente la gestione delle UTA.

Oltre ad AiCARR, le istituzioni stesse hanno prodotto documenti in cui vengono riportati accorgimenti utili ad una gestione degli impianti mirata alla riduzione del rischio di contagio.

Lo stesso Istituto Superiore di Sanità all'interno del **Rapporto ISS COVID-19 • n. 5/2020 Rev. 2** del 25 Maggio 2020 con riferimento agli **ambienti lavorativi** riporta le seguenti indicazioni:

*Negli edifici dotati di specifici impianti di ventilazione (Unità di Trattamento d'Aria-UTA, o Unità di Ventilazione Meccanica Controllata-VMC), correttamente progettati, che movimentano aria esterna outdoor attraverso motori/ventilatori e la distribuiscono attraverso condotti e griglie/diffusori posizionati a soffitto, sulle pareti o a pavimento e consentono il ricambio dell'aria di un edificio con l'esterno, questi impianti **laddove i carichi termici lo consentano**, devono mantenere attivi l'ingresso e l'estrazione dell'aria 24 ore su 24, 7 giorni su 7 (possibilmente con un decremento dei tassi di ventilazione nelle ore notturne di non utilizzo dell'edificio o attraverso la rimodulazione degli orari di accensione/spengimento, es. due ore prima dell'apertura o ingresso dei lavoratori e proseguire per altre due ore dopo la chiusura/non utilizzo dell'edificio). **Il consiglio è di proseguire in questa fase, mantenendo lo stesso livello di protezione, eliminando, ove è possibile, la funzione di ricircolo dell'aria** per evitare l'eventuale trasporto di agenti patogeni nell'aria (batteri, virus, ecc.). In questa fase è più importante, cercare di garantire la riduzione della contaminazione dal virus SARS-CoV-2 e proteggere i lavoratori, i clienti, i visitatori e i fruitori, piuttosto che garantire il comfort termico. **È ormai noto che moltissimi impianti sono stati progettati con il ricorso ad una quota di ricircolo dell'aria (misura esclusivamente legata alla riduzione dei consumi energetici dell'impianto); in tale contesto emergenziale è chiaramente necessario aumentare in modo controllato l'aria primaria in tutte le condizioni. Si consiglia, dove non è possibile disattivare tale quota di ricircolo a causa delle limitate specifiche di funzionamento legate alla progettazione, di far funzionare l'impianto adattando e rimodulando correttamente la quantità di aria primaria necessaria a tali scopi e riducendo la quota di aria di ricircolo.***

Può essere quindi interessante valutare in maniera quantitativa quelle che sono le conseguenze della chiusura della serranda di ricircolo in un impianto a tutt'aria esistente inizialmente progettato per lavorare con una certa frazione di aria esterna.

Consideriamo la UTA di fig. 10: è dimensionata per elaborare una portata nominale di 20000 m³/h con una percentuale fissa di aria di rinnovo pari al 30 % della portata totale.

Si riportano di seguito alcuni grafici comparativi che rappresentano alcune delle grandezze caratteristiche dell'UTA considerando due condizioni di funzionamento:

- Condizioni di progetto = ricircolo APERTO, 30 % di aria esterna
- Condizioni di pandemia = ricircolo CHIUSO, 100 % di aria esterna.

Il recuperatore, progettato per elaborare una portata nominale di 6000 m³/h, si trova a dover elaborare la portata nominale della UTA. Questo implica un inevitabile aumento delle perdite di carico di attraversamento con conseguente rischio di rottura dello stesso (figura 14).

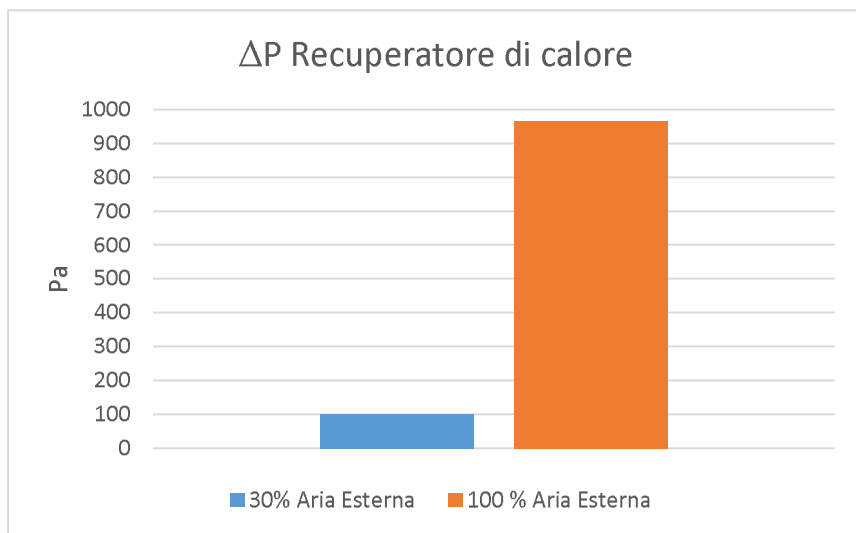


Fig.14 - Perdite di carico sul recuperatore a piastre

L'aumento delle perdite di carico attraverso il recuperatore si riflette in un aumento considerevole della potenza assorbita dalle sezioni di ventilazione di ripresa e di mandata.

I ventilatori rappresentano spesso il contributo maggiore di potenza elettrica assorbita da una centrale di trattamento aria (Figura 15).

Nel momento in cui si chiude il ricircolo l'aria in ingresso alla batteria fredda risulterà più calda e umida.

Condizioni di progetto: $T = 25.8\text{ }^{\circ}\text{C}$; $UR = 59\%$;

Condizioni di pandemia: $T = 28.0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $UR = 75\%$;

A parità di geometria della batteria utilizzata e tenendo costante a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ la temperatura di immissione dell'acqua in batteria e a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ il ΔT dell'acqua si ha che la potenza scambiata dalla batteria fredda varia come indicato in figura 16.

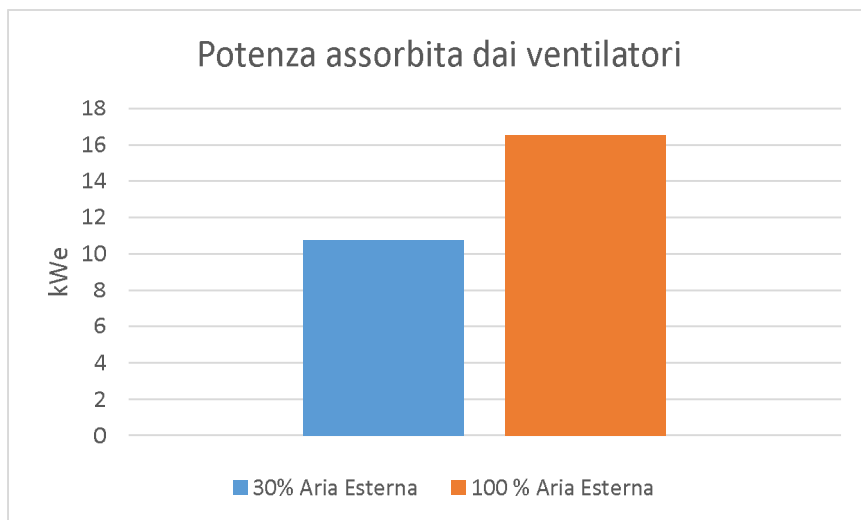


Fig.15 - Potenza elettrica assorbita dai ventilatori

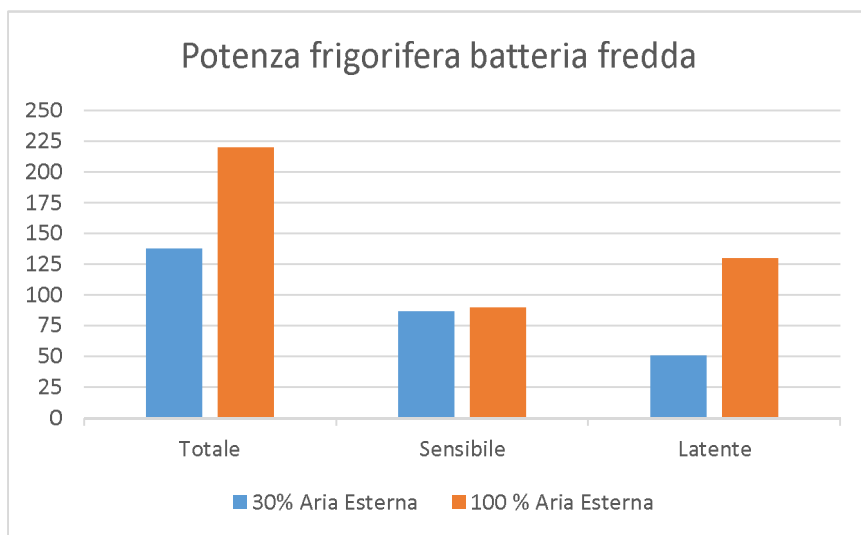


Fig.16 - Potenza frigorifera batteria fredda

Come si evince dal grafico di figura 16 lavorando con il 100 % di aria esterna la batteria scambia una potenza notevolmente superiore al caso di progetto. In particolare l'aumento di potenza è da associare al calore latente che è necessario sottrarre all'aria calda e umida in ingresso. Nel caso in cui questa potenza aggiuntiva non sia disponibile alla sorgente fredda, la UTA non sarà in grado di deumidificare sufficientemente l'aria. Ciò si riflette

sull'ambiente condizionato nel quale non verranno mantenute le condizioni di comfort termo-igrometrico.

Una UTA inizialmente progettata per lavorare a tutt'aria esterna presuppone dimensioni del recuperatore a piastre ben più grandi che oltre a scontrarsi spesso con esigenze di ingombro si riflettono chiaramente su un aumento dei costi di acquisto della centrale.

In figura 17 si riporta il disegno di una UTA a tutt'aria esterna in grado di elaborare 20000 m³/h.

Nello specifico caso la centrale a tutt'aria esterna presenta un costo del 30 % superiore rispetto alla centrale con ricircolo.

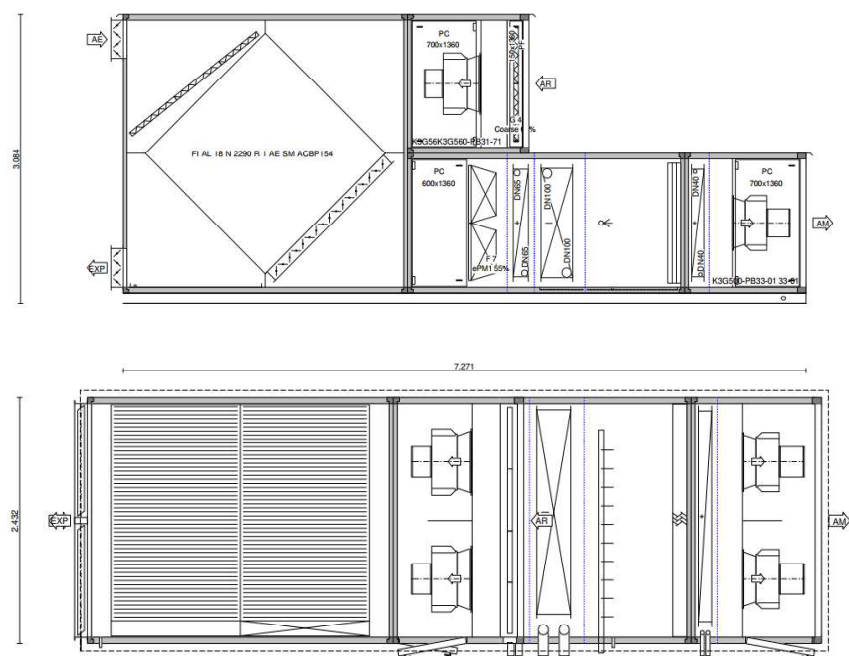


Fig. 17 - Layout di UTA a tutt'aria esterna senza ricircolo.

7 - RISCHIO DI CONTAMINAZIONE E SOLUZIONI ADOTTATE: IL CASO DEI RECUPERATORI DI CALORE

Come illustrato in precedenza, la necessità di sostituire l'aria ambiente passa dall'immissione di aria esterna e l'estrazione di quota parte (o la totalità) dell'aria dei locali.

L'aria espulsa porta con sé calore e inquinanti. Il primo deve essere recuperato evitando che i secondi vengano trasportati nuovamente in ambiente. L'uso razionale dell'energia negli impianti di condizionamento è

stato assunto a forma di legge già nel 1991, ma i recenti sviluppi in ambito di ecodesign impongono limiti di efficienza energetica superiori al 73% per le centrali di trattamento aria.

I sistemi attualmente più utilizzati per raggiungere questi livelli di efficienza sono:

- scambiatori di calore a piastre, a flussi incrociati o controcorrente
- scambiatori di calore rotativi, del tipo in alluminio o igroscopici
- scambiatori di calore a batterie gemelle (run-around-coil)
- sistemi di recupero termodinamico in pompa di calore.

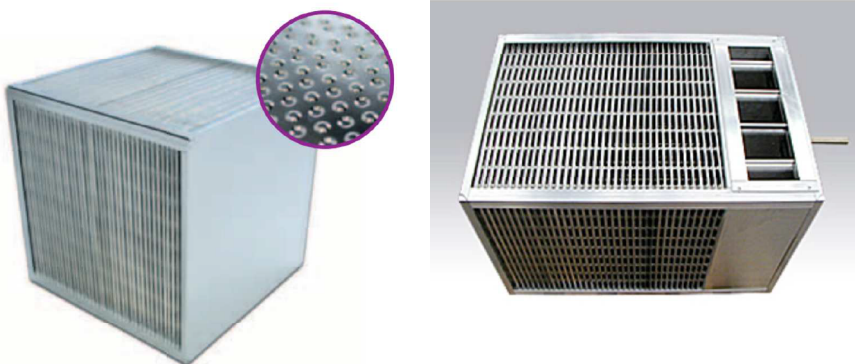
Gli ultimi due, sebbene garantiscano in totale sicurezza la non miscibilità dei fluidi di estrazione e mandata, non garantiscono in maniera continuativa adeguati livelli di recupero energetico, se non in presenza di elevate differenze di temperatura tra ambiente esterno ed interno.

Analizziamo nello specifico i primi due.

Scambiatori di calore a piastre.

Questi sistemi permettono di recuperare fino al 90% dell'energia contenuta nell'aria di espulsione, senza far entrare in contatto i due flussi.

In casi particolari, può verificarsi, nell'intelaiatura di sostegno dello scambiatore, un minimo flusso di by-pass. Questo flusso è favorito ogni qualvolta l'aria in espulsione si trovi ad una pressione maggiore rispetto all'aria di mandata. Per ragioni costruttive questa è la situazione che si riscontra maggiormente nelle UTA a tutt'aria.



Figg.18 e 19 - Scambiatore di calore a piastre – lamelle di alluminio turbolenziate e sigillate alle estremità garantiscono elevata separazione dei flussi d'aria. Nella fotografia di destra si può osservare il canale di by-pass del recuperatore, funzionale in modalità di raffrescamento gratuito: in determinate condizioni termoigrometriche, il recupero di calore non solo non è efficace, ma addirittura svantaggioso energeticamente ai fini del condizionamento.

Scambiatori di calore rotativi

Questi sistemi permettono di recuperare fino all'85% dell'energia termica. In particolari condizioni termoigrometriche e con opportuni accorgimenti tecnici, possono inoltre garantire lo scambio di umidità.

Quanto più la pressione dell'aria di mandata a cavallo del recuperatore è minore rispetto alla pressione dell'aria di espulsione a cavallo dello stesso, tanto più è probabile che si verifichi trasporto di contaminanti tra i flussi.

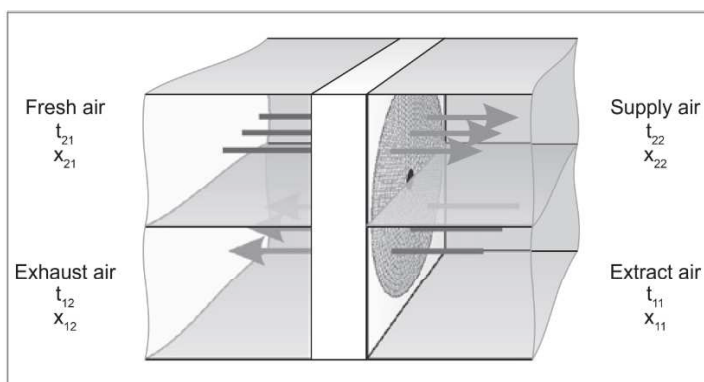


Fig.20 - Layout caratteristico di un recuperatore di calore (da Hoval).

Il principio di funzionamento di questo sistema si basa sul passaggio dell'aria attraverso minuscole fessure che compongono il rotore, all'interno del quale avviene lo scambio termico tra il metallo e l'aria. Ruotando, il metallo trasporta l'energia (e l'umidità) tra il flusso di espulsione e quello di mandata. Per coadiuvare il trasporto di umidità, il metallo è spesso trattato con materiali assorbenti (silica gel ad esempio).

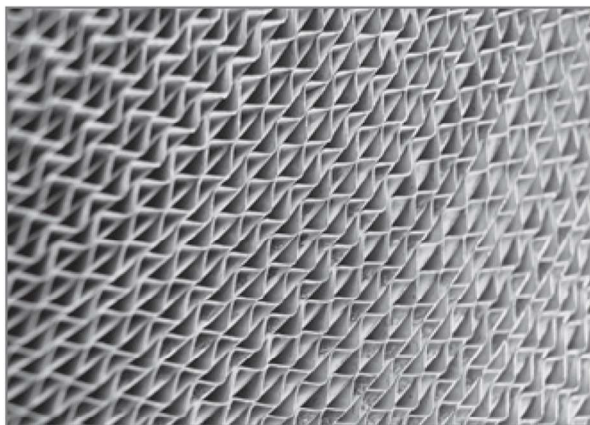


Fig.21 - Recuperatore di calore (da Hoval)

Parallelamente ai riconosciuti vantaggi in termini di efficienza energetica e ingombro, questi sistemi portano con se alcune possibili criticità:

- la presenza di materiali igroscopici in alcune tipologie di rotori, può favorire il trasporto di inquinanti tra un flusso e l'altro.
- il continuo passaggio del rotore tra la sezione di mandata e ripresa può dare vita al fenomeno del carry-over (passaggio di aria tra espulsione e mandata)
- espulsione e mandata aria non sono sigillate: il rotore si muove a contatto con delle spazzole di tessuto.

Queste criticità possono essere superate adottando alcune precauzioni:

- preferire ai trattamenti igroscopici standard le soluzioni di tipo molecolare, in cui solo le molecole di H_2O vengono trasportate tra un flusso e l'altro
- la corretta disposizione dei ventilatori di espulsione e mandata garantisce valori di contropressione negativa tra mandata e ripresa. Associando questa disposizione al settore di pulizia (purge sector) di cui sono dotati questi scambiatori, è possibile ridurre drasticamente (e annullare, oltre un certo valore di contropressione) il fenomeno del carry-over.

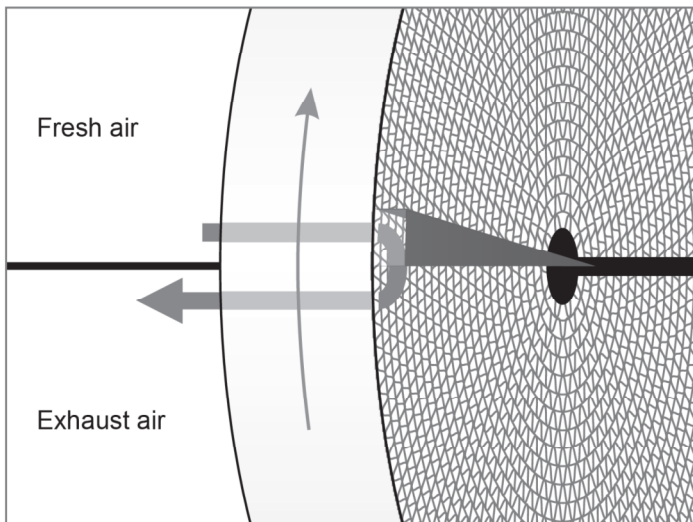


Fig.22 - Settore di pulizia in un recuperatore rotativo – una barriera metallica permette di ripulire con aria esterna il settore della ruota prossimo al passaggio tra mandata ed espulsione (da Hoval)

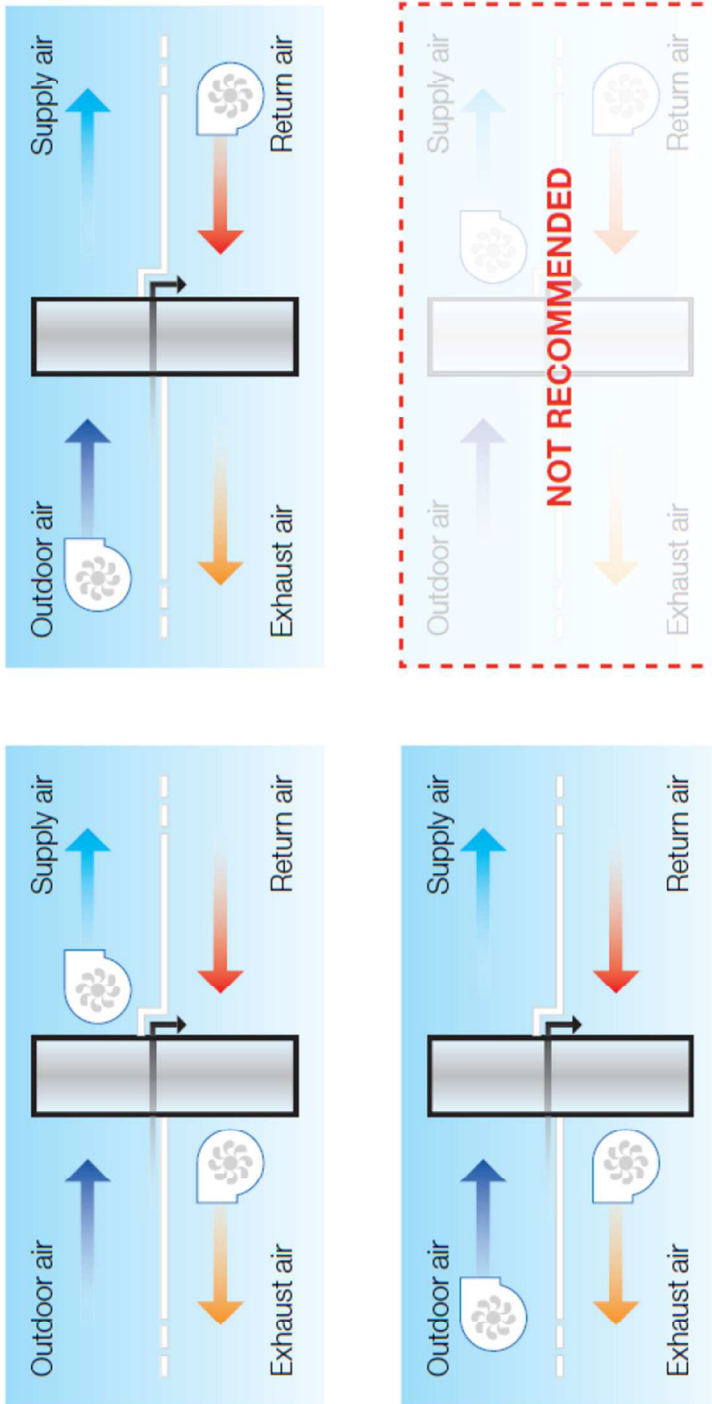


Fig.23 - Disposizione dei ventilatori di mandata ed espulsione a cavallo del recuperatore rotativo. La contropressione negativa dell'espulsione rispetto alla mandata garantisce di per se l'assenza di trafilamento. Laggiunta del purge sector permette di eliminare il fenomeno del carry-over (da RECUPERATOR S.p.a.)

Più in generale, nelle UTA a sola aria primaria è possibile ricorrere a layout in cui l'aria di mandata realizza una sovrappressione positiva rispetto all'aria di espulsione. Questa situazione assicura la totale non miscelazione dei due flussi d'aria. Bisogna prestare comunque attenzione nel garantire che la pressione differenziale a cavallo del recuperatore non superi i limiti imposti dal costruttore (normalmente 2000 Pa). In applicazioni in cui sono presenti filtri ad alta efficienza e canali di elevata estensione, è facile che questo valore venga superato.

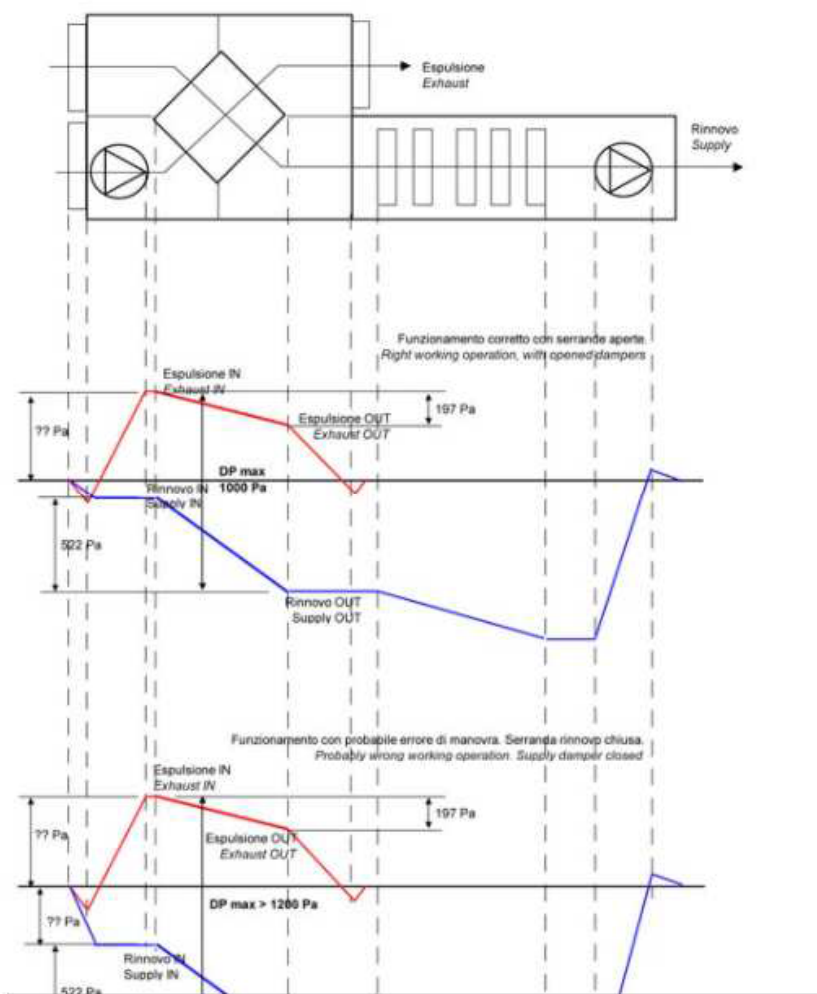


Fig.24 - UTA a sola aria primaria: layout in cui l'aria di mandata realizza una sovrappressione positiva rispetto all'aria di espulsione (da Recuperator S.p.a.)

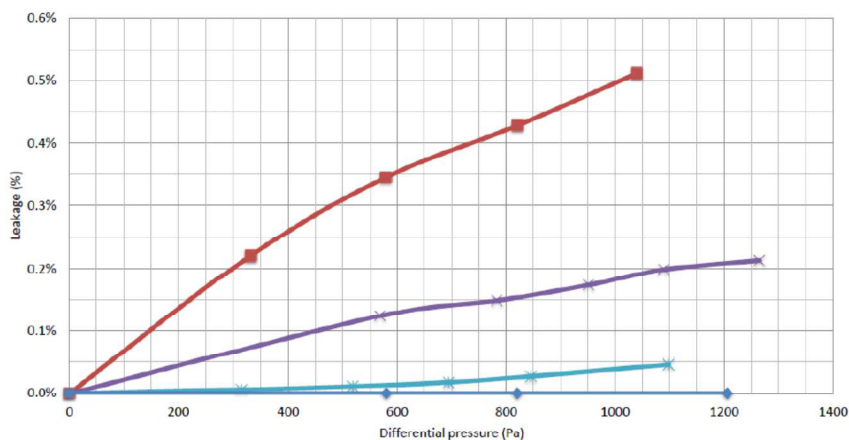


Fig. 25 - Percentuale di trafileamento in uno scambiatore di calore a piastre, in funzione della classe di sigillatura. Il rateo di by-pass è sempre inferiore allo 0,5%, fino a pressioni differenziali di 1000 Pa. I diversi colori indicano sigillature (da RECUPERATOR S.p.a.).

Batterie gemellari

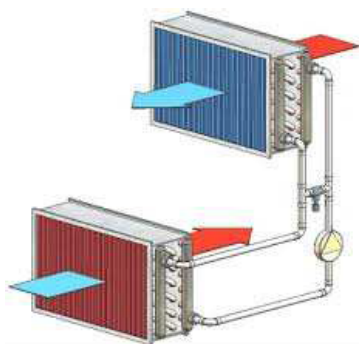


Fig.26 - Schema sistema di recupero a batterie gemellari

Il sistema di recupero a batterie gemelle (run-around-coil) garantisce la completa separazione dei flussi dell'aria: viene interposto tra i flussi d'aria un fluido termovettore secondario. Una pompa di circolazione viene attivata tra due scambiatori di calore, i quali sono attraversati rispettivamente dall'aria di mandata ed espulsione. Un grande vantaggio di questo sistema è la possibilità di poter dislocare la sezione di estrazione da quella di mandata nei sistemi ad aria primaria.

Uno dei grossi svantaggi di questo sistema è invece la bassissima efficienza nelle condizioni di carico parziale e nel periodo estivo. Il recupero a batterie gemelle permette di avere efficienza termica prossima al 70% solo nelle

condizioni nominali di progetto invernali, ossia quando la differenza di temperatura tra l'aria di mandata ed espulsione è massima. La scarsa efficienza ed il rischio di fault della pompa di circolazione, suggeriscono che le sezioni di trattamento aria a valle del recuperatore siano dimensionate per le condizioni termoisometriche esterne nominali (le sorgenti energetiche vanno sovradimensionate).

La non miscibilità dei flussi di espulsione e mandata rendono questo sistema molto utilizzato in campo ospedaliero. Campo in cui si hanno normalmente meno vincoli energetici rispetto ad altre destinazioni d'uso ed è fondamentale scongiurare la contaminazione tra i due flussi: reparti malattie infettive, locali degenza per immunodepressi, medicina nucleare e radioterapia (possibile presenza di radionuclidi).

8 - VINCOLI DI INSTALLAZIONE: UN CASO DI RETROFIT NEL POLICLINICO S.ORSOLA MALPIGHI

A titolo di esempio, prendiamo una situazione riscontrata recentemente in un padiglione del Policlinico S.Orsola-Malpighi di Bologna. La sostituzione di una UTA a servizio del reparto ospedaliero porta con se alcune criticità, che possono essere normalmente trovate anche in altre destinazione d'uso. Queste criticità ci permettono di evidenziare alcuni limiti delle linee guida emanate sul nascere dell'emergenza sanitaria.

Le richieste per questo intervento sono:

- aumento della portata aria del 20%
- aggiunta di sezione filtri assoluto in mandata
- aggiunta di un sistema di recupero calore.

La presenza di importanti vincoli di passaggio e di spazi comporta che:

1. L'aumento della portata aria e la garanzia dei limiti di efficienza saranno oggetto di compromesso. Essendo presenti dei vincoli interni di installazione, la UTA avrà velocità di attraversamento elevate e spazi di manutenzione ridotti per l'estrazione dei filtri.
2. L'accesso alla struttura è vincolato: le sezioni della UTA saranno calate dall'alto e movimentate a mano nel tunnel che conduce alla centrale termica. Il passaggio (porta di soli 120 cm) richiede la costruzione di una UTA in sezioni componibili: la necessità di montare la UTA in cantiere porta ad un aumento dei costi di installazione rispetto ad una soluzione monoblocco o installazione esterna.
3. L'aumento del numero di sezioni (filtri assoluti e batteria di recupero gemellare) richiederà un layout di UTA speciale, a sviluppo verticale o incrociato. La frammentazione della UTA implica l'impossibilità di installare recuperatori di calore a piastre.



Fig. 27 - Accesso al locale UTA



Fig. 28 - Accesso alla centrale termica



Fig. 29 - Centrale di trattamento aria da sostituire – gli spazi di accesso limitati pongono dei limiti al retrofit.



Fig.30 - Centrale di trattamento aria monoblocco installata internamente al padiglione

9 - TECNOLOGIE PER IL CONTRASTO ALLA DIFFUSIONE DEL SARS-COV2

Lo stato dell'arte della tecnologia in ambito HVAC ci mette a disposizione diversi tra strumenti in grado di dare un considerevole contributo per il contrasto alla diffusione aerea del Sars-Cov2.

Questi strumenti vanno ad agire sui volumi di aria elaborati dagli impianti in maniera meccanica piuttosto che chimica o fisica a seconda della tecnologia alla base dello strumento stesso. Vediamo nello specifico quali sono gli strumenti comunemente utilizzati nelle UTA e negli impianti di cui queste fanno parte.

Filtri Meccanici

Una corretta filtrazione dell'aria è una prerogativa essenziale per il mantenimento di elevata salubrità degli ambienti. I filtri meccanici sono elementi di una UTA composti da materiale filtrante, che può essere un tessuto sintetico, carta, fibra di vetro etc.

In precedenza è stata evidenziata la normativa UNI-EN-ISO 16798-3, nella quale si stabilisce la tipologia di filtro da utilizzare in base al grado di inquinamento dell'aria da trattare.

Oltre a queste indicazioni rimane imprescindibile realizzare una periodica manutenzione dei filtri, così da garantire un'elevata efficienza di filtrazione e bassi consumi energetici.

I filtri meccanici trattengono per attrito sulla loro superficie le particelle in sospensione presenti nel flusso d'aria, accumulando progressivamente particolato e microorganismi.



*Fig. 31 - A sinistra un filtro F7 nuovo.
A destra lo stesso filtro dopo due mesi di funzionamento.*

Un filtro sporco, oltre che aumentare le perdite di carico del sistema in cui è inserito, rappresenta anche una criticità dal punto di vista microbiologico a causa della proliferazione di virus, muffe e batteri che può avvenire sulla superficie filtrante. Questo perché i filtri meccanici non eliminano le particelle con cui vengono a contatto ma ne arrestano semplicemente il percorso.

In questo campo un occhio di riguardo va ai filtri assoluti HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) e ULPA (Ultra Low Penetration Air Filter) in grado di filtrare oltre il 99.50 % di particelle di 0.1 μm di diametro. Tale efficienza garantisce un'adeguata protezione dagli inquinanti biologici.

D'altra parte i filtri assoluti, per via della loro efficienza, provocano anche una perdita di carico concentrata che può influire sensibilmente sugli assorbimenti elettrici di impianto. L'inserimento di questo componente in un impianto già esistente potrebbe provocare una riduzione complessiva della portata d'aria, in contrasto quindi con la funzione di ricambio aria e diluizione degli inquinanti della UTA.

Filtri Elettrostatici

Come per i filtri meccanici, anche i filtri elettrostatici trattengono una certa percentuale delle particelle presenti nel flusso d'aria. In questo caso, il principio fisico alla base del processo di filtrazione non è meccanico, ma si basa sull'utilizzo di un campo elettrico instaurato tra le piastre metalliche presenti all'interno del filtro. L'efficienza di filtri meccanici (ad esclusione di HEPA ed ULPA) ed elettrostatici viene classificata, assieme ai metodi di prova, dalla normativa internazionale ISO 16890.



Fig. 32 - A sinistra il lato aspirazione del filtro elettrostatico protetto tra un prefiltro metallico. A destra il lato di mandata del filtro nel quale è possibile osservare le piastre metalliche tra cui viene stabilito il campo elettrico responsabile del processo di filtrazione.

Per quanto riguarda i filtri elettrostatici, lo stesso filtro può presentare tuttavia diverse efficienze di filtrazione a seconda della velocità di

attraversamento del flusso d'aria. Minore è la velocità di attraversamento maggiore è l'efficienza di filtrazione. Essi presentano bassi consumi energetici e basse perdite di carico e necessitano di una manutenzione periodica per evitare l'eccessivo accumulo di sostanze inquinanti sulla superficie.

Ionizzatori d'aria a plasma freddo

Una tecnologia che sta trovando ampia diffusione è quella degli ionizzatori d'aria a plasma freddo. Tali componenti realizzano una purificazione del flusso d'aria, agendo in particolare sui microrganismi e sui COV (Composti Organici Volatili). Allo stesso tempo, per mezzo dell'aria ionizzata, effettuano la decontaminazione batterica delle superfici dei canali.

La tecnologia su cui si basa questo componente è la tecnologia NTP (Non Thermal Plasma), tramite la quale è possibile ionizzare un flusso di gas (in questo caso aria) portandolo in uno stato di plasma freddo.

Un plasma non è altro che una miscela di gas ionizzati composta da una grande quantità di particelle cariche, ioni, elettroni, radicali liberi, molecole e atomi neutri. Il termine freddo è dovuto al fatto che la temperatura macroscopica della miscela è prossima alla temperatura ambiente a differenza del plasma caldo o Thermal Plasma la cui temperatura è di decine di migliaia di gradi.

L'efficacia del NTP nei confronti degli inquinanti di basa sull'elevata reattività delle particelle generate, capace di attaccare la parete cellulare dei batteri, muffe e funghi, nonché danneggiare la struttura di virus e COV.

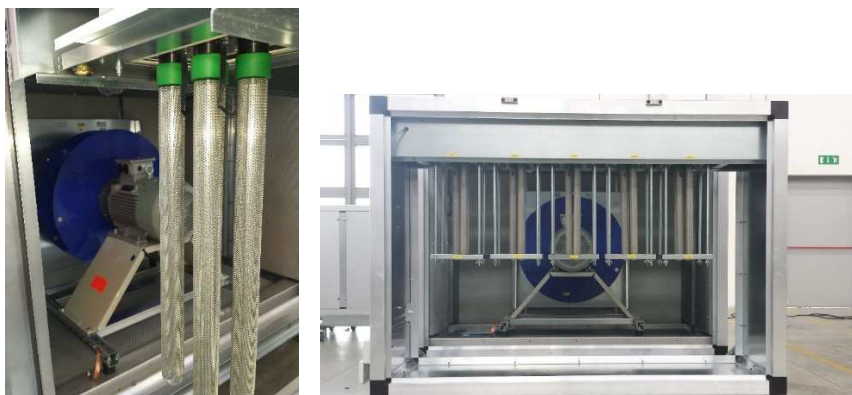


Fig. 33 - A sinistra un particolare degli elementi ionizzanti del sistema di ionizzazione. A destra un'installazione dei sistemi di ionizzazione all'interno di una UTA.



Come si evince dalle foto, è possibile installare questi sistemi nelle UTA con lo scopo di sanificare il flusso d'aria che queste elaborano. L'impianto di cui l'UTA fa parte distribuisce aria ionizzata e reattiva attraverso canali ed ambienti.

Questa tecnologia ha un ridotto consumo energetico e richiede manutenzione periodica basata sullo stato dei condensatori. La sostituzione degli elementi ionizzati deve comunque essere realizzata normalmente ogni 14.000 ore di funzionamento.

Essendo componenti modulari ed adatti all'installazione nei canali, è possibile inserirli nelle varie tipologie di impianto e terminale esistente, senza intaccare le caratteristiche e le performance degli stessi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gli impianti e la diffusione del SARS-CoV2-19 nei luoghi di lavoro – AiCARR, Milano 13 Marzo 2020
- [2] Protocollo per la riduzione del rischio da diffusione del SARS-CoV2-19 mediante gli impianti di climatizzazione e ventilazione esistenti – AiCARR, Milano 18 Marzo 2020
- [3] Posizione di AiCARR sul funzionamento degli impianti di climatizzazione durante l'emergenza SARS-CoV2-2019 – Position paper AiCARR, Milano 06 Aprile 2020
- [4] Protocollo per la riduzione del rischio da diffusione del SARS-CoV2-19 mediante gli impianti di climatizzazione e ventilazione in ambienti sanitari – AiCARR, Milano 10 Aprile 2020
- [5] Ruolo degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva nella riduzione della diffusione del SARS-CoV2-19 – AiCARR, Milano 11 Aprile 2020
- [6] Coronavirus e climatizzazione. Quando, come e perché accendere l'aria condizionata – Livio Ing. Mazzarella, AiCARR, Milano 15 Giugno 2020
- [7] Protocollo per la riduzione del rischio da diffusione del SARS-CoV-2 nelle operazioni di gestione e manutenzione degli impianti climatizzazione e ventilazione esistenti – AiCARR, Milano 07 Luglio 2020
- [8] Gli impianti di climatizzazione ed il rischio di contagio – M. Vio – AiCARR Journal n°61
- [9] Approfondimenti sugli impianti a tutt'aria con ricircolo durante la pandemia SARS-CoV-2 – A. Cavallini; F. Busato; F. Pregliasco – AiCARR Journal n°63
- [10] Linee guida per la riapertura delle Attività Economiche e Produttive - 20/92/CR01/COV19 – Conferenza delle regioni e delle province autonome – Roma 22 Maggio 2020
- [11] Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro. Requisiti e standard. Indicazioni operative e progettuali. - AA.VV. - 01 Giugno 2006
- [12] UNI EN 16798-1: Prestazione energetica degli edifici – Ventilazione per gli edifici – Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.
- [13] UNI EN 16798-3: Prestazione energetica degli edifici – Ventilazione per gli edifici – Parte 3: Per gli edifici non residenziali – Requisiti prestazionali per i sistemi di ventilazione e di condizionamento degli ambienti

- [14] UNI EN ISO 14644-1:2016: Camere bianche ed ambienti controllati associati - Parte 1: Classificazione della pulizia dell'aria mediante concentrazione particellare
- [15] UNI 11425:2011: Impianto di ventilazione e condizionamento a contaminazione controllata (VCCC) per il blocco operatorio - Progettazione, installazione, messa in marcia, qualifica, gestione e manutenzione
- [16] Eurovent: UNI EN 13053:2020 Ventilazione degli edifici - Unità di trattamento dell'aria - Classificazioni e prestazioni per le unità, i componenti e le sezioni
- [17] Eurovent: UNI EN 1886:2008: Ventilazione degli edifici - Unità di trattamento dell'aria - Prestazione meccanica
- [18] REGOLAMENTO (UE) N. 1253/2014 DELLA COMMISSIONE del 7 luglio 2014, recante attuazione della direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda le specifiche per la progettazione ecocompatibile delle unità di ventilazione
- [19] Allegato 17 del DPCM 17 maggio 2020: *“Linee guida per la riapertura delle attività economiche e produttive della Conferenza delle Regioni e delle Province autonome del 16 maggio 2020.”*
- [20] Gruppo di lavoro ISS Ambiente e Qualità dell'aria indoor. *Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2.* Versione del 25 maggio 2020. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020. (Rapporto ISS COVID-19, n. 5/ 2020 Rev. 2).
- [21] Rapporto ISS COVID-19 • n. 5/2020 Rev. 2 del 25 Maggio 2020

IMPATTO DELLO STRESS TERMICO AMBIENTALE SULLA SALUTE E PRODUTTIVITÀ DEI LAVORATORI: IL PROGETTO WORKCLIMATE

Michela Bonafede (1), Simona Del Ferraro (1), Tiziana Falcone (1), Alessandro Marinaccio (1), Alessandro Messeri (2), Vincenzo Molinaro (1), Emma Pietrafesa (1), Marco Morabito (3) & con il contributo del gruppo di lavoro WORKCLIMATE*

- (1) Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del lavoro e Ambientale, Istituto nazionale Assicurazione Infortuni sul Lavoro (INAIL), Roma, Italia
- (2) Centro di Bioclimatologia (CIBIC) dell'Università di Firenze (UNIFI)
- (3) Istituto per la Bioeconomia (IBE), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Firenze, Italia

* Gruppo di lavoro WORKCLIMATE dettagliato nei ringraziamenti

INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico sta determinando un sempre maggior incremento della frequenza e dell'intensità di eventi meteorologici estremi, con particolare riferimento alle ondate di calore, con importanti ripercussioni anche sul settore occupazionale e sulla salute e produttività dei lavoratori. Gli effetti delle condizioni meteo-climatiche sulla frequenza degli infortuni sul lavoro in ambienti non condizionati (outdoor o indoor) sono già noti in epidemiologia con alcune evidenze disponibili anche a livello italiano [Morabito et al., 2015; Ricco, 2018; Marinaccio et al., 2019] ma sono pochi gli studi che analizzano l'impatto di condizioni meteo-climatiche critiche sulla fisiologia e sul comportamento del lavoratore durante lo svolgimento di specifiche mansioni [Masanotti et al., 2019]. Studi epidemiologici hanno evidenziato un impatto delle temperature eccessivamente elevate sulla salute dei lavoratori ed in particolare su alcune tipologie di infortunio. Il lavoro espone a situazioni di vulnerabilità (sforzo fisico intenso, lavorazioni all'aperto, sinergia fra esposizioni indoor e outdoor) che, in condizioni di temperature elevate (anche non estreme), aumentano il rischio di infortuni, con conseguente riduzione della produttività [Levi et al., 2018; Morabito et al., 2020] e un aumento dei costi per la sanità pubblica. Negli ultimi decenni, le agenzie internazionali e gli enti pubblici di tutela della salute occupazionale hanno pubblicato documenti e linee guida che promuovono programmi ed indicazioni operative per la prevenzione dei rischi connessi alle temperature

estreme rivolti a lavoratori e datori di lavoro [HSE, 2013; NIOSH, 2016; UNDP, 2016, <http://www.salute.gov.it/>]. Gli effetti immediati delle elevate temperature sulla salute dei lavoratori sono caratterizzati dall'aumento della fatica percepita, dovuta spesso a una sensibile disidratazione, e dalla riduzione delle capacità di concentrazione e di reazione. L'associazione fra esposizione occupazionale a temperature estreme e rischio di infortunio sul lavoro è di particolare importanza considerando che molte attività lavorative si svolgono all'aperto con l'ulteriore aggravante che lavorazioni complesse e pesanti sono spesso programmate d'estate perché molti materiali devono essere manipolati a temperature elevate ed inoltre in estate è minore la probabilità di pioggia. Gli orari di lavoro spesso comprendono le ore più calde e soleggiate della giornata a elevato rischio di stress termico (14:00 - 17:00) e molte attività professionali richiedono un intenso sforzo fisico abbinato spesso all'utilizzo di dispositivi di protezione individuale (DPI) che, limitando la dispersione di calore corporeo, rappresentano un ulteriore fattore aggravante gli effetti del caldo. In situazioni in cui il calore assorbito dal corpo non viene dissipato sufficientemente si verifica uno stress termico la cui intensità dipende anche dal livello di acclimatazione del lavoratore. Una recente review pubblicata dalla rivista Lancet [Watts et al, 2018], riprendendo un lavoro pubblicato da Kjellstrom e colleghi [Kjellstrom et al., 2018] stima in totale nel mondo 153 miliardi di ore di lavoro perse a causa dei cambiamenti climatici nel 2017, con un incremento di 62 miliardi rispetto al valore dell'anno 2000.

Recentemente è stata sviluppata un'analisi epidemiologica che, utilizzando la disponibilità di serie storiche di temperature ad elevata risoluzione spaziale disponibili sul territorio nazionale, ha messo in relazione le temperature estreme (caldo e freddo) con gli infortuni sul lavoro registrati da INAIL in 8090 comuni italiani nel periodo 2006-2010 [Marinaccio et al., 2019]. Lo studio ha rilevato effetti significativi sul rischio di infortunio occupazionale sia per il caldo (rischio relativo, RR = 1.17 95% e intervallo di confidenza, IC: 1.14–1.21 per temperature superiori al 75° percentile), che per il freddo (RR = 1.23 95% IC: 1.17–1.30 per temperature inferiori al 25° percentile) (Figura 1), consentendo di stimare, per temperature inferiori e superiori alla soglia (25°percentile per il freddo e al 75° percentile per il caldo), circa 5200 incidenti sul lavoro all'anno associati alle temperature. Lo stesso lavoro evidenzia una variabilità dei rischi in relazione all'età (maggiori nei lavoratori giovani per il caldo e per i lavoratori meno giovani per il freddo), al genere (le donne sono più suscettibili alle basse temperature, gli uomini alle alte), alla dimensione aziendale (maggiore l'effetto del caldo sugli occupati nelle piccole imprese, maggiore l'effetto del freddo per le grandi aziende). I

lavoratori nel settore dell'edilizia sono risultati essere i più suscettibili alle elevate temperature, mentre un maggior effetto del freddo è stato riscontrato negli occupati nei settori della pesca e dei trasporti. Relativamente alla gravità dell'infortunio nei periodi caldi è emerso un rischio di infortunio meno grave (< di 15 giorni di durata) rispetto al periodo freddo (> di 60 giorni di durata). I risultati dello studio, identificando specifiche categorie di lavoratori particolarmente esposti al rischio di infortunio correlato all'esposizione a temperature estreme, possono contribuire a definire specifiche misure di prevenzione e protezione a livello strutturale, comportamentale ed organizzativo.

Questi ed altri risultati disponibili giustificano la necessità di indirizzare gli sforzi della ricerca per individuare e sviluppare strategie e soluzioni tecnologiche innovative, nonché soluzioni organizzative e procedure operative specifiche per i lavoratori e finalizzate alla tutela della loro salute e produttività dai rischi connessi alle temperature estreme. Una esperienza specifica in questa direzione è quella effettuata in un recente progetto internazionale (H2020, HEAT-SHIELD, <https://www.heat-shield.eu/>) in cui è anche stato sviluppato un primo e innovativo sistema di previsioni del rischio caldo personalizzate sulla base delle caratteristiche personali dei lavoratori [Morabito et al., 2019]. È infatti importante sottolineare che il rischio da caldo per un lavoratore può essere già presente a soglie di temperatura ben più basse rispetto a quelle valide per la popolazione generale, proprio perché un lavoratore può essere impegnato in attività fisiche più o meno intense, può indossare DPI, può essere in contatto con ulteriori fonti di calore e/o esposto alla radiazione solare diretta, quindi tutte situazioni che possono potenzialmente aggravare gli effetti del caldo aumentando il rischio per la salute dei lavoratori.

A partire dai risultati disponibili e dagli strumenti approntati in precedenti progetti di ricerca riguardo la dimensione degli infortuni nei luoghi di lavoro riconducibili all'esposizione al caldo, nel progetto BRIC (Bando Ricerca In Collaborazione) WORKLIMATE [<https://www.worklimate.it/>], sviluppato in collaborazione fra INAIL, CNR - Istituto per la BioEconomia (IBE), Azienda USL Toscana Centro, Azienda USL Toscana Sud Est, Dipartimento di Epidemiologia, Servizio Sanitario Regionale Lazio e Consorzio LaMMA, si sta sviluppando un'attività coordinata e coerente di ricerca scientifica relativa all'approfondimento, soprattutto attraverso la banca dati degli infortuni dell'INAIL, delle conoscenze sull'effetto delle condizioni di stress termico ambientale (in particolare del caldo) sui lavoratori, con un'attenzione specifica alla stima dei costi sociali degli infortuni sul lavoro. Attraverso

l'organizzazione di alcuni casi-studio ad hoc in aziende selezionate in zone del centro Italia, una indagine sulla percezione del rischio legata all'esposizione a temperature estreme dei lavoratori ed una indagine sull'impatto dello stress da caldo sui lavoratori impegnati in ambito sanitario associato all'utilizzo di DPI durante la pandemia COVID-19, saranno proposte soluzioni organizzative e procedure operative utili in vari ambiti occupazionali (o mansioni) attualmente non ancora disponibili. Sarà quindi sviluppato e reso operativo un sistema di allerta da caldo, integrato meteo-climatico ed epidemiologico, specifico per il settore occupazionale, rappresentato da una piattaforma previsionale web e da una web app con previsioni personalizzate sulla base delle caratteristiche individuali dei lavoratori e quelle dell'ambiente di lavoro (lavoro esposto al sole o in zone d'ombra). Il tutto sarà valorizzato dall'integrazione delle informazioni ottenute e degli strumenti sviluppati nell'ambito del progetto sulla piattaforma del Portale Agenti Fisici (PAF) in modo da fornire un supporto concreto e operativo che orienti, oltre che i lavoratori, anche gli attori aziendali della sicurezza e gli operatori della prevenzione e protezione.

OBIETTIVI SPECIFICI DEL PROGETTO WORKCLIMATE

Analisi epidemiologica per la stima dei costi sociali degli infortuni sul lavoro correlati a temperature estreme.

- Stima dei costi sociali dell'esposizione occupazionale a temperature estreme (ad es. assenze, disabilità, morte precoce e produttività perduta) e revisione della letteratura disponibile sul tema.
- Definizione metodologia per la stima dei lavoratori esposti a temperature estreme attraverso la revisione bibliografica della letteratura esistente e la ricognizione degli archivi disponibili su base nazionale.
- Identificazione dei fattori di vulnerabilità caldo correlati individuali (malattie croniche, fattori demografici, uso di farmaci) applicabili in ambito lavorativo e definizione di materiale informativo ad hoc di prevenzione da divulgare durante le allerte.
- Sperimentazione di un modello prototipale di osservatorio di eventi attribuibili a condizioni termiche critiche in ambito occupazionale mediante la creazione di una repository di raccolta delle informazioni provenienti da organi di stampa o altre fonti. L'utilizzo di un'applicazione web permetterà la definizione di un set di query e l'invio periodico di e-mail riassuntive (digest e-mail) con i riferimenti agli articoli pubblicati sui siti dei quotidiani.

Monitoraggio meteo-climatico locale e comportamentale (casi-studio) da effettuare presso aziende selezionate e indagine sulla percezione del rischio in ambito occupazionale.

- Monitoraggi meteo-climatici da effettuare in continuo soprattutto durante il periodo estivo e analisi dei dati in relazione ai differenti scenari espositivi outdoor presso un campione di aziende rappresentative del centro Italia.
- Analisi delle ricadute delle modifiche procedurali e organizzative sulla produttività (ad es. modifica orario di lavoro).
- Implementazione di un questionario di percezione del rischio e valutazione dell'ambiente termico (benessere/disagio) da somministrare negli ambienti di lavoro durante specifiche giornate di test, di un questionario sulla percezione del rischio termico in ambito lavorativo da somministrare tramite piattaforme web per una indagine a livello nazionale e di un questionario sull'impatto dello stress da caldo sui lavoratori impegnati in ambito sanitario associato all'utilizzo di DPI durante la pandemia COVID-19.
- Test sull'efficacia nella riduzione dello stress da caldo di indumenti (giacche) ventilati.

Individuazione e sviluppo di soluzioni organizzative e procedure operative.

- Definire le soluzioni tecnologiche innovative utili in vari ambiti occupazionali tenendo conto dei livelli di rischio e che potrebbero contribuire a contrastare gli effetti dovuti agli estremi termici in generale e il caldo in particolare.
- Messa a punto di procedure operative per contrastare il caldo valide per specifici settori lavorativi e in differenti scenari espositivi.

Sviluppo di un sistema di allerta da caldo, integrato meteo-climatico ed epidemiologico, specifico per il settore occupazionale e studio di fattibilità di un sistema di allerta da freddo.

- Revisione dei sistemi di allerta da caldo e selezione degli indicatori da utilizzare per valutare l'impatto sui lavoratori.
- Valutazione delle performance dei modelli meteorologici considerati, creazione e mantenimento per la durata delle attività di progetto della migliore catena operativa.
- Messa a punto della piattaforma previsionale web integrata da applicazione mobile.
- Studio di fattibilità di un sistema di allerta da freddo per il settore occupazionale.

I CASI STUDIO AZIENDALI

Nell'ambito del progetto e durante due stagioni estive è prevista la realizzazione di casi studio in aziende selezionate del centro Italia al fine di valutare gli effetti del caldo su salute e produttività dei lavoratori. Nonostante l'emergenza COVID-19, già durante la stagione estiva 2020 sono state individuate cinque aziende appartenenti al settore agricolo/zootecnico ed un'azienda del settore delle costruzioni dove è stata installata strumentazione meteorologica al fine di monitorare in continuo i principali parametri microclimatici (temperatura e umidità relativa dell'aria, velocità del vento, radiazione solare e temperatura globotermometrica) e quindi le condizioni ambientali in cui i lavoratori si trovano ad operare durante il trimestre estivo (Figura 2). Inoltre, durante specifiche giornate selezionate in base alle condizioni meteo-climatiche previste (giorni potenzialmente con elevato stress da caldo e giorni tipicamente estivi ma con valori termici non estremi), sono stati eseguiti dei test su base volontaria a lavoratori impegnati in diverse attività. In particolare è stato somministrato, nel momento più caldo della giornata, un questionario di valutazione soggettiva del benessere/disagio termico in cui vengono raccolte anche informazioni relative alla tipologia di abbigliamento indossato, alla mansione svolta, al comportamento (ad esempio quanto si idrata) oltre che la percezione di perdita di produttività dovuta alle condizioni termiche presenti. Inoltre, in un'azienda del settore vitivinicolo, sono stati eseguiti anche alcuni test fisiologici su lavoratori (Figura 3), con particolare riferimento alla misurazione puntuale di saturazione d'ossigeno e frequenza cardiaca con pulsossimetro, temperatura corporea mediante la misura con termometro ad infrarossi della temperatura frontale e temperatura delle superfici rilevata in diversi distretti corporei utilizzando una termocamera, oltre che una misura in continuo della frequenza cardiaca con bracciale cardio-fitness e dell'attività fisica con bracciale Armand. In totale, durante questa prima stagione estiva sono stati raccolti oltre 70 questionari di valutazione delle condizioni di benessere/disagio termico che verranno incrementati nel prossimo trimestre estivo, durante il quale, emergenza COVID-19 permettendo, saranno coinvolte altre aziende appartenenti anche ad altri settori occupazionali.

LA SURVEY NAZIONALE “CALDO E LAVORO”

Nell’ambito del progetto è stata sviluppata anche una survey nazionale con il fine di indagare la percezione e la conoscenza degli effetti del caldo negli ambienti di lavoro con lo scopo quindi di individuare strategie di intervento per ridurre il rischio da caldo per il settore occupazionale. Il questionario è stato creato ad hoc per il progetto, prendendo spunto anche da questionari utilizzati in studi internazionali che hanno affrontato la tematica della quantificazione e gestione dello stress da caldo in ambito occupazionale. Il questionario, preceduto da un consenso informato, è del tutto anonimo e costituito da 98 domande articolate in maniera tale da ottenere informazioni dettagliate sulle caratteristiche del lavoratore e della sua salute, sulla sua mansione lavorativa, sul suo ambiente di lavoro ed il comportamento adottato, oltre ad informazioni relative alla sua percezione del rischio legato al caldo in ambito occupazionale. La survey è disponibile e compilabile esclusivamente online (<https://forms.gle/ETkcRMtFPaybV3ui8>) nel periodo compreso tra maggio e settembre delle stagioni estive 2020 e 2021; al momento sono stati raccolti 227 questionari.

LA SURVEY “CALDO, LAVORO E DPI: FOCUS SANITÀ”

L’obiettivo di questa survey è quello di valutare l’impatto dello stress da caldo sui lavoratori impegnati in ambito sanitario associato all’utilizzo di DPI durante la pandemia COVID-19. Questi lavoratori infatti, soprattutto durante la fase dell’emergenza sono stati costretti, durante estenuanti turni di lavoro ad indossare DPI indispensabili per non venire contagiati e per non permettere la trasmissione della malattia, quali mascherine, tute, guanti che riducono la dispersione del calore dal corpo, aumentando quindi in maniera considerevole lo stress da caldo. Il questionario, anche in questo caso creato ad hoc per il progetto, è compilabile esclusivamente online (<https://forms.gle/rBbJixexAaBD6m3h9>) ed è preceduto da un modulo di consenso informato che mette a conoscenza il soggetto compilante circa le finalità della ricerca. Il questionario si articola in una prima parte in cui vengono richieste informazioni relativamente alle caratteristiche fisiologiche del lavoratore (es. peso, altezza, età, ecc.) e la tipologia di indumenti e DPI indossati, a cui seguono informazioni circa la tipologia della mansione svolta (es. reparto ospedaliero, sforzo richiesto, ecc.), l’inquadramento dell’ambiente termico nel quale il soggetto lavora (es. presenza di aria condizionata, luoghi

adibiti a pause), la sua percezione dell'ambiente termico e il comportamento adottato per cercare di ridurre l'impatto del caldo. Al momento sono stati raccolti 176 questionari.

TEST GIACCHE VENTILATE

L'abbigliamento gioca un ruolo importante nell'ambito dell'interazione soggetto-ambiente termico, costituendo una possibile barriera ai passaggi di calore. Rappresenta quindi un fattore su cui è possibile agire, in un ambiente caldo per limitare lo stress termico da calore, in un ambiente freddo per garantire un adeguato isolamento per il lavoratore.

Nel panorama delle soluzioni allo studio per prevenire il rischio da esposizione ad ambienti caldi, sul fronte dell'abbigliamento si sono sviluppati diversi filoni di ricerca. Uno di questi è orientato allo sviluppo di nuovi capi di abbigliamento basati su tecnologie di raffreddamento locale incorporate negli indumenti stessi, con lo scopo di riuscire ad asportare calore dalla superficie corporea riducendone l'eventuale accumulo nel corpo e limitando l'innalzamento della temperatura centrale, essenziale per garantire la salute del lavoratore. Alcuni esempi di tecnologie di raffreddamento sono quelle che utilizzano materiali che cambiano fase, Phase Change Materials, PCMs, (Gao et al. 2010, 2011) oppure che mirano a raffreddare l'aria intorno al corpo, come ad esempio le giacche ventilate (Zhao et al., 2013).

Il progetto WORKCLIMATE si focalizza sullo studio dell'efficacia di una giacca ventilata nell'attenuare lo stress termico di un lavoratore esposto ad un ambiente caldo, durante lo svolgimento della propria attività lavorativa. Si tratta di una giacca a maniche corte con incorporate due ventoline (unità di ventilazione) situate posteriormente nella zona lombare. Lo scopo dello studio è di investigare, tramite simulazioni in camera climatica (INAIL, Monte Porzio Catone (Rm)) su manichino termico Newton (Del Ferraro et al., 2017; 2018; 2020) l'effetto delle ventole:

1. sulle caratteristiche termiche dell'abbigliamento (isolamento termico, I_{cl} e resistenza evaporativa, R_e), ovvero se e come cambiano i flussi di calore da/per il corpo per la presenza delle ventole;
2. sulla risposta del sistema di termoregolazione, valutando gli andamenti delle temperature globali (temperatura centrale e temperatura media della pelle), delle temperature superficiali locali (dei 26 distretti in cui è suddivisa la superficie corporea del manichino), delle sensazioni termiche dell'intero corpo e delle singole zone termiche.

I risultati delle simulazioni permetteranno di valutare il contributo della giacca ventilata nell'attenuare gli effetti dell'ambiente caldo sul lavoratore durante lo svolgimento dell'attività, cercando di delineare le condizioni in cui essa risulta essere efficace.

INTERAZIONE CALDO-DPI DURANTE LA PANDEMIA COVID-19

Nell'ambito dei test per la valutazione del benessere/disagio termico effettuati in un'azienda del settore vitivinicolo, su alcuni lavoratori sono stati valutati anche gli effetti, in termini di aumento dello stress da caldo e conseguente perdita di produttività, legati all'utilizzo dei DPI anti COVID-19, in particolare l'effetto delle mascherine chirurgiche e FFP2. Tutto questo sulla base di un recente lavoro in cui si evidenzia la necessità di indagare anche queste situazioni valutando l'impatto dovuto all'interazione tra caldo e misure anti-COVID nel settore occupazionale [Morabito et al., 2020b]. Sono state infatti selezionate due giornate estive dalle condizioni microclimatiche molto simili e durante una di esse i lavoratori hanno indossato mascherine anti COVID-19 di tipologia FFP2 (Figura 4) mentre nell'altra sono state adottate misure anti-contagio basate sul distanziamento tra i lavoratori, senza quindi l'impiego di mascherine. Ai lavoratori sono stati quindi somministrati i questionari di valutazione delle condizioni microclimatiche oltre che monitorati i parametri fisiologici come la frequenza cardiaca, saturazione d'ossigeno, temperatura corporea e superficiale.

SISTEMA DI ALLERTA DA CALDO

Uno degli obiettivi principali del progetto è costituito dalla realizzazione di un sistema previsionale di rischio da caldo integrato meteo-climatico ed epidemiologico, specifico per il settore occupazionale che avrà l'ambizione di essere la prima piattaforma online capace di prevedere, su tutto il territorio nazionale e con una elevata risoluzione spaziale (inferiore a 10km) e temporale (per fasce orarie), il rischio da caldo personalizzato per ciascun lavoratore in funzione di caratteristiche fisiche personali, del vestiario indossato, dell'intensità dello sforzo, dell'ambiente di lavoro a cui il lavoratore è esposto oltre che del livello di acclimatazione del lavoratore. Molto importante sarà la scelta dell'indice biometeorologico più idoneo e che permetta l'applicazione di soglie di rischio diverse in funzione dei parametri

sopra elencati, associando a ciascun livello di allerta delle informazioni comportamentali che siano di utilità al lavoratore per fronteggiare il caldo (es. quanto bere e quanto riposarsi in base alle condizioni previste). Altro aspetto di rilevante importanza sarà l'individuazione del modello meteorologico ad elevata risoluzione (LAM) più performante per fornire i parametri meteorologici richiesti per il calcolo dell'indice biometeorologico utilizzato per la valutazione del rischio. Il modello individuato dovrà essere stabile e garantire il funzionamento della complessa catena operativa che si verrà a creare. Altro obiettivo della piattaforma previsionale sarà quello di integrare l'informazione biometeorologica con quella epidemiologica ottenuta attraverso l'identificazione dei fattori di vulnerabilità caldo correlati individuali (malattie croniche, fattori demografici, uso di farmaci) in ambito lavorativo e permettendo così una maggiore prevenzione durante le allerte da caldo personalizzate. L'informazione, disponibile online per gli utenti registrati su apposita piattaforma web-app, sarà costituita da livelli di rischio espressi in forma cromatica ai quali saranno associati comportamenti da adottare e delle linee di indirizzo comportamentali utili per la riduzione del rischio. In particolare, la presenza di una web App renderà l'informazione usufruibile mediante cellulare e quindi sarà più facilmente consultabile direttamente da parte dei lavoratori, ma anche da parte di chi si occupa della pianificazione/organizzazione del lavoro (ad es. datori di lavoro), medici del lavoro e in generale le organizzazioni responsabili della salvaguardia della salute e della produttività in vari ambiti lavorativi.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il Prof. Chuansi Gao del Thermal Environment Laboratory, Division of Ergonomics and Aerosol Technology, Department of Design Sciences, Faculty of Engineering, Lund University, Lund, Sweden.

Il Gruppo di lavoro WORKCLIMATE composto da: Alessandra Binazzi (INAIL), Raimondo Buccelli (INAIL), Tiziano Costantini (ASL Roma 1-DEP LAZIO), Andrea Bogi (Azienda USL Toscana Sud Est), Michela Bonafede (INAIL), Raimondo Buccelli (INAIL), Alfonso Crisci (CNR-IBE), Francesca de'Donato (ASL Roma 1-DEP LAZIO), Tiziana Falcone (INAIL), Simona Del Ferraro (INAIL), Claudio Gariazzo (INAIL), Bernardo Gozzini (Consorzio LaMMA), Valentina Grasso (Consorzio LaMMA), Daniele Grifoni (Consorzio LaMMA), Miriam Levi (Azienda USL Toscana Centro), Alessandro Marinaccio (INAIL), Alessandro Messeri (UNIFI-CIBIC), Paola Michelozzi (ASL Roma 1-DEP LAZIO), Vincenzo Molinaro (INAIL), Stefano Monti (INAIL), Marco Morabito (CNR-IBE), Antonio Moschetto (INAIL), Pietro Nataletti (INAIL), Francesco Pasi (Consorzio LaMMA), Francesco Picciolo (UNISI-PAF), Emma Pietrafesa (INAIL), Iole Pinto (Azienda USL Toscana Sud Est), Matteo Scortichini (ASL Roma 1-DEP LAZIO).

BIBLIOGRAFIA

- [1] NIOSH, 2016. NIOSH Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments. Publication 2016-106. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf>
- [2] HSE. Heat stress in the workplace. A brief guide 2013. <https://www.hse.gov.uk/pubns/indg451.pdf>
- [3] UNDP, 2016. Climate change and labor: impacts of heat in the workplace. Available at: <http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/climate-and-disaster-resilience-/tackling-challenges-ofclimate-change-and-workplace-heat-for-dev.html>
- [4] Watts N, Amann M, Arnell N, et al. The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come. The Lancet, 2018, 392, 10163, P2479-2514, DECEMBER 08, 2018. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32594-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32594-7)
- [5] Kjellstrom T, Freyberg C, Lemke B. et al. Int J Biometeorol, 2018, 62: 291. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1407-0>
- [6] Marinaccio A, Scortichini M, Gariazzo C, Leva A, et al, BEEP Collaborative Group. Nationwide epidemiological study for estimating the effect of extreme outdoor temperature on occupational injuries in Italy. Environ Int. 2019 Dec;133(Pt A):105176. doi: 10.1016/j.envint.2019.105176
- [7] Morabito, M., Iannuccilli, M., Crisci, A., Capecchi, V., Baldasseroni, A., Orlandini, S., & Gensini, G. F. (2014). Air temperature exposure and outdoor occupational injuries: a significant cold effect in Central Italy. Occupational and Environmental Medicine, 71(10), 713–716. doi:10.1136/oemed-2014-102204
- [8] Riccò M. Air temperature exposure and agricultural occupational injuries in the Autonomous Province of Trento (2000-2013, North-Eastern Italy). Int J Occup Med Environ Health. 2018;31(3):317-331. doi:10.13075/ijomeh.1896.01114

- [9] Masanotti G., Bartolini M., Fattorini A., Cerrano A., Messeri A., Morabito M. and Iacopini S. Work in Harsh Hot Environment: Risk Evaluation on Thermal Stress in a Farm during Green Pruning Activity. *Biomed J Sci & Tech Res* 16(3)-2019. BJSTR. MS.ID.002865.
- [10] Morabito, M.; Messeri, A.; Noti, P.; Casanueva, A.; Crisci, A.; Kotlarski, S.; Orlandini, S.; Schwierz, C.; Spirig, C.; Kingma, B.R.; Flouris, A.D.; Nybo, L. An Occupational Heat-Health Warning System for Europe: The HEAT-SHIELD Platform. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 2890. Gao, C., Kuklane, K., Holmér, I., 2010. Cooling vests with phase change material packs: the effects of temperature gradient, mass and covering area. *Ergonomics* 53, 716-723.
- [11] Gao, C., Kuklane, K., Holmér, I., 2011. Cooling vests with phase change materials: the effects of melting temperature on heat strain alleviation in an extremely hot environment. *Eur. J. Appl. Physiol.* 111, 1207-1216.
- [12] Zhao, M.; Gao, C.; Wang, F.; Kuklane, K.; Holmér, I.; Li, J. A study on local cooling of garments with ventilation fans and openings placed at different torso sites. *Int. J. Ind. Ergon.*, 2013, 43(3), 232-237.
- [13] Del Ferraro, S.; Tombolini, F.; Plebani, C.; Molinaro, V., Thermophysiological response of Newton manikin equipped with power-assisted filtering device incorporating a full-face mask in hot environment, *Int J Hyperthermia* 2017, 33(7), 717-723. doi: 10.1080/02656736.2017.1316874.
- [14] Del Ferraro S.; Falcone T.; Rondinone B.M.; Molinaro V. Thermophysiological simulations with Newton manikin equipped with a power assisted filtering device in cold environments. *J Therm Biol* 2018; 78, 320-328. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.10.019.
- [15] Del Ferraro, S.; Falcone, T.; Rondinone, B.M., Molinaro, V. The effect of a power assisted filtering device on the local and whole body thermal response in cold and hot environments. *Int J Ind Ergon* 2020, 75. 102895. doi: 10.1016/j.ergon.2019.102895.
- [16] Morabito, M., Messeri, A., Crisci, A., Pratali, L., Bonafede, M., & Marinaccio, A. (2020b). Heat warning and public and workers' health at the time of COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, 738, 140347. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140347

- [17] Levi M, Kjellstrom T, Baldasseroni A. Impact of climate change on occupational health and productivity: a systematic literature review focusing on workplace heat. *Med Lav*. 2018 Apr 24;109(3):163-79. doi: 10.23749/mdl.v109i3.6851.
- [18] Morabito, M., Messeri, A., Crisci, A., Bao, J., Ma, R., Orlandini, S., Huang, C. and Kjellstrom, T. (2020a), "Heat-related productivity loss: benefits derived by working in the shade or work-time shifting", *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-10-2019-0500>

Figura 1: Curva dose-risposta nell'analisi di associazione fra esposizione a temperature estreme e rischio di infortuni sul lavoro. Tratto da Marinaccio A, Scortichini M, Gariazzo C, Leva A, Bonafede M, De' Donato FK, Stafoggia M, Viegi G, Michelozzi P; BEEP Collaborative Group. Nationwide epidemiological study for estimating the effect of extreme outdoor temperature on occupational injuries in Italy. Environ Int. 2019 Dec;133(Pt A):105176.

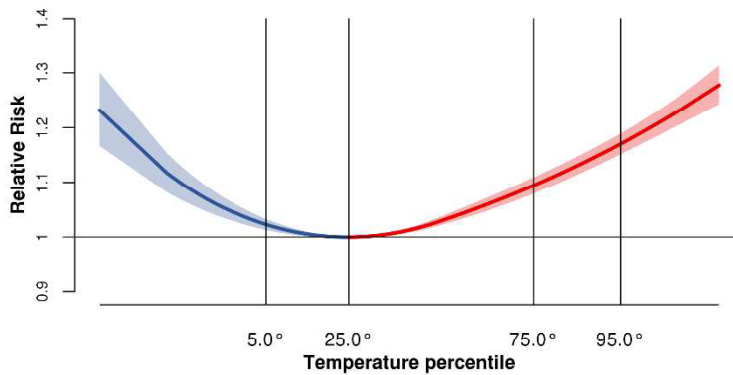


Figura 2: Strumentazione meteorologica installata presso le aziende selezionate.





Figura 3: Test fisiologici e somministrazione di questionari durante i casi studio presso una delle aziende selezionate.



Figura 4: Test eseguito indossando mascherine FFP2.

IL RISCHIO DA STRESS TERMICO PER GLI OPERATORI SANITARI IMPEGNATI IN ATTIVITÀ ANTI-COVID ALL'APERTO

Alessandro Merlino (1), Gianluca Gambino (1), Daniele Meda (1), Gabriele Quadrio (1), Neva Pasqualini (2), Pasqualino D'Aloia (2), Gabriele Pellicciotta (2), Paolo Zani (2)

(1) CeSNIR, Villasanta (MB)

(2) IRCCS Ospedale San Raffaele, Milano (MI)

1 – INTRODUZIONE

La protezione dall'infezione del virus Sars-CoV-2, causa dell'attuale pandemia da coronavirus CoViD-19, richiede specifiche procedure di sicurezza e dispositivi di protezione individuale per la tutela della salute degli operatori sanitari coinvolti nelle operazioni di diagnosi e cura dei contagiati. È ragionevole chiedersi se per gli addetti all'effettuazione degli esami per la diagnosi del contagio da CoViD-19, normalmente al lavoro in postazioni all'aperto, nel corso della stagione calda si possa configurare un rischio da stress termico.

Questo in ragione sia della situazione meteorologica, sia dell'utilizzo di abbigliamento per la protezione dal rischio biologico che consiste in indumenti a bassa o nulla permeabilità al vapor acqueo, sigillati sulle estremità del corpo (polso, caviglie, collo), al quale si aggiungono scarpe impermeabili, guanti, facciali filtranti più mascherine, visiera.

Con questo lavoro restituiamo l'esito della valutazione compiuta dagli scriventi in relazione allo stress termico degli operatori sanitari addetti all'effettuazione del tampone naso-faringeo presso l'Ospedale San Raffaele di Milano.

Allo stesso tempo desideriamo proporre nuovamente una riflessione sul corretto utilizzo delle metodiche di accertamento dello stress termico, previste dagli standard internazionali, nel caso di lavoratori che indossano abbigliamento protettivo e contribuire alla diffusione dei metodi più praticabili tra quelli che prevedono il ricorso alle misurazioni di parametri fisiologici, come già fatto nelle due precedenti edizioni di dBA (Merlino et al. 2018, 2019).

2 – DEFINIZIONE DEI DPI

Premesso che l'adozione delle misure di prevenzione e dei principi cardine quali il distanziamento sociale, l'igiene delle mani, l'informazione e la formazione dei lavoratori, l'organizzazione delle attività in accordo con le indicazioni fornite con le linee guida disposte dalle normative nazionali e regionali, consentono di abbattere al minimo possibile il rischio di contagio ed esposizione, ad esse deve essere affiancata la messa a disposizione e l'utilizzo dei Dispositivi di Protezione Individuale.

Per stabilire quali DPI fornire agli operatori sanitari sono stati consultati i principali riferimenti ad oggi disponibili:

- INAIL, 28 Febbraio 2020: *COVID-19 e Protezione degli operatori sanitari*;
- Rapporto dell'Istituto Superiore di Sanità n. 2/2020, revisione 2 del 10 Maggio 2020: Indicazioni ad interim per un utilizzo razionale delle protezioni per infezione da SARS-CoV2 nelle attività sanitarie e sociosanitarie (assistenza a soggetti affetti da COVID-19) nell'attuale scenario emergenziale SARS-CoV2;
- Rapporto dell'Istituto Superiore di Sanità n. 11/2020, revisione 2 del 29 Maggio 2020: Raccomandazioni ad interim per il corretto prelievo, conservazione e analisi sul tampone rino/orofaringeo per la diagnosi di COVID-19;
- il Decreto di Regione Lombardia - DGW 9853 con aggiornamento del 06.08.2020: Aggiornamento degli indirizzi per l'organizzazione delle attività sanitarie in relazione all'andamento dell'epidemia da COVID-19.

I DPI devono essere resi disponibili in relazione alla tipologia di attività, al livello di intensità di cura e alla probabilità di esposizione al rischio specifico. Per l'esecuzione del tampone per la ricerca di SARS-CoV2, in accordo con le indicazioni del Rapporto ISS n.11/2020, il personale indossa:

- Facciale filtrante FFP2/FFP3,
- tuta idrorepellente o in alternativa camice idrorepellente,
- Visiera o in alternativa occhiali di protezione,
- Guanti
- Calzari (ove richiesto).

3 – CARATTERISTICHE DELL'ABBIGLIAMENTO

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.



Figura 1. Personale sanitario impegnato nell'effettuazione dei tamponi.

L'isolamento termico dell'insieme dei capi di abbigliamento utilizzati dal personale oggetto delle nostre valutazioni è determinato in accordo alle tabelle A.1, A.2 e A.3 dell'Appendice A della UNI 9920 e i risultati sono mostrati in Tabella 1.

I calcoli previsti dalla procedura PHS¹ (UNI, 2005) richiedono di determinare solo l'isolamento termico dell'abbigliamento perché si assume che si tratti di abbigliamento normale (non protettivo) e che possieda una permeabilità al vapore standard ($i_{mst} = 0.38$).

¹ UNI EN ISO 7933:2005 Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile

Tabella 1: Determinazione dell'isolamento termico dell'abbigliamento

compito lavorativo	dotazione personale	isolamento termico I_{cl}
recupero, seduti all'interno del mezzo	slip (e reggiseno per le donne), calzini, canottiere/maglietta maniche corte pantaloncini corti	0.5 clo
effettuazione tamponi	slip (e reggiseno per le donne), calzini, canottiere/maglietta maniche corte pantaloncini corti tuta impermeabile ($i_{mst} \cong 0$) guanti doppia mascherina FFp3 + chirurgica protezione facciale	1.0 clo

Tuttavia, nel caso in esame, il personale adotta una tuta idrorepellente che, nei calcoli, si è assunto che fosse impermeabile ($i_{mst} \cong 0$).

C'è anche un altro elemento che dev'essere considerato in relazione all'abbigliamento protettivo indossato dagli operatori oggetto di questa valutazione, ovvero che si presenta quasi totalmente incapsulante, privo cioè di aperture verso l'esterno (tute con elastici ai polsi ed alle caviglie). Nemmeno questa caratteristica è presa in considerazione dalla procedura PHS che considera di poter includere sempre il *pumping effect*² nel calcolo degli scambi termici tra corpo e ambiente circostante.

Più avanti illustreremo come tenere conto di questi due aspetti non considerati dallo standard internazionale di riferimento (UNI, 2005).

4 – SCENARIO ESPOSITIVO

Questo lavoro prende in esame gli operatori sanitari addetti all'effettuazione del tampone naso-faringeo al pubblico, operazione condotta all'aperto, tipicamente presso aree "drive-in" (pit stop tamponi).

Nello specifico caso si tratta di un'area all'esterno dell'ospedale San Raffaele di Milano, nei pressi dell'ingresso principale (Figura 2).

² Un fattore che incide in modo importante sugli scambi termici, è il grado di aderenza dell'abbigliamento stesso al corpo. Quando gli indumenti non sono fascianti, l'aria può transitare dall'esterno al loro interno e viceversa, pompata dentro e fuori dagli stessi movimenti del soggetto; questo effetto è denominato "pumping effect". Tranne che nel caso dei metabolismi più leggeri (inferiori a 100 Wm-2) il "pumping effect" può incidere sull'isolamento termico dell'abbigliamento riducendolo di circa il 20% rispetto al suo valore statico (nominale).

5-DETERMINAZIONE DEL METABOLISMO ENERGETICO

Nel corso del turno lavorativo gli operatori sanitari svolgono diverse attività, come ad esempio l'effettuazione dei tamponi, l'etichettatura dei campioni, la stampa della documentazione. Questi compiti lavorativi prevedono attività di bassa intensità in termini di metabolismo energetico e questo consente di fare l'ipotesi semplificativa di un unico metabolismo che caratterizzi le loro attività diverse dal recupero in posizione seduta.



Figura 2. Personale sanitario all'opera presso Pit Stop Tamponi (Ospedale San Raffaele, Milano)

In tabella 2 sono indicati i valori di metabolismo energetico.

Tabella 2: Determinazione dell'isolamento termico dell'abbigliamento

compito lavorativo	ambiente di lavoro	metabolismo energetico	
		(W/m ²)	(met)
recupero, seduti all'interno del mezzo	Unità Mobile di appoggio	65.1	1.12
effettuazione tamponi	Pit Stop	100.0	1.72

Il metabolismo energetico è valutato usando i prospetti A.2 e B.1, B.2 e B.3 della norma tecnica UNI EN ISO 8996:2005 “Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione del metabolismo energetico”.

6-DEFINIZIONE DELLE FASI LAVORATIVE

La durata delle fasi lavorative è determinata mediante compilazione, da parte delle operatrici sanitarie, di un registro quotidiano delle attività. Questa procedura è necessaria per l'impostazione dei parametri temporali utilizzati nelle simulazioni di stress termico con metodica PHS.

Si riporta di seguito una tabella giornaliera esemplificativa delle attività registrate in data 10/08/2020.

Tabella 3: Scansione delle diverse attività giornaliere

Operatore B				
Durata	Inizio	Fine	Attività	DPI
15 min	08:00	08:15	vestizione	--
150 min	08:15	10:45	esecuzione tamponi al pit-stop	SI
30 min	10:45	11:15	pausa fisiologica	NO
45 min	11:15	12:00	attività al pit-stop di supporto alla esecuzione tamponi	SI
30 min	12:00	12:30	stampa etichette all'interno di ufficio mobile	NO
45 min	12:30	13:15	pausa pranzo	NO
93 min	13:15	14:48	attività all'interno dell'ospedale	NO

7-DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI FISICI AMBIENTALI

Le attività sono svolte principalmente all'aperto, pertanto le condizioni atmosferiche influenzano direttamente l'esito dell'indagine. La fascia oraria in cui gli operatori (al momento della rilevazione) svolgono l'attività si estende dalle ore 7:00 alle ore 15:15.

Gli accertamenti sullo stress termico di lavoratori impegnati all'aperto devono confrontarsi con l'evoluzione del meteo ed è molto difficile ottenere delle misurazioni ben riferite all'ambiente di lavoro e ben rappresentative delle condizioni più critiche. In quest'ottica è meglio riferirsi a rilievi di lungo periodo, eventualmente storici, reperendo in rete i dati meteorologici.

Pertanto, per elaborare uno scenario rappresentativo delle condizioni più gravose, si è scelto di utilizzare le previsioni meteorologiche di una giornata

particolarmente calda, complete dei dati orari di temperatura, umidità e velocità dell'aria.

Rimane tuttavia la necessità di valutare correttamente la temperatura media radiante, parametro dal significato locale che non può essere reperito tra i dati meteorologici.

Il contributo radiante allo scambio termico tra soggetto e ambiente, nel caso in esame, non è assolutamente trascurabile, nonostante che operatori sanitari eseguano le attività in ambiente riparato dal sole da una tensostruttura. L'entità di questo contributo è apprezzabile dalla differenza tra temperatura di globotermometro e temperatura dell'aria. Quando il contributo radiante è nullo (ad esempio dopo il tramonto o prima dell'alba), lo è anche tale differenza.

Con il proposito di giungere ad una descrizione dell'evoluzione oraria dei diversi parametri termoigrometrici all'interno della giornata lavorativa di riferimento, abbiamo determinato il valore della temperatura di globotermometro T_g a partire da quella dell'aria T_a , utilizzando alcune misure della loro differenza, ottenute in campo, in diversi momenti di una mattinata ben soleggiata del 6 agosto 2020.

Per determinare l'andamento di $T_g - T_a$ abbiamo eseguito un'interpolazione dei valori di irraggiamento misurati dagli scriventi, con un piranometro, nel corso di una giornata estiva con meteo sereno, due anni prima (27/07/2018) in una località vicina, simile a quella in cui si trova l'Ospedale San Raffaele. La funzione d'interpolazione che abbiamo scelto di utilizzare è una supergaussiana con quattro parametri liberi, come indicato di seguito:

$$f(x) = a \cdot e^{-c \cdot (x-b)^d}$$

L'adattamento dei parametri così determinati è stato poi effettuato valutando l'adattamento della curva ai valori di $T_g - T_a$ misurati in data 06/08/2020 sotto la tensostruttura dell'Ospedale San Raffaele. Questi dati si riferiscono a tre rilevazioni eseguite sotto il tendone del drive-in. Nella figura sotto si riportano gli esiti delle rilevazioni in termini di $T_g - T_a$ e gli orari in cui tali dati sono stati registrati, i parametri ricavati dall'interpolazione per modellare la funzione e una rappresentazione della curva risultante.

L'esito di questa predizione fornisce i valori della temperatura di globotermometro T_g nell'intera giornata di riferimento, ottenuti per differenza con i valori della temperatura dell'aria T_a , ricavati dall'archivio meteo. Si nota che al di sotto del tendone la differenza tra T_g e T_a può raggiungere circa 6 gradi nei momenti della giornata in cui l'irraggiamento è maggiore (tra le 12 e le 14).

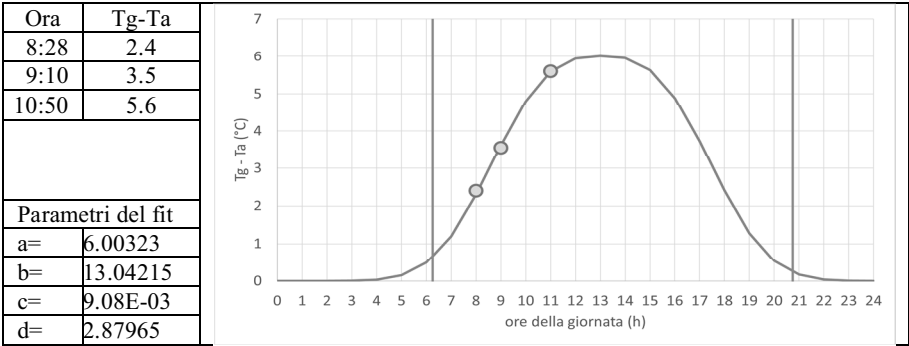


Figura 3. Curva dell’evoluzione temporale della differenza tra la temperatura di globotermometro T_g e la temperatura dell’aria T_a . I tre pallini indicano gli esiti delle misurazioni effettuate in campo e le linee verticali i momenti della giornata corrispondenti ad alba e tramonto.

Tabella 4: Evoluzione oraria dei parametri microclimatici nella giornata di riferimento per le simulazioni PHS

Ora	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
t_a [$^{\circ}\text{C}$]	22.3	23.7	25.6	27.7	29.7	30.8	31.9	32.8	33.4	33.8
t_g [$^{\circ}\text{C}$]	23.5	26.0	29.2	32.5	35.3	36.7	37.9	38.8	39.0	38.7
RH [%]	56.0	52.0	48.0	42.0	37.0	35.0	33.0	32.0	33.0	34.0
v_a [m/s]	0.8	0.8	0.3	0.6	0.3	0.3	0.8	0.6	1.0	1.0

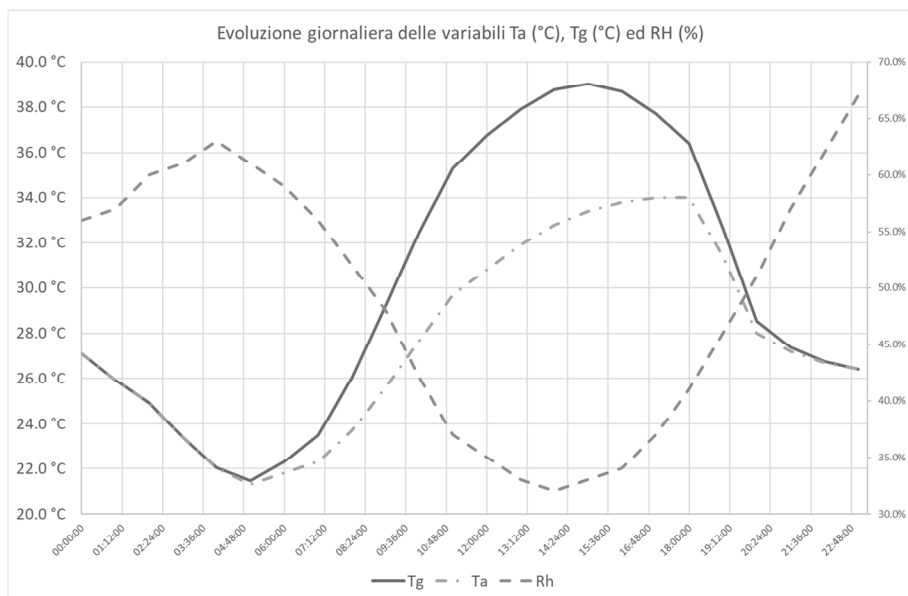


Figura 4. Rappresentazione grafica dell'evoluzione oraria dei parametri termigrometrici nella giornata di riferimento

Nella tabella 4 sono riportati i valori orari dei quattro parametri microclimatici richiesti per una simulazione con il metodo PHS secondo la UNI EN ISO 7933:2005. Questo metodo, opportunamente corretto recependo le indicazioni delle BS 7963:2000, è infatti quello prescelto per condurre la valutazione di stress termico come illustrato più avanti.

8-VALUTAZIONE DELLO STRESS TERMICO MEDIANTE L'ANALISI DELL'AMBIENTE TERMICO

La valutazione del rischio microclima dovuto a stress termico da caldo può essere eseguita a partire dalla descrizione quantitativa dell'ambiente termico, attraverso le due seguenti metodiche:

1. WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)
2. PHS (Predicted Heat Strain)

Questi sono gli unici sistemi elaborati a livello internazionale per una valutazione oggettiva dello stress termico da caldo riferita a gruppi di lavoratori.

Se la prima delle due risulta fondamentalmente applicabile solo per uno screening iniziale, la seconda è invece più raffinata e porta a valutazioni ben più accurate grazie alla risoluzione di un'equazione di bilancio termico.

Trascurata pertanto la metodica WBGT perché procedura da non utilizzare per esaminare casi ad alta criticità, si deve considerare che anche la più raffinata procedura PHS, nel caso in esame, presenta alcuni limiti. Lo standard di riferimento (UNI EN ISO 7933:2005) risulta infatti applicabile solo nei casi in cui l'abbigliamento degli addetti sia tale da garantire l'efficacia di tutti i meccanismi di scambio termico tra uomo e ambiente e non è una metodica applicabile nei casi in cui il soggetto indossi un abbigliamento protettivo speciale (ad esempio: abbigliamento riflettente, con raffrescamento attivo, ventilato, impermeabile).

Una soluzione è offerta dalla norma tecnica britannica BS 7963:2000 "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 esistenti (WBGT e PHS) così da ottenere una valutazione degli effetti dello stress termico da caldo anche per i lavoratori che devono indossare abbigliamento protettivo o altri DPI che possono incidere criticamente sugli scambi termici uomo-ambiente.

Di seguito le correzioni da apportare all'algoritmo previsto dal metodo PHS per il calcolo degli indici di rischio (temperatura rettale e sudorazione prevista) se si sceglie di recepire la BS 7963:

- A. utilizzo dei reali valori di permeabilità al vapore dei capi di abbigliamento al posto del valore di permeabilità standard;
- B. riduzione o cancellazione delle correzioni per gli effetti dinamici al valore dell'isolamento termico e a quello della permeabilità al vapore, negli scenari espositivi in cui si ipotizza l'uso di una tuta incapsulante;
- C. riduzione della velocità dell'aria al valore di 0.1 m/s, negli scenari dov'è prevista l'adozione di una tuta impermeabile, così da diminuire anche la quota di calore ceduta per convezione, considerato che è anch'essa inferiore a quella che si avrebbe se l'abbigliamento fosse permeabile al vapore;
- D. correzione dei valori di metabolismo al fine di tenere conto della maggior fatica dei movimenti quando si indossa abbigliamento di tipo protettivo.

Di seguito si presentano i risultati dell'elaborazione degli indici di rischio ottenuti mediante la procedura PHS in due diversi casi:

1. senza le correzioni necessarie per tener conto dell'impiego di abbigliamento protettivo (Figura 5);
2. con le correzioni indicate sopra dalle lettere A, B e C (Figura 6).

Nel primo caso nessuno dei due indici di rischio raggiunge valori critici.

L'attività di esecuzione dei tamponi risulta a basso stress termico con una temperatura interna che raggiunge il valore massimo di 37.3 °C nel corso della fase lavorativa di effettuazione dei tamponi.

Nel secondo caso la procedura mostra il superamento del limite di 38 °C, fissato per la temperatura interna, al 44° minuto della fase di esecuzione dei

tamponi, per arrivare a superare i 40 °C entro il termine della stessa fase lavorativa.

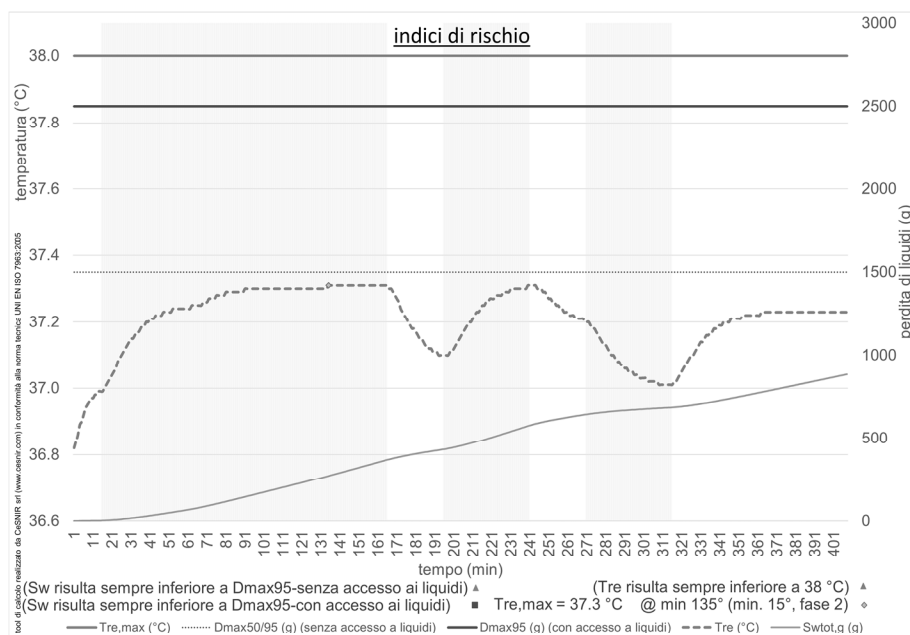


Figura 5. Evoluzione temporale degli indici di rischio (PHS) nel caso di nessuna correzione apportata al metodo. Le bande verticali evidenziano le diverse fasi di lavoro (cfr tabella 3).

Anche in virtù di esperienze pregresse, è parere degli scriventi che le correzioni alla procedura di calcolo indicate dallo standard britannico e indirizzate a tenere nel giusto conto gli effetti sullo stress termico dovuti all'utilizzo di abbigliamento protettivo, siano da adottare con modalità più fini che un mero ON/OFF. Come sarà mostrato più avanti l'esito ottenuto dalla procedura con correzioni si rivela infatti irrealistico ed eccessivamente penalizzante per l'attività lavorativa. Di fatto, il miglior utilizzo delle indicazioni della BS 7963 è sicuramente quello di applicarle con modularità, definendo in primo luogo quali tipi di correzioni adottare (e questa è la scelta meno difficile) e successivamente la loro entità, intesa come, ad esempio, la misura della riduzione della permeabilità e/o dell'effetto di pumping. Tuttavia questa valutazione quantitativa sulla "dose di correzione" rischia di essere arbitraria perché mancante di un supporto rigoroso per la definizione della sua entità.

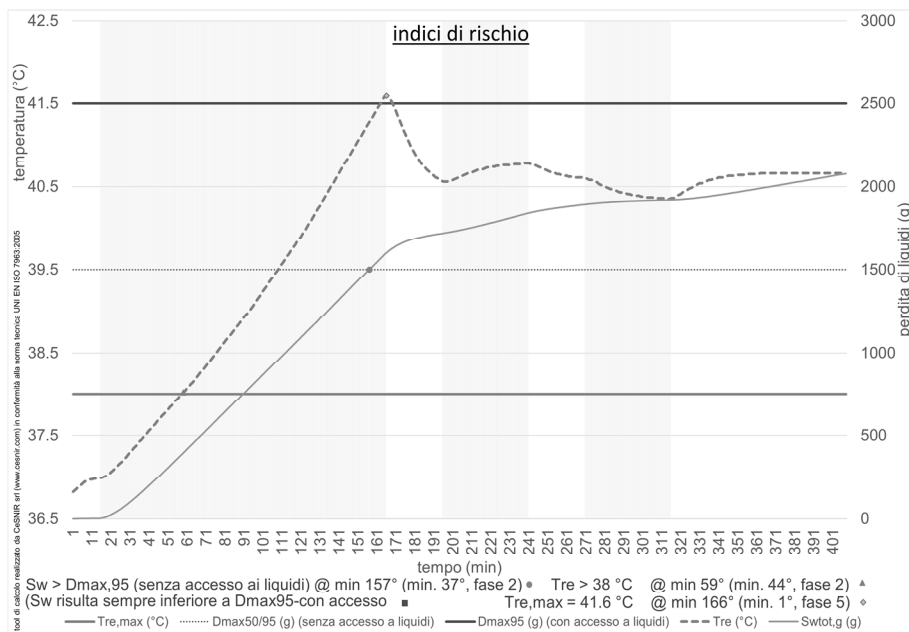


Figura 6. Evoluzione temporale degli indici di rischio (PHS) nel caso dell'applicazione delle correzioni A, B e C. Le bande verticali evidenziano le diverse fasi di lavoro (cfr tabella 3).

9-VALUTAZIONE DELLO STRESS TERMICO MEDIANTE MISURAZIONE DI PARAMETRI FISIOLÓGICI

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).

Questo metodo risulta tuttavia poco adatto nella pratica dell'igiene industriale ma una via più agevole è offerta da una procedura non standardizzata elaborata nell'ambito delle forze armate statunitensi, basata su misurazioni della frequenza cardiaca (Buller et al, 2013, 2015). Per valutare la performance del metodo sono state esaminate 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. Il sistema si è confermato affidabile e utilizzabile anche nei casi in cui gli addetti indossino abbigliamento protettivo di tipo CBRNE (Chemical Biological Radiological Nuclear and Explosive Equipment).

³ "Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche"

Il metodo statunitense, da noi più volte adottato nel passato, è stato applicato anche in questo caso. Sono state eseguite misurazioni della frequenza cardiaca di quattro addette all'effettuazione tamponi per più giornate, raggiungendo circa 100 ore di monitoraggio.

In Figura 7 è presentata l'evoluzione temporale della frequenza cardiaca misurata e della temperatura interna stimata con il metodo statunitense per l'operatore B nella giornata del 10/8/2020, caso che rappresenta il peggiore di tutti quelli osservati.

Il grafico mostra l'incremento nella temperatura interna nel corso della fase di effettuazione tamponi (zona inquadrata dalla linea tratteggiata) e il raggiungimento del valore massimo di 37.7 °C. Il margine rispetto al limite di 38 °C si può considerare accettabile e l'attività risulta pertanto svolta in sicurezza, tuttavia l'incremento nel valore di temperatura interna è significativo.

Sempre nella Figura 7 sono anche presentati i risultati di quattro misurazioni puntuali della temperatura timpanica. Nell'arco delle nostre esperienze di questi ultimi tre anni, periodo nel quale abbiamo sperimentato l'adozione di metodi per la valutazione dello stress termico in grado di superare i limiti del metodo PHS, questa è stata la prima occasione nella quale abbiamo introdotto la misurazione della temperatura timpanica, facilitati dal fatto che i lavoratori oggetto di osservazione sono figure sanitarie. Tuttavia questa misurazione si è rivelata non sempre attendibile per mancanza della precisione desiderata, è infatti noto che può essere influenzata dalla temperatura ambientale e dalla difficoltà di puntare la membrana timpanica con il lettore.

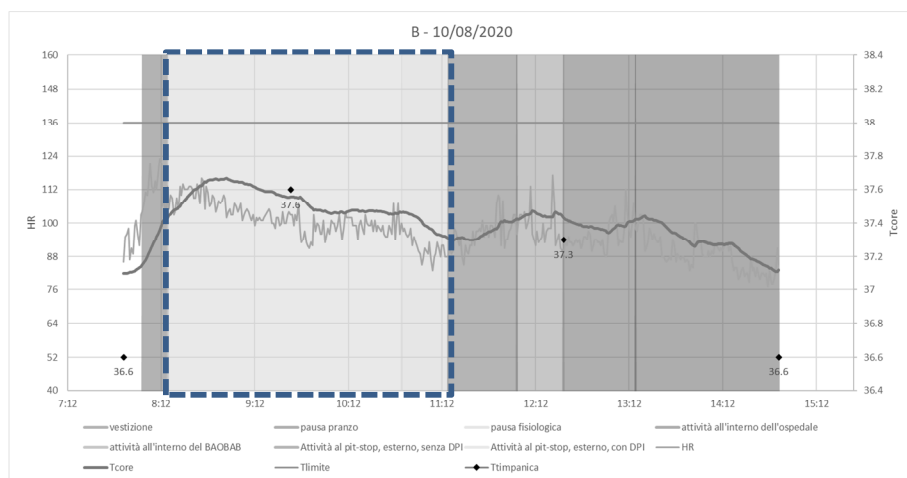


Figura 7. Evoluzione temporale dei valori di frequenza cardiaca (misurata) e di temperatura rettale (calcolata) nel corso di un'intera giornata di lavoro

Restituiamo anche gli esiti del monitoraggio di altre due giornate, con risultati analoghi.

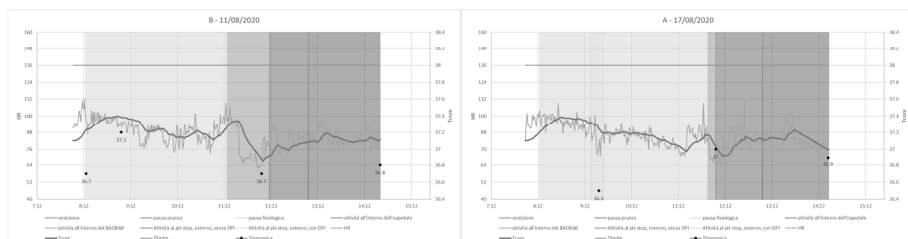


Figura 8. Evoluzione temporale dei valori di frequenza cardiaca e di temperatura rettale per operatori diversi, nel corso di due distinte giornate di lavoro

I monitoraggi cominciano con i soggetti in condizioni di riposo e a inizio turno, così che l'algoritmo di calcolo abbia sempre 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. Si fa notare che il valore della temperatura interna iniziale è assunto pari a 37.1 °C nell'algoritmo di Buller e che è invece pari a 36.8 °C nella procedura di calcolo PHS; inoltre, nel primo esempio portato, si nota che la temperatura timpanica è pari a 36.6 °C. Si deve sapere che la procedura del ricercatore statunitense riesce comunque a neutralizzare velocemente un eventuale errore, anche grossolano, nell'attribuzione della temperatura iniziale del soggetto.

A titolo di esempio, in Figura 9, ripubblichiamo il primo grafico con l'aggiunta del tracciato di temperatura interna che si ottiene ipotizzando che la temperatura iniziale sia 36.6 °C anziché 37.1 °C.

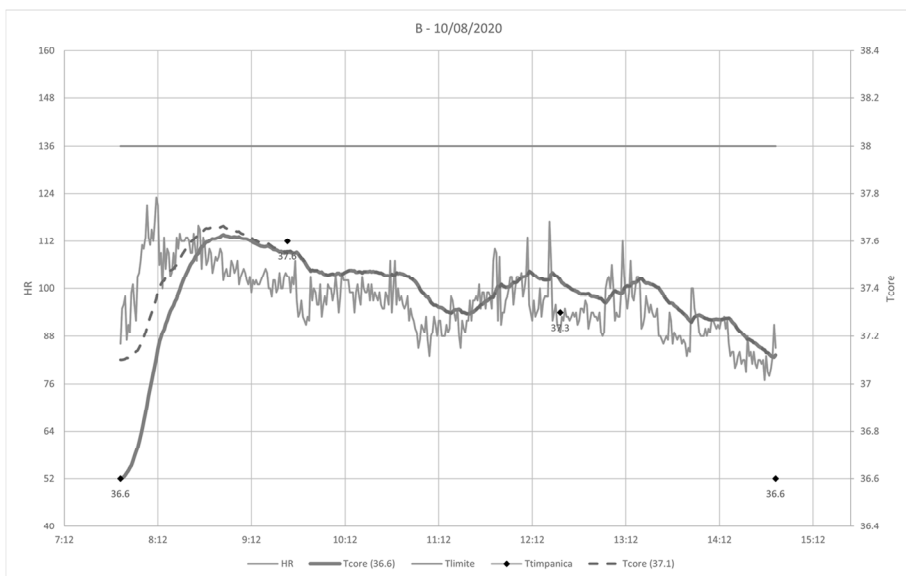


Figura 9. Evoluzione temporale della temperatura rettale ipotizzando differenti valori iniziali della stessa

10-CONFRONTO TRA I METODI

Le valutazioni tramite la metodica PHS “pura” e quella corretta secondo BS 7963 hanno restituito esiti opposti in termini di conformità ai limiti adottati, inoltre nessuno dei due risulta confrontabile con la valutazione tramite misurazioni fisiologiche.

Si deve infatti considerare che la procedura PHS comprende degli ampi margini di cautela e il confronto tra gli esiti di questa e quelli risultanti da un monitoraggio fisiologico normalmente dovrebbe restituire indici di rischio più alti per la prima.

Abbiamo quindi provato ad utilizzare il risultato della valutazione tramite parametri fisiologici per operare una sorta di taratura delle correzioni da apportare alla procedura PHS su indicazione dalla norma BS 7963. Il miglior risultato è mostrato in Figura 10.

Si deve tuttavia tener presente che i gradi di libertà sui quali agire sono molti, soprattutto se si accetta che, come scritto precedentemente, le correzioni apportate al metodo PHS dalla BS 7963, siano da modulare, invece che essere adottate con un approccio “o tutto o niente”.

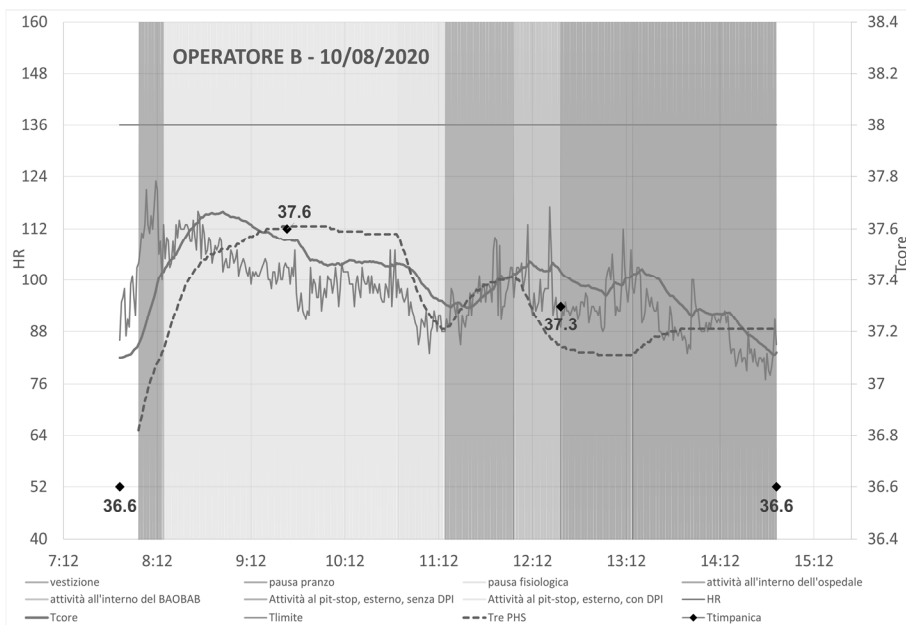


Figura 10. Confronto tra l'evoluzione temporale della temperatura rettale calcolata con l'algoritmo di Buller a partire dalla frequenza cardiaca (linea continua) e l'evoluzione della stessa grandezza calcolata con la procedura PHS, così come corretta dalla BS 7963 (linea tratteggiata), avendo modulato le correzioni da apportare in modo da ridurre al minimo la distanza tra le due curve.

11-CONCLUSIONI

Questo lavoro concerne l'accertamento sullo stress termico correlato con una specifica situazione lavorativa, ovvero quella vissuta dal personale sanitario che, in ambiente outdoor, esegue tampone oro-faringeo su pazienti.

I risultati mostrano che, anche nel corso delle calde giornate estive, operando però sotto la protezione di uno schermo alla radiazione solare diretta, la temperatura rettale si mantiene sotto il limite di 38 °C con un congruo margine anche nelle giornate più calde (la massima temperatura rettale raggiunta è infatti di 37.7 °C).

Il risultato è probabilmente attribuibile al basso metabolismo correlato con i compiti lavorativi svolti. L'energia sviluppata internamente per compiere le attività più pesanti può essere infatti una delle principali cause del surriscaldamento umano ma in questo caso risulta di bassa rilevanza.

L'interesse per questa esperienza è determinato dal fatto che l'abbigliamento indossato dai lavoratori è di tipo incapsulante e impermeabile ed esclude la

possibilità di adottare la norma tecnica relativa alla metodologia PHS per compiere l'accertamento.

Per questo motivo la verifica è compiuta apportando alla procedura PHS le correzioni suggerite dalla norma britannica BS 7963, ma i risultati ottenuti profilano degli scenari irrealistici come confermato sia da osservazioni sul campo, sia tramite il controllo delle temperature timpaniche.

Il miglior impiego della metodica PHS modificata secondo BS 7963 dovrebbe prevedere un utilizzo molto accurato delle correzioni al metodo ma questo aspetto non è trattato dalla norma e ciò costituisce il punto più debole di questo criterio. Sarebbe auspicabile che nuovi lavori aiutassero a fare chiarezza su questo argomento, in modo da definire criteri di modularità e gradualità per l'applicazione delle correzioni proposte dalla norma britannica.

L'esito che riteniamo maggiormente attendibile è quello dei risultati ottenuti mediante il monitoraggio di parametri fisiologici e precisamente della frequenza cardiaca. Come già argomentato in lavori precedenti (Merlino et al., 2018, 2019) il monitoraggio della frequenza cardiaca non è finalizzato alla valutazione dello stress termico mediante la procedura standardizzata (UNI, 2014), ma è utilizzato per calcolare la temperatura del nucleo corporeo tramite un algoritmo elaborato nell'ambito delle forze armate statunitensi (Buller et al., 2013, 2015).

La nostra valutazione è che questa metodica sia matura a sufficienza per emergere dall'isolamento nel quale oggi si trova nel nostro Paese e auspichiamo che nei prossimi anni ci siano sempre più occasioni di confronto sul tema.

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] A. Merlino, G. Gambino, D. Meda, G. Quadrio (2019) *Accertamenti di stress termico mediante monitoraggio della frequenza cardiaca degli esposti*, atti del convegno nazionale dBA 2019 (Bologna, 17 ottobre 2019)
- [5] A. Merlino, G. Gambino, (2020) *COVID-19: il rischio microclimatico per gli operatori di primo soccorso*, PuntoSicuro, anno 22, numero 4732
- [6] INAIL (2020), *COVID-19 e protezione degli operatori sanitari*
- [7] ISS (2020), *Rapporto ISS COVID-19 • n. 2/2020 Rev. 2 - Indicazioni ad interim per un utilizzo razionale delle protezioni per infezione da SARS-COV-2 nelle attività sanitarie e sociosanitarie (assistenza a soggetti affetti da COVID-19) nell'attuale scenario emergenziale SARS-COV-2. Versione del 10 maggio 2020*
- [8] Regione Lombardia (2020), D.G. Welfare. D.d.g. 6 agosto 2020 - n. 9583, *Aggiornamento degli indirizzi per l'organizzazione delle attività sanitarie in relazione all'andamento dell'epidemia da COVID 19*
- [9] BS 7963:2000 *Guide to the assessment of heat strain in workers wearing personal protective equipment*
- [10] UNI EN ISO 12894:2002 *Ergonomia degli ambienti termici - Supervisione medica per persone esposte ad ambienti molto caldi o molto freddi*
- [11] UNI EN ISO 9886:2004 *Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche*
- [12] 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*
- [13] *Core Body Temperature Estimation From Heart Rate*, US Army Research Institute of Environmental Medicine (USARIEM), 13 June 2014,
- [14] http://www.usariem.army.mil/index.cfm/modeling/cbt_algorithm (consultato il 14/10/2020)

CRITERI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO FOTO-TOSSICO DEI DISINFETTANTI NEL LAVORO OUTDOOR

Lucia Miligi (1), Maria Cristina Acciai (2), Roberta Pozzi (3), Lucia Bramanti (4), Alessandra Chiarugi (5), Carlo Grandi (6), Iole Pinto (7)

- [1] SS di Epidemiologia dell'Ambiente e del Lavoro, SC Epidemiologia dei Fattori di Rischio e degli Stili di Vita, Istituto per lo Studio, la Prevenzione e la Rete Oncologica-ISPRO, Firenze
- [2] Centro Polidiagnostico, INAIL Firenze
- [3] Centro Nazionale Protezione Dalle Radiazioni e Fisica Computazionale - Istituto Superiore di Sanità. Roma
- [4] UF PISLL, AUSL Toscana Nord Ovest
- [5] SC Screening e Prevenzione Secondaria, ISPRO
- [6] DIMEILA, INAIL Roma
- [7] Laboratorio Sanità Pubblica, AUSL Toscana Sud Est

PREMESSA

Nell'ambito del gruppo tematico agenti fisici del Coordinamento Tecnico Interregionale Prevenzione e Sicurezza nei Luoghi Lavoro sono in via di completamento le linee di indirizzo (FAQ) sugli agenti fisici, che aggiornano ed integrano le Linee di indirizzo precedentemente pubblicate (1). Tra queste una specifica ha riguardato l'esposizione a radiazione solare (di seguito RS) per i lavoratori all'aperto. Infatti, nei luoghi di lavoro che prevedono mansioni svolte all'aperto l'esposizione a RS costituisce un fattore di rischio per i lavoratori.

Le componenti della RS che giungono sulla superficie terrestre e che hanno degli effetti per la salute dei lavoratori esposti si collocano nell'intervallo di spettro elettromagnetico nelle tre bande spettrali: ultravioletta A e B, visibile ed infrarossa.

Le FAQ RS sono state preparate e discusse da un sottogruppo di lavoro afferente al gruppo nazionale che è composto da fisici, medici del lavoro, medici dermatologi, biologi ed epidemiologi, le FAQ RS sono nella fase conclusiva di preparazione ed hanno preso in considerazione numerosi argomenti.

Gli argomenti che sono stati affrontati dalle FAQ RS sono i seguenti:

- gli effetti sulla salute
- quali sono le condizioni di maggiore suscettibilità alla radiazione solare
- il ruolo della sorveglianza sanitaria nel caso dei lavoratori esposti a radiazione solare
- i criteri da seguire per l'attività di sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a radiazione solare

- come si effettua l'identificazione dell'esposizione a radiazione solare
- quali sono le attività lavorative per le quali il rischio da esposizione a radiazione UV solare deve essere valutato
- quali fonti è possibile utilizzare per la valutazione della esposizione a radiazione UV solare
- quali fattori concorrono ad incrementare il rischio espositivo
- quali misure tecniche e organizzative adottare all'esito della valutazione del rischio da RS
- come deve essere strutturata e che cosa deve riportare la Relazione Tecnica di supporto al documento di valutazione del rischio da Radiazione UV solare
- quali sono le indicazioni per gli indumenti protettivi e i copricapi
- in che modo è possibile proteggere gli occhi dall'esposizione a radiazione solare
- qual è il ruolo delle creme solari per la protezione della cute foto-esposta nei lavoratori
- quali sono i contenuti della informazione/formazione
- come effettuare correttamente l'autoesame della cute, parte integrante della prevenzione secondaria delle neoplasie a questo livello
- quali sono gli adempimenti nel caso di lavorazioni che espongano a radiazioni ottiche di origine naturale, che non sono esplicitamente incluse nel campo di applicazione dell'art. 180 del D.Lgs. 81/2008
- se gli effetti avversi sulla salute dovuti a RS sono oggetto di riconoscimento di malattia professionale
- quali sono gli adempimenti medico legali necessari in ordine all'evento malattia professionale

Un argomento che inoltre è stato affrontato, è quello dei prodotti per la disinfezione delle mani raccomandati durante la pandemia COVID-19, che possono essere utilizzati anche dai lavoratori che svolgono mansioni all'aperto ed è oggetto di questo specifico intervento.

GLI EFFETTI SULLA SALUTE DERIVANTI DALL'ESPOSIZIONE A RS

La componente ultravioletta (UV) della RS è quella che pone i maggiori rischi per la salute umana. Gli effetti sanitari avversi riconosciuti sono prevalentemente a carico della cute e degli occhi e possono essere con insorgenza sia a breve termine (effetti acuti) che a lungo termine (effetti cronici) dovuti a protratte esposizioni, anche di anni, non infrequenti nei lavoratori con mansioni all'aperto.

Tra gli *effetti acuti* oltre all'eritema solare che può arrivare a forme gravi come le ustioni solari, dobbiamo menzionare l'induzione od esacerbazione di quadri clinici affetti da fotosensibilità (fotodermatosi).

Effetti a lungo termine a livello della cute

La radiazione ultravioletta solare è stata riconosciuta e classificata nel Gruppo 1 degli agenti certamente cancerogeni per l'uomo dall'International Agency of Research on Cancer (IARC) organismo dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) (<https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications>). Può infatti causare sia carcinomi baso-cellulari (BCC) e squamo-cellulari (SCC) sia il melanoma maligno (MM) (2). La componente spettrale più attiva è l'UVB, ma anche alla componente UVA è riconosciuta azione cancerogena (la IARC classifica infatti come cancerogeni per l'uomo non solo la radiazione solare nel suo insieme, ma anche le bande spettrali UVC, UVB e UVA considerate separatamente). La RS può inoltre causare lesioni preneoplastiche quali la cheratosi attinica.

Fotoinvecchiamento

È legato soprattutto all'esposizione cumulativa alla radiazione UVA solare, con un ruolo importante anche per la banda UVB. Si sovrappone al normale invecchiamento fisiologico della cute, interessa non solo l'epidermide ma soprattutto il derma e può dare origine a quadri differenti e con diversa gradazione.

Effetti di tipo acuto e cronico a livello dell'occhio

Si possono inoltre verificare effetti acuti per quanto riguarda l'occhio, tra questi le retinopatie e come possibile effetto cronico *lo Pterygium* che è una formazione degenerativa che interessa generalmente l'orlo corneo-congiuntivale. L'esposizione cronica alla RS è considerata una delle cause principali di questa condizione. Anche l'insorgenza di cataratta, soprattutto di tipo corticale, è stata messa in relazione con l'esposizione cronica alla RS. Il dato epidemiologico non consente ancora di confermare definitivamente il nesso causale tra esposizione a RS e cataratta.

Per quanto riguarda il melanoma oculare la IARC nella monografia 100D del 2012 (2) sulla base delle evidenze disponibili conclude che c'è limitata evidenza con l'esposizione a RS.

Altri effetti: Reazioni di fotosensibilità

Le reazioni di fotosensibilità possono essere incluse tra gli effetti indiretti essendo dovute non all'azione diretta della radiazione sul tessuto, ma alla presenza di una sostanza che viene foto-attivata, infatti queste sono indotte dall'esposizione combinata alla RS e ad un composto di natura fotoattiva. Quest'ultimo può raggiungere la cute (ma potenzialmente anche l'occhio) per contatto o per via sistemica (ad esempio dopo l'ingestione e l'entrata in circolo). Le reazioni possono essere di natura fototossica, nella quale interviene una risposta infiammatoria ad un danno macromolecolare e cellulare dovuto all'attivazione della sostanza da parte della radiazione, o

fotoallergica/fotosensibilizzanti, nella quale si assiste ad una reazione immune nei confronti di un neo-antigene costituito dalla sostanza in esame legata ad un substrato biomolecolare, in questo caso la reazione di legame viene catalizzata dalla radiazione solare. La banda spettrale più efficace nell'indurre reazioni di fotosensibilizzazione è data dalla componente UVA, seguita dall'UVB. Tuttavia, per alcune sostanze fotoattive (ad esempio porfirine) è sufficiente l'esposizione della cute alla banda del visibile. Gli agenti fotosensibilizzanti e fototossici sono molto numerosi (3) (vedi anche tabella dei fotosensibilizzanti nel portale agenti fisici PAF https://www.portaleagentifisici.it/fo_ro_naturali_prevenzione_e_protezione.php?lg=IT), ma quelli più frequentemente coinvolti sono alcune categorie di farmaci e alcuni tipi di piante. Il potenziale fotosensibilizzante varia da sostanza a sostanza e in funzione della concentrazione raggiunta nel tessuto bersaglio. Alcuni agenti hanno potenziale solo fototossico, altri solo fotoallergico, altri ancora sia fototossico che fotoallergico.

Nella prevenzione degli effetti derivanti dall'esposizione a RS e le azioni conseguenti relative a diversi aspetti, la valutazione del rischio assume una importanza fondamentale per quelle attività lavorative all'aperto che comportano questa esposizione e che riguardano un elevato numero di lavoratori, impiegati in diversi settori, dall'agricoltura ed edilizia al settore marittimo fino a chi lavora nei piazzali aperti in diversi comparti lavorativi.

Ci siamo chiesti quindi nel sottogruppo di lavoro sulle FAQ RS se i lavoratori all'aperto si potessero trovare nella situazione di utilizzare sostanze che potrebbero aumentare gli effetti derivanti dall'esposizione a RS, dato che a seguito della Pandemia COVID 19 tra le varie indicazioni da rispettare sono prescritte il lavaggio delle mani con prodotti specifici per la disinfezione.

Su questo punto abbiamo fatto un approfondimento all'interno delle FAQ RS chiedendoci quindi se i prodotti per la disinfezione delle mani raccomandati durante la pandemia COVID-19, possono essere utilizzati anche dai lavoratori che svolgono mansioni all'aperto.

L'UTILIZZAZIONE DEI PRODOTTI PER LA DISINFEZIONE DELLE MANI NEL LAVORO ALL'APERTO

L'utilizzazione dei prodotti per la disinfezione delle mani è consigliata nei casi in cui non sia possibile effettuarne il lavaggio accurato con acqua e sapone, che è una delle raccomandazioni principali per il contenimento della diffusione del contagio da virus SARS-CoV-2 causa della pandemia COVID-19.

Nell'Allegato 9 "Linee Guida per la ripresa delle attività economiche e produttive della Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome

dell'11 Giugno 2020" parte integrante del DPCM 11/06/2020 pubblicato in G.U. n.147 dell'11/06/2020, viene raccomandato di mettere a disposizione presso le aziende e le attività lavorative dispenser con soluzioni idroalcoliche (al 70-75% di etanolo) per la disinfezione delle mani.

Inoltre, nella scheda MANUTENZIONE DEL VERDE presente sempre nell'Allegato 9, anche per i lavoratori all' aperto è prevista l'utilizzazione di prodotti per la disinfezione delle mani.

I gel disinfettanti idroalcolici sono composti da alcol etilico, acqua e glicerina che ne rappresentano i costituenti di base. A questi possono essere eventualmente aggiunte, per migliorarne le proprietà e le caratteristiche "organolettiche", altre sostanze quali: agenti addensanti e viscosizzanti (in genere polimeri sintetici dell'acido acrilico come "Carbomer" o "Acrylates/C10-30-alchilalchilato crosspolimero), conservanti (metilisotiazolinone, fenossietanolo, imidazolidinilurea, etc), tensioattivi ed emulsificanti (trietanolamina), agenti veicolanti (glicole propilenico), alcol isopropilico, profumi (geraniolo, idrossicitronellale, composti cinnamici), olii essenziali (limonene, citrale) ed estratti vegetali (di arancia amara, bergamotto, pompelmo, calendula, etc.).

A parte le ben note proprietà sensibilizzanti dei conservanti e dei profumi è importante sottolineare che alcuni estratti vegetali in particolare di bergamotto (*Citrus bergamia*) e di limone (*Citrus limon*) contengono psoralenici che possono provocare fenomeni di fototossicità cutanea dopo esposizione ad UV con comparsa di eritema seguito da iperpigmentazione ritardata che può persistere per mesi. Un quadro caratteristico dovuto alla presenza di olio di bergamotto (5-metossipsoralene) in alcuni profumi è la cosiddetta "Berloque dermatitis": nella sede cutanea di applicazione del profumo, successivamente esposta al sole, compaiono una o più chiazze eritematose ed iperpigmentate a forma di goccia ("drop-like shape patches"). Oli essenziali, muschi e composti cinnamici presenti nei profumi possono anche comportarsi come "fotosensibilizzanti/fotoapteni" ed indurre reazioni cutanee allergiche (dermatite fotoallergica da contatto).

Attualmente in commercio si trova un'ampia gamma di gel idroalcolici con le formulazioni più varie. Considerato l'utilizzo assiduo imposto dalle norme di prevenzione sono da preferirsi i gel idroalcolici con il più basso numero di ingredienti, privi di profumi, conservanti, coloranti ed estratti vegetali al fine di prevenire eventuali reazioni cutanee allergiche e/o fenomeni di fototossicità e di fotoallergia. I componenti ("ingredients") del gel idroalcolico sono solitamente riportati in etichetta e la ditta produttrice oltre a fornire la scheda tecnica dettagliata dei prodotti e i riferimenti alle relative schede di sicurezza può essere contattata per eventuali informazioni aggiuntive se ritenute necessarie.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'esposizione a RS dei lavoratori all'aperto costituisce un rischio per la salute e ogni aspetto che possa aggravare questo rischio va preso in considerazione.

L'uso di prodotti per la disinfezione delle mani anche da parte di lavoratori all'aperto a causa della pandemia COVID 19 può costituire un rischio aggiuntivo.

Le raccomandazioni importanti che alla luce di questo approfondimento possono essere fatte sono le seguenti:

- attenersi scrupolosamente alle indicazioni riportate nelle schede di sicurezza dei prodotti (Utilizzare su cute integra, non fumare se sono contenute sostanze infiammabili, presenza di sostanze irritanti per la cute e per gli occhi, etc.)
- avvalersi della consulenza del Medico Competente e del Medico Specialista Dermatologo per la scelta dei prodotti da utilizzare. Questo, affinché venga effettuata una accurata valutazione anche della possibile presenza di sostanze foto sensibilizzanti/fototossiche che possono dare luogo a gravi effetti avversi sulla cute nel caso di attività lavorative svolte all'aperto.

BIBLIOGRAFIA

1. Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome: "Decreto Legislativo 81/2008, Titolo VIII, Capo I, II, III, IV e V sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro Indicazioni operative" <http://www.portaleagentifisici.it/DOCUMENTI/>
2. International Agency for research on cancer IARC, WHO. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, Volume 100 D: Radiation ,Lyon 2012 ([http:// http://monographs.iarc.fr](http://monographs.iarc.fr))
3. ICNIRP International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Protecting Workers from Ultraviolet Radiation ICNIRP 14/2007

IL RISCHIO DA ROA NELL'UTILIZZO DI LAMPADE GERMICIDE PER IL CONTRASTO ALLA DIFFUSIONE DEL VIRUS SARS- COV-2: STATO DELL'ARTE ED INDIRIZZI DEL COORDINAMENTO INTERREGIONALE

Iole Pinto (1), Andrea Bogi (1), Nicola Stacchini (1), Francesco Picciolo (2), Roberta Pozzi (3).

- (1) Azienda USL Toscana Sud est – Laboratorio di Sanità Pubblica - Siena
- (2) Università degli Studi di Siena – Dipartimento di Scienze fisiche, della Terra e dell'Ambiente
- (3) Istituto Superiore di Sanità – Centro Nazionale per la Protezione dalle Radiazioni e Fisica Computazionale - Roma

INTRODUZIONE

La radiazione ultravioletta, in particolare quella UV-C alla quale è riconosciuta una efficace azione germicida su virus, batteri spore e funghi, è studiata sin dagli anni '30 del secolo scorso quando se ne comprese la modalità di azione. La sua azione induce modificazioni nelle basi azotate del materiale genetico (DNA o RNA) del patogeno inattivandone la capacità di replicazione. L'efficacia della radiazione ultravioletta è stata provata anche su agenti patogeni virali causa delle influenze stagionali invernali e nei confronti dei coronavirus che hanno causato la SARS e la MERS. L'utilizzazione delle lampade germicide in ambienti di lavoro e comunitari ha avuto un ruolo importante per il contenimento della diffusione di agenti infettivi che si trasmettono per via aerea comunemente presenti nelle sale operatorie e negli ospedali come nel caso del micobatterio della tubercolosi. La loro efficacia sul batterio responsabile della tubercolosi è stata ribadita recentemente nella pubblicazione "WHO Guidelines on Tuberculosis Infection Prevention and Control. 2019 Update" dal WHO (1).

Le lampade con azione germicida impiegate tradizionalmente in ambito sanitario, per la quale è accertata l'efficacia da evidenze sperimentali, sono quelle a bassa pressione e a scarica di mercurio con emissione principale a 254 nm.

Grazie alla evoluzione della tecnologia LED sono state di recente sviluppate lampade con emissione UV-C tipicamente nell'intervallo 260-280 nm in sistemi portatili e per un'ampia gamma di applicazioni, anche per uso domestico e in beni di consumo (2).

A differenza delle tradizionali lampade fluorescenti UV-C a mercurio, in genere, i sistemi LED UV-C hanno bassa potenza e se utilizzati a distanza di

pochi centimetri sono in grado di produrre una dose germicida efficace con durate espositive comparabili a quelle richieste per le lampade tradizionali; in caso contrario, per raggiungere la dose germicida efficace la durata espositiva richiesta sarebbe molto più lunga, dell'ordine delle ore. Al momento non esistono sufficienti evidenze sperimentali che, a parità di dose, esposizioni UV-C a bassa potenza e di lunga durata siano di pari efficacia rispetto ad esposizioni ad alta potenza e di breve durata.

È importante ricordare che tutta la radiazione ultravioletta nelle sue componenti UV-A, UV-B ed UV-C è classificata dalla Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) nel Gruppo 1 degli agenti certamente cancerogeni per l'uomo (3).

I danni indotti a livello degli occhi e della cute (Tabella 1) possono avvenire con tempi molto brevi di esposizione (nell'ordine di pochi secondi in presenza di lampade UV-C non schermate): per questo motivo, l'utilizzazione degli UV-C con attività germicida negli ambienti di lavoro deve avvenire nel rispetto di ben precisi protocolli di sicurezza, elaborati a seguito della valutazione del rischio, come prescritto dal D.lgs. 81/08 Titolo VIII Capo V.

I valori limite fissati dalla vigente normativa, in relazione all'impiego di lampade germicide con emissione UV-C da 180 a 250 nm, sono stati recentemente confermati dallo SCHEER in riferimento all'evidenza che l'esposizione accidentale agli UV-C generati da lampade germicide in tale intervallo di lunghezze d'onda è in grado causare gravi danni eritemali, ustioni e gravi forme di fotocheratiti e fotocongiuntiviti ai soggetti inconsapevolmente esposti anche per brevi periodi (2).

Alla luce della crescente diffusione dell'impiego delle lampade germicide a seguito della pandemia COVID 19, anche in ambienti ed attività produttive ove tale impiego non era in passato abituale, il Gruppo Tematico Agenti Fisici del Coordinamento Tecnico Interregionale Salute e Sicurezza nei Luoghi di Lavoro, nell'ambito della revisione delle Linee di Indirizzo sulla valutazione del Rischio ROA (4), ha inserito una FAQ specifica dedicata ai criteri da applicarsi nella valutazione e prevenzione del rischio derivante dall'esposizione a radiazione UVC prodotta dalle Lampade Germicide, che sono discussi nel presente lavoro.

1 - VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA RADIAZIONI OTTICHE NELL'IMPIEGO DI LAMPADE GERMICIDE

La finalità principale della valutazione del rischio da esposizione a radiazioni ottiche emesse dalle lampade germicide 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.

Tabella. 1 Effetti immediati e a lungo termine derivanti dall'esposizione a UVC

Regione spettrale	Occhio	Pelle	
		Immediato	Lungo termine
Ultravioletto C 180 nm - 280 nm	Foto cheratite Foto congiuntivite	Eritema Scottature/ustioni della pelle	Tumori cutanei Invecchiamento precoce della pelle

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 lampade germicide è in genere possibile acquisire dati adeguati ai fini della attuazione delle appropriate misure di tutela senza effettuare alcuna misurazione, utilizzando i dati ed i documenti disponibili on-line sul Portale Agenti Fisici (5, 6) ed i dati forniti dai costruttori ai sensi di specifiche norme di prodotto, se disponibili, come di seguito discusso.

1.1 - Lampade germicide installate nelle cappe utilizzate per lavorare in sterilità nei laboratori

Tipicamente le lampade germicide installate nelle cappe utilizzate per lavorare in sterilità nei laboratori sono costituite da lampade al mercurio, con emissione dominante nella riga spettrale a 254 nm (UV-C). Gli organi bersaglio sono la cornea e la cute (Tabella 1). Le misurazioni effettuate in condizione di esposizione diretta dell'operatore (ad altezza operatore a cappa aperta) alla radiazione emessa dalla lampada e riportate nella banca dati ROA del Portale Agenti Fisici (5), 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. Di seguito si individuano le procedure da adottare per le diverse tipologie di cappe di diffuso impiego nei laboratori al fine di ridurre il rischio di esposizione per gli operatori e per il personale che a qualsiasi titolo si trovi a transitare nelle vicinanze dei suddetti macchinari (6).

a) Procedura per Cappe senza interblocco

Fermo restando che la valutazione del rischio dovrebbe portare al progressivo adeguamento o alla sostituzione di tali cappe con sistemi dotati di interblocco, si riportano nel seguito le procedure da mettere in atto nell'immediato, in attesa dell'adeguamento della cappa:

- Rendere facilmente distinguibile il pulsante di accensione degli UV dagli altri interruttori
- Apporre avvertenze sui macchinari privi di interblocco per lo spegnimento automatico degli UV all'apertura della cappa
- Affiggere sulla cappa in maniera ben visibile il seguente segnale (figura 1) e le seguenti avvertenze:
 - Attenzione: EMISSIONE DI RAGGI UV nel caso di cappa aperta con lampada germicida accesa
 - Pericolo anche per esposizioni molto brevi
 - Prima di aprire la cappa assicurarsi di aver spento gli UV
 - Assicurarsi che il pannello porta lampada a raggi ultravioletti sia inserito nella cappa prima di accendere gli UV.”



Figura 1 - Pericolo Emissione Radiazioni Ottiche Artificiali

È indispensabile provvedere alla formazione degli operatori e di tutti coloro che a qualsiasi titolo possono entrare nell'ambiente in cui è installata la cappa sui rischi da esposizione a radiazione ultravioletta e sulle corrette modalità di operare con la cappa germicida.

b) Procedura per Cappe con chiusura dello schermo a scorrimento non completa

Fermo restando che la valutazione del rischio dovrebbe portare all'adeguamento o sostituzione di tali cappe con sistemi dotati di interblocco, si riportano nel seguito le procedure da mettere in atto nell'immediato, in attesa dell'adeguamento della cappa. Oltre alle avvertenze cui al precedente punto a), andranno opportunamente segnalate le seguenti avvertenze aggiuntive:

- Attenzione: Chiusura del vetro di protezione non completa
- Non sostare nei pressi del macchinario con UV accesi.

c) Procedura per cappe con interblocco

Per tali sistemi il rischio di esposizione ad UV-C è assente se il sistema di interblocco è efficace e funzionante. È indispensabile prevedere una procedura rigorosa di manutenzione e controllo del sistema di interblocco, che prevenga la possibilità di erogazione UV-C con cappa solo parzialmente chiusa. Tale condizione è riscontrabile frequentemente nei sistemi muniti di interblocco. È pertanto indispensabile formare il personale sulle corrette modalità di manutenzione e sul riconoscimento precoce di tale criticità.

1.2 - Lampade germicide a parete

Le lampade germicide a parete installate per sterilizzare sale operatorie o altri ambiti sanitari o comunitari, sono tradizionalmente costituite da lampade al mercurio, con emissione dominante nella riga spettrale a 254 nm (UV-C). Pertanto gli organi bersaglio, come già ribadito in precedenza, sono la cornea e la cute. Le misurazioni effettuate in condizione di esposizione diretta dell'operatore (ad altezza operatore) alla radiazione UV-C emessa da lampade a parete evidenziano esposizioni particolarmente elevate, che comportano il superamento dei limiti di legge per la radiazione UV-C in pochi secondi di esposizione, per un soggetto non protetto. Tali misure sono riportate nella banca dati ROA del Portale Agenti Fisici (5). 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 esse sono installate 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. 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 UV-C e ciò può causare esposizioni rilevanti con danni gravi ad occhi e cute dei soggetti accidentalmente esposti, come peraltro emerge dai dati di letteratura (2). A tal fine è raccomandato che a seguito della valutazione del rischio vengano predisposte specifiche procedure su cui formare il personale riguardo i luoghi ove sono installate lampade germicide con la finalità di fornire delle indicazioni specifiche per l'accesso ai locali e la corretta accensione ed

utilizzazione delle lampade. Si raccomanda di apporre sulla porta d'ingresso dell'ambiente interessato, le seguenti avvertenze:

- Presenza di lampade UV all'interno del locale
- L'esposizione di occhi e cute dovuta all'emissione delle lampade è nociva anche per brevi esposizioni
- Prima di aprire la porta assicurarsi di aver spento gli UV
- Esposizione assente a porta chiusa.

Apporre segnaletica di rischio UV da esporre nei pressi dell'interruttore di accensione delle lampade a ultravioletti ed all'ingresso (Figura 1). Si consiglia di munire i locali di sistemi di segnalazione luminosa che indichino l'accensione delle lampade UV.

1. 3 - Lampade germicide mobili con sensori di presenza

Si tratta di sistemi automatizzati mobili muniti di sensori di prossimità che disattivano l'emissione delle lampade se viene rilevata la presenza di persone o animali a distanze inferiori della distanza di sicurezza. Tali sistemi stanno trovando diffuso impiego in ambito sanitario. Anche in questo caso vale quanto espresso per le cappe germicide munite di interblocco: è indispensabile formare il personale sulle corrette modalità di manutenzione di tali sistemi e sul riconoscimento precoce di criticità nel funzionamento della sensoristica di prossimità, per evitare esposizioni delle persone a distanze inferiori alla distanza di sicurezza.

2 - I RISCHI PER LA SALUTE DERIVANTI DALL'IMPIEGO DI LAMPADE GERMICIDE IN BENI DI CONSUMO

Alcune autorevoli organizzazioni internazionali si sono espresse con toni preoccupati riguardo la dilagante diffusione di questa tipologia di lampade germicide in ambienti di vita e di lavoro a seguito della pandemia COVID-19. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO) (8) ha dedicato una info-grafica ed un breve video sui possibili rischi per la salute dovuti all'esposizione alle lampade, manifestando il timore che potessero essere utilizzate per la sterilizzazione delle mani ed esporre in ogni caso l'utilizzatore ai danni a carico di occhi e cute. La Commissione Internazionale di Illuminazione (CIE) nel suo Position Statement Ultraviolet (UV) Radiation to Manage the Risk of COVID-19 Transmission (9) per il caso specifico delle lampade UV-C, intese come prodotti di consumo, ha manifestato la sua preoccupazione riguardo il fatto che gli utenti di tali dispositivi possano essere esposti a quantità dannose di UV-C. Inoltre, per la CIE, i consumatori potrebbero utilizzare/maneggiare prodotti che emettono

radiazione UV-C in modo inappropriato (quindi non ottenere una disinfezione efficace) oppure potrebbero acquistare prodotti che non emettono effettivamente UV-C (*CIE is concerned that users of such devices may be exposed to harmful amounts of UV-C*). La Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP) (10) nella nota “*Note on use of UVC lamps to kill/inactivate the coronavirus (SARS-CoV-2)*” evidenzia una grande commercializzazione di lampade UV-C che vengono reclamizzate per l'utilizzo domestico per l'inattivazione del virus Sars-CoV-2: l'ICNIRP pone una allerta sulla possibile sovraesposizione alla radiazione UV-C per l'utilizzatore. Nella stessa nota viene riportato inoltre che sono stati segnalati infortuni verificatisi a seguito dell'utilizzazione di queste lampade (11).

Nella Banca Dati ROA del Portale Agenti Fisici (5), sono state pubblicate una serie di misure effettuate in laboratorio su lampade UV-C a LED di recente immissione sul mercato, soprattutto per applicazioni in beni di consumo. Dai risultati ottenuti emerge che i valori limite di esposizione per danno eritemale sono superati dopo pochi secondi/minuti di esposizione alla radiazione UV-C emessa da tali dispositivi, per un soggetto che si trovi nelle vicinanze dell'apparato. I valori limite risultano superati anche nel caso di esposizione alla radiazione UV-C riflessa su superfici metalliche o altamente riflettenti.

Inoltre dalle valutazioni effettuate in laboratorio è emerso che i sistemi di sicurezza installati sui sistemi portatili, che dovrebbero bloccare l'emissione della radiazione qualora la lampada sia diretta verso l'utilizzatore, talvolta non risultano efficienti, in quanto l'emissione UV-C in alcuni sistemi è stata rilevata anche in condizioni di utilizzo in cui la lampada si sarebbe dovuta automaticamente spegnere. In Figura 2 si riporta, a titolo di esempio, la configurazione di misura di una lampada LED portatile, che avrebbe dovuto spegnersi nella geometria indicata in figura (rotazione di 90° rispetto alla direzione di irraggiamento prevista per l'impiego), per cui viceversa sono stati rilevati valori di emissione UV-C tali da superare i valori limite di esposizione per danni oculari e cutanei acuti nel giro di pochi secondi, alle distanze di misura (10 cm).

3 - CONCLUSIONI

Per quanto sopra esposto, stante l'attuale carenza di adeguate norme di prodotto e la notevole disomogeneità dei sistemi commercializzati, è fortemente sconsigliato l'utilizzo di lampade UV-C per impiego non professionale.

Nel caso della sterilizzazione di ambienti di lavoro e comunitari, l'impiego delle lampade germicide comporta sempre una accurata valutazione dei rischi, secondo quanto prescritto dal D.lgs. 81/08 Titolo VIII Capo V. Andrà pertanto effettuata un'attenta verifica delle caratteristiche di sicurezza del dispositivo e delle appropriate modalità d'uso ai fini della sterilizzazione; l'impiego dovrà essere riservato solo a personale che sia stato adeguatamente formato sulle corrette procedure di utilizzo e sui rischi derivanti dall'esposizione alla radiazione UV emessa da tali apparati.

Nel presente lavoro sono state sintetizzate le principali misure di tutela da mettere in atto per le diverse tipologie di lampade germicide di uso professionale, reperibili on line sul Portale Agenti Fisici e nel testo revisionato nel 2020 delle Linee di Indirizzo del Coordinamento Interregionale Sicurezza e Salute Ambienti di Lavoro (5).



Figura 2: Misure effettuate su lampada a LED UV-C con inclinazione a 90°: il sistema avrebbe dovuto spegnersi con inclinazione da 60° per prevenire l'esposizione accidentale del volto dell'utilizzatore.

BIBLIOGRAFIA

- [1] WHO: Guidelines on Tuberculosis Infection Prevention and Control. 2019 Update
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241550512>
- [2] UE- SCHEER Final Opinion on Biological effects of UVC radiation relevant to health with particular reference to UVC lamps 2017
- [3] International Agency for research on cancer WHO. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, Volume 100 D: Radiation ([http:// http://monographs.iarc.fr](http://monographs.iarc.fr))
- [4] 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] www.portaleagentifisici.it – Sezione ROA/BANCA DATI
- [6] www.portaleagentifisici.it – Sezione ROA/Documentazione- Report 1/15 Procedure operative per la prevenzione del rischio da esposizione a Radiazioni Ottiche Artificiali: Cappe sterili e Lampade Germicide
- [7] WHO: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550512>
- [8] WHO <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters>
- [9] CIE:<http://cie.co.at/files/CIE%20Position%20Statement%20%20UV%20radiation%20%282020%29.pdf>
- [10] ICNIRP:<https://www.icnirp.org/en/activities/news/news-article/sars-cov-2-and-uvc-lamps.html>
- [11] Leung KC and Ko TC. Improper use of germicidal range ultraviolet lamp for household disinfection leading to phototoxicity in COVID-19 suspects. Cornea, doi: 10.1097/ICO.0000000000002397.

LA SANIFICAZIONE PER MEZZO DELLA RADIAZIONE UV: ESPERIENZE CONSOLIDATE, PROBLEMI DI SICUREZZA E POSSIBILI SVILUPPI

Francesco Frigerio (1); Massimo Borra (2), Andrea Militello (2), Angelo Tirabasso (2)

(1) ICS Maugeri Spa, Centro Ricerche Ambientali

(2) INAIL - Centro Ricerche “Monteporzio”

INTRODUZIONE

La radiazione ultravioletta nell'intervallo tra 100 e 280 nm (UV-C) ha una ben documentata efficacia germicida dovuta al meccanismo di rottura degli acidi nucleici (RNA e DNA) dei microorganismi. La tecnologia di disinfezione mediante UV-C viene usata comunemente, ad esempio, nelle cappe biologiche di ospedali e laboratori. Per quanto l'azione germicida degli UV-C possa renderne utile l'impiego, è necessario usare cautela quando il loro utilizzo può implicare l'esposizione umana. La fototossicità della radiazione UV-C può provocare danno alla maggior parte degli organi esterni, come occhi e pelle e i limiti di esposizione per effetti acuti devono essere rispettati per salvaguardare salute e sicurezza delle persone. Inoltre, è noto come la radiazione UV-C abbia effetti stocastici e per questa ragione è stata classificata dalla IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro) come agente cancerogeno di classe I. Lo scoppio della pandemia COVID-19 ha sollevato la questione della disinfezione di ambienti domestici e lavorativi, in particolare se condivisi da più persone. Tale problema è particolarmente urgente negli ospedali dove la concentrazione virale può essere molto elevata per la presenza di pazienti COVID-19. Sebbene gli ospedali siano gli ambienti che maggiormente necessitano di un'accurata disinfezione, anche mezzi di trasporto, mercati, scuole, centri commerciali e più in generale gli ambienti di vita, dovrebbero essere disinfettati per controllare il diffondersi della malattia. L'efficacia degli UV-C contro i microorganismi ha suscitato un grande interesse durante l'insorgere della pandemia, facendo comparire sul mercato diversi nuovi strumenti, per differenti applicazioni per la disinfezione, basati su questa tecnologia. Nonostante la mancanza di uno studio che determini precisamente la dose letale degli UV-C per il COVID-19, diversi studi negli ultimi anni sono stati condotti per verificare l'efficienza degli UV-C nell'inattivazione di microrganismi molto simili, come quelli appartenenti alla

stessa famiglia dei Coronaviridae che causano SARS e MERS. L'efficacia della radiazione UV-C nella neutralizzazione di microrganismi, inclusi i virus respiratori, particolarmente suscettibili, è ben documentata. Tuttavia bisogna usare cautela nell'impiego di tecnologie di sanificazione basate sugli UV-C, quando queste comportino la possibile esposizione di persone cercando il giusto compromesso tra l'obiettivo di una efficace disinfezione e la protezione della salute umana, valutando quantitativamente ogni specifica situazione nel rispetto dei limiti di esposizione umana. In questo lavoro si discutono alcuni concetti importanti quale quello di dose germicida letale che può essere somministrata (irradianza per tempo di esposizione) pur nel rispetto dei limiti di esposizione stabiliti per l'uomo, nelle diverse applicazioni della radiazione UV-C nelle procedure di sanificazione.

Gli esempi proposti sono stati tratti dalla letteratura e dalla diretta esperienza degli autori.

Al di là della situazione di epidemia tuttora in corso, le tecnologie di sanificazione con radiazioni ultraviolette, possono trovare applicazione nella lotta alla diffusione di batteri antibiotico-resistenti negli ospedali e come tecnica coadiuvante all'impiego di pratiche comuni che fanno uso di disinfettanti chimici.

Nel maggio 2020, l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) ha emesso il Rapporto COVID-19 n. 25/2020 [ISS, 2020 a], contenente raccomandazioni ad interim sulla sanificazione di strutture non sanitarie nell'attuale emergenza. In questo rapporto, viene affermato chiaramente che la radiazione UV-C può essere usata in sicurezza in ambienti chiusi per disinfettare superfici o oggetti se non vi sia il rischio di esposizione umana. Prima dell'emergenza sanitaria COVID-19 l'uso di radiazione UV-C, sebbene la sua efficacia germicida fosse ben conosciuta e ampiamente descritta in letteratura, era essenzialmente limitato ad ambienti di lavoro sanitari o di ricerca per mantenere la sterilità del piano di lavoro in cappe biologiche, o in applicazioni di tipo industriale. La possibile esposizione degli operatori ha scoraggiato l'uso di lampade UV-C anche quando semplici precauzioni tecniche avrebbero potuto minimizzare l'entità dell'esposizione. Anche se l'uso di sorgenti UV-C non si è diffuso molto in Italia in ambienti domestici e di lavoro, applicazioni tecniche degli UV-C sono state proposte in gran numero e varietà, alcune delle quali prevedono la possibilità di un'esposizione umana.

Il problema del controllo della qualità dell'aria di interni in presenza di possibili contaminanti microbiologici è stato sollevato ben prima dell'epidemia COVID-19. Il controllo della qualità dell'aria attraverso l'inattivazione di batteri, funghi, virus è oggetto di grande interesse nella letteratura scientifica e i costruttori propongono continuamente nuove soluzioni tecniche. Lo sviluppo di ceppi antibiotico-resistenti negli ambienti ospedalieri è causa di molti decessi, motivo per cui grande attenzione è rivolta al loro contenimento. Sono state altresì studiate soluzioni per contenere gli

effetti di potenziali attacchi bioterroristici, scenari in cui un grande numero di persone può essere esposto simultaneamente ad agenti patogeni dispersi e veicolati attraverso sistemi di ventilazione e condizionamento dell'aria. Benché le UTA (Unità di Trattamento Aria) e più in generale i sistemi di condizionamento dell'aria possano contribuire a diffondere patogeni, impedire semplicemente il ricircolo di aria, come suggerito per il contrasto del coronavirus [ISS, 2020 b], potrebbe non costituire una soluzione sostenibile nel lungo periodo. L'ASHRAE, la società americana degli ingegneri esperti di riscaldamento, condizionamento e refrigerazione, un importante riferimento per le buone prassi riguardanti i sistemi aeraulici, considera, in un "position paper" del 2019 [ASHRAE, 2019], l'uso di radiazioni UV-C ad azione germicida una soluzione appropriata e affidabile. La tecnologia che fa uso di UV-C per la sanificazione di superfici o dell'aria, potrebbe rivelarsi particolarmente utile nella disinfezione "in flusso" in sistemi di ventilazione e aria condizionata. Tali applicazioni prevedono che la radiazione UV-C irradia il flusso d'aria in condotti chiusi evitando ogni possibile esposizione umana. Una revisione completa e aggiornata sull'argomento è riportata in [ASHRAE, 2020]. In seguito all'epidemia COVID-19, e ancor di più in vista della riapertura delle normali attività con requisiti di sanificazione da rispettare, sono stati immessi sul mercato un numero molto consistente di dispositivi per la sanificazione che fanno uso di sorgenti di UV-C purtroppo, spesso, senza indicazioni adeguate per un utilizzo in sicurezza. In questo documento, le problematiche concernenti la sicurezza citate nel Rapporto ISS [ISS, 2020 a] sono ulteriormente dettagliate, con brevi riferimenti e considerazioni riguardanti le diverse tecnologie proposte sinora. Nel testo del contributo vengono riportati esempi di calcolo e valori di riferimento, ripresi dalla letteratura e dall'esperienza degli autori, al fine di supportare il personale competente, nella scelta e nell'adozione di soluzioni adeguate sotto il profilo della sicurezza ed efficaci nell'attuazione di misure di controllo della diffusione del virus SARS-CoV-2 e dell'esposizione della popolazione. Il possibile uso sicuro di radiazioni UV-C è inoltre discusso per i casi in cui si rende necessario un metodo di disinfezione rapido, semplice ed efficace soprattutto in ambienti altamente contaminati. Viene altresì preso in considerazione il possibile uso di UV-C nella disinfezione di dispositivi di protezione individuale (DPI) quando sussistano difficoltà di approvvigionamento pur nella garanzia della sicurezza e dell'efficacia degli stessi.

D₉₀ E PARAMETRI PER QUANTIFICARE L'INATTIVAZIONE DI MICRORGANISMI

Le proprietà germicide della radiazione UV-C sono ben conosciute e descritte in letteratura.

Quando una popolazione di N_0 microrganismi viene irradiata con una densità di potenza (più precisamente, irradianza, in W/m^2) costante, il numero di microrganismi sopravvissuti N_s decresce esponenzialmente con il tempo. L'integrale dell'irradianza nel tempo è chiamato esposizione radiante, o H_0 , ed è espresso in J/m^2 . In letteratura, l'esposizione radiante è spesso definita anche fluenza o dose, in quanto si tratta della densità totale di energia che colpisce il bersaglio. Seguendo la norma tecnica della Commissione Internazionale per l'Illuminazione CIE 155:2003, [CIE, 2003], è valida la seguente relazione:

$$\frac{N_s}{N_0} = e^{-k \cdot H_0} \quad (1)$$

Se definiamo D_{90} la dose di UV necessaria per inattivare il 90% dei microrganismi, $N_s/N_0 = 0,1$ e la costante di decadimento k , ovvero l'inverso della dose a cui la popolazione è ridotta di $1/e$, derivata dall'equazione (1) è:

$$k = \left| \frac{\ln(0.1)}{D_{90}} \right| \quad (2)$$

Molte pubblicazioni riportano D_{90} espressa come esposizione radiante; in altri casi, il logaritmo in base 10 di N_0/N_s è riportato rispetto alla dose in J/m^2 .

Una inattivazione logaritmica di $n=4$, ad esempio, significa che una frazione pari a 10^{-4} della popolazione iniziale è sopravvissuta all'effetto germicida o, in altri termini, che il 99,99% dei microrganismi è stato inattivato.

Per un determinato D_{90} , dall'equazione (1) è possibile calcolare la dose necessaria per ottenere una inattivazione logaritmica pari a n , semplicemente moltiplicando D_{90} per n .

$$D_n = D_{90} \frac{\ln(10^{-n})}{\ln(0.1)} = n D_{90} \quad (3)$$

DIPENDENZA DELL'EFFICACIA GERMICIDA DALLA LUNGHEZZA D'ONDA

L'inattivazione logaritmica dipende dalla lunghezza d'onda della radiazione e dalla relativa efficacia spettrale per un determinato agente patogeno; ricerche approfondite su questo argomento sono state limitate finora dalla disponibilità di sorgenti capaci di emettere un'adeguata quantità di radiazione nella banda UV-C a lunghezze d'onda diverse da quella a 254 nm prodotta dalle classiche lampade a vapori di mercurio a bassa pressione (germicide). Nel 2014, Beck e coautori [Beck et al., 2014] hanno studiato, per una varietà di specie

microbiche, il tasso di inattivazione microbica o virale a seguito dell'esposizione a radiazioni monocromatiche di diversa lunghezza d'onda, generate con laser "tunabili", rispetto alla radiazione a 254 nm. Ne è risultato che la maggior parte dei microrganismi mostra una certa sensibilità intorno ai 260 nm, anche se sotto i 240 nm è stato mostrato che la suscettibilità aumenta al decrescere della lunghezza d'onda.

La Figura 1 mostra lo spettro di una lampada UV a vapori di mercurio a bassa pressione installata in una cappa biologica: il picco più intenso è in corrispondenza della lunghezza d'onda di 253,7 nm mentre gli altri picchi UV presenti nello spettro hanno intensità molto più basse.

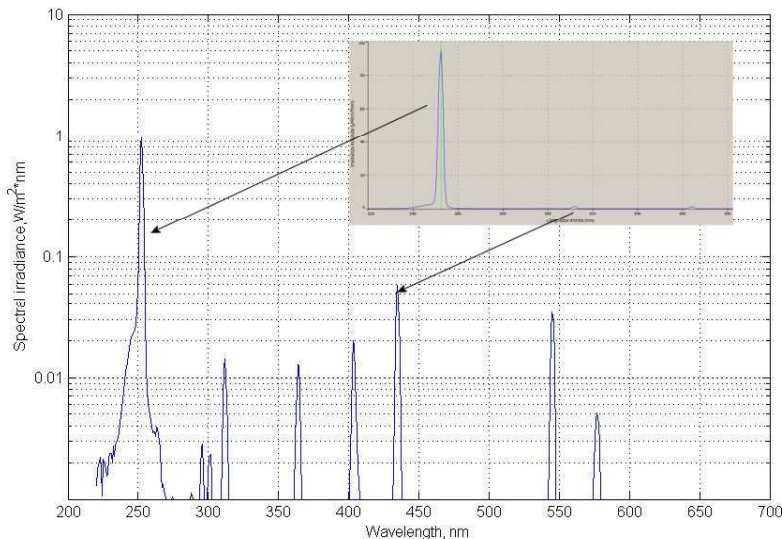


Figura 1: spettro di una lampada germicida montata in una cappa biologica, in scala logaritmica e lineare

PROBLEMI DI SICUREZZA FOTOBIOLOGICA

Gli effetti sulla salute umana dell'esposizione alla radiazione UV sono affrontati nelle linee guida della Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti [ICNIRP, 2004]. I valori limite di esposizione (VLE) riportati nelle linee guida ICNIRP sono stati recepiti per i lavoratori nella Direttiva dell'Unione Europea 2006/25/EC. In Italia, altre nazioni UE e Regno Unito, la Direttiva ha valore di legge per la protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da radiazioni ottiche artificiali.

L'esposizione di pelle e occhi non protetti a radiazioni UV-C e UV-B non deve superare, in un turno lavorativo di 8 ore ($T_{\text{exp}8h}$), la dose di 30 J/m^2 . Questa viene calcolata come esposizione radiante efficace H_{eff} , data da:

$$H_{\text{eff}} = \int_0^{T_{\text{exp}8h}} E_{\text{eff}} \cdot dt \quad (4)$$

dove E_{eff} è l'irradianza spettrale pesata con lo spettro d'azione S_λ (derivato dalla composizione degli spettri d'azione che considerano effetti a carico di occhio e cute) definita come segue:

$$E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_\lambda \cdot S_\lambda \cdot \Delta\lambda \quad (5)$$

Lo spettro di radiazione efficace S_λ , tabulato da ICNIRP, è mostrato in Figura 2.

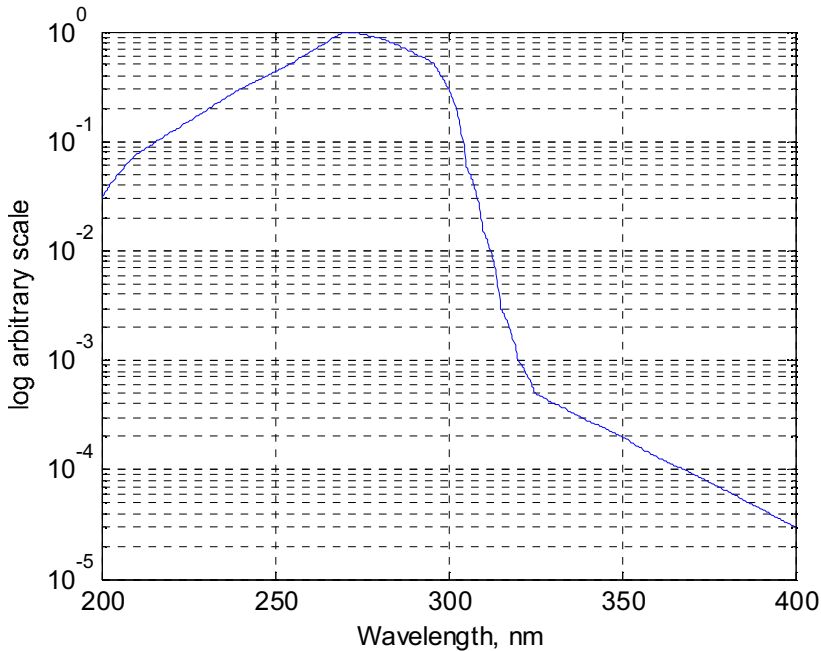


Figura 2: spettro d'azione effettivo S_λ per la protezione di occhi e pelle, ICNIRP 2004 [Health Physics, 2004]

Il limite descritto nella (4) dovrebbe essere considerato come assoluto per l'esposizione oculare.

In effetti, i VLE di ICNIRP sono stati sviluppati considerando popolazioni dalla pigmentazione chiara (ovvero bianchi caucasici) con la maggiore sensibilità e suscettibilità genetica a tumori della pelle. ICNIRP dichiara che

esposizioni occasionali a pelle condizionata potrebbero non dar luogo ad effetti avversi. Nella Direttiva Europea 2006/25/EC, il limite è stato fissato per la protezione di occhi e pelle contro alcuni degli effetti che possono verificarsi per eccessiva esposizione UV: “fotocheratite, congiuntivite, catarattogenesi, eritema, elastosi, tumori della pelle”. Per la protezione dell’occhio dal rischio di cataratta fotochimica, l’irradianza UVA

$$E_{UVA} = \sum_{\lambda=315\text{ nm}}^{\lambda=400\text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad (6)$$

deve essere anch’essa limitata in modo che, sulla giornata lavorativa di 8 ore, sia $H_{UVA} < 10 \text{ kJ/m}^2$.

È importante notare che in letteratura, quando si considera la dose di inattivazione dei microorganismi, poiché le sperimentazioni vengono condotte generalmente con sorgenti a vapori di mercurio a bassa pressione, è importante sottolineare che H_0 è riferito all’integrale nel tempo dell’irradianza del picco centrato a 254 nm non pesata con nessuno spettro d’azione. Il flusso di energia in altri intervalli non è tenuto in considerazione nel calcolo di D_{90} . Quando si considerano problemi di sicurezza legati all’esposizione, l’irradianza E_{eff} è derivata dalla convoluzione dell’irradianza spettrale della sorgente con la curva di efficacia biologica S_{λ} , tracciata in Figura 2. Tuttavia, quando si considerano le lampade UV-C, poiché quasi tutta l’azione germicida dello spettro è concentrata nell’emissione centrata a 254 nm, H_{eff} può essere facilmente derivato moltiplicando la dose H_0 per 0,5 ovvero il valore di S_{λ} a 254 nm.

SORGENTI ALTERNATIVE ALLE LAMPADE A VAPORI DI MERCURIO

Lo sviluppo tecnologico ha reso disponibili nuove tipologie di sorgenti con emissione nell’UV con diverse caratteristiche spettrali, come i “Diodi a Emissione di Luce” (UV-LED), che vanno ad aggiungersi alle classiche lampade a vapori di mercurio a bassa pressione. Tuttavia, la tecnologia UV-LED non è ancora pienamente sviluppata quanto quella dei LED con emissione nel visibile e non può ancora competere, per molte applicazioni, con le più comuni lampade a mercurio [Bowker et al., 2011], limitando così, fino a oggi, l’impiego di dispositivi a LED nella sanificazione di piccoli oggetti come, ad esempio gli smartphone. Sul mercato vengono continuamente proposti un gran numero di dispositivi e applicazioni che fanno uso di questi dispositivi. Considerando la grande varietà delle prestazioni dei LED non è semplice verificarne la loro efficacia e la loro sicurezza. In effetti, i produttori di dispositivi che utilizzano sorgenti UV per la disinfezione di

oggetti, dovrebbero fornire chiare informazioni spettroradiometriche che dimostrino l'effettiva capacità germicida dei prodotti.

Si sottolinea come, in virtù della rappresentazione semilogaritmica degli spettri d'azione (ad es. si veda fig.2) non appaia immediatamente evidente la grande variabilità dell'efficacia biologica anche per piccole variazioni di lunghezza d'onda. Pertanto, nella scelta della sorgente più opportuna da utilizzarsi nella sanificazione, qualora il processo avvenga con possibile esposizione dell'utilizzatore, bisogna tener in debita considerazione lo spettro di emissione ultravioletto della sorgente, preferendo quelle che combinino una elevata efficacia germicida ad un limitato effetto potenzialmente dannoso sull'uomo.

Va notato che i valori di D_{90} si riferiscono generalmente alla radiazione a 254 nm delle comuni lampade a vapori di mercurio. Come alternativa a questa tipologia di lampade, sono stati proposti sistemi basati su lampade pulsate allo xeno [Chetan et al., 2015]. Le lampade allo xeno hanno uno spettro continuo di emissione che si estende dai raggi UV agli infrarossi; la potenza radiante necessaria a garantire una adeguata efficacia germicida implica che l'utilizzo in presenza deve essere valutato per il rischio di esposizione a radiazioni ottiche artificiali.

Ancora una volta, i risultati sono fortemente dipendenti dallo spettro effettivo e dall'irradianza media, pertanto l'efficacia di questi sistemi è ancora in discussione nella letteratura [Health Quality Ontario, 2018]. In ogni caso, sistemi UV pulsati allo xeno sono normalmente ideati per operare in assenza di persone; infatti, impulsi ad alta frequenza di luce visibile possono causare fastidio e persino rappresentare un fattore di rischio per soggetti sensibilizzati [Veitch, et al., 1995]. Tutte le sorgenti di radiazioni ottiche possono rappresentare, in grado variabile, un rischio potenziale per soggetti esposti in maniera dipendente dal loro spettro di emissione, dalla loro efficacia biologica e dall'intensità nelle differenti bande spettrali. Le radiazioni ultraviolette nella banda UV-C, che possiedono la maggior efficacia germicida, pur essendo la componente dello spettro a energia più alta sono meno pericolose per l'uomo (vedi Figura 2) di quelle emesse nelle bande UV-B. Per questo, lampade a vapori di mercurio a bassa pressione, che concentrano la maggior parte del loro flusso radiante nella banda UV-C, sono relativamente meno pericolose a parità di potenza totale emessa delle loro controparti a vapori di mercurio a media pressione e allo xeno con significative emissioni UV-B, nell'UV-A e nel visibile.

Come riportato in letteratura, l'irradiazione UV è efficace solo nella sanificazione superficiale degli oggetti illuminati direttamente dalla sorgente, motivo per il quale non si raccomanda il suo utilizzo nella sanificazione di tessuti spessi o di qualunque oggetto con superfici in ombra. Un altro problema rilevante legato alla sanificazione di oggetti con radiazioni UV è che queste possono concorrere alla fotodegradazione di molti materiali.

Anche l'uso di sorgenti operanti nel cosiddetto UV-C lontano, intorno ai 220 nm, potrebbe rivelarsi promettente in alternativa al consolidato impiego di sorgenti a vapori di mercurio a bassa pressione, dal momento che è stata dimostrata una efficacia virucida [Welch et al., 2017] a queste lunghezze d'onda e che, al contempo, l'efficacia biologica rappresentata dallo spettro d'azione S_λ vale circa un quarto (0,12) rispetto al valore corrispondente per la lunghezza d'onda di 254 nm (0,5).

Per questo, in confronto alle comuni lampade germicide, è possibile incrementare la dose di circa 4 volte (e di conseguenza il valore di inattivazione logaritmica), rimanendo nei limiti di esposizione per occhi e pelle. Lo studio [Welch et al., 2017] è stato condotto su aerosol generati in laboratorio, esposti a radiazioni emesse da lampade a eccimeri (Kr-Cl). Sono necessarie ulteriori ricerche in quanto, una delle motivazioni principali per cui la radiazione a 220 nm è poco nociva per la pelle è il forte assorbimento da parte dell'acqua; l'efficacia di questa lunghezza d'onda nei confronti di virus all'interno degli aerosol andrebbe quindi confermata. Inoltre, radiazioni con lunghezza d'onda inferiori a 250 nm promuovono la formazione di ozono in quanto la sua produzione aumenta al decrescere della lunghezza d'onda. Nel Rapporto 155:2003, la CIE ha sottolineato i rischi della produzione di ozono da parte delle sorgenti delle lunghezze d'onda dell'UV-C lontano; nonostante le interessanti proprietà disinfettanti dello stesso. Gli autori dello studio [Welch et al., 2017] hanno riferito in effetti una concentrazione di ozono molto bassa ($<0,005$ ppm). Uno studio molto recente [Szeto et al., 2020] ha mostrato che la combinazione di luce ultravioletta da vuoto (VUV) a 185 nm e UV-C a 254 nm, entrambe emesse dalle lampade a vapori di mercurio a bassa pressione, aumenta l'efficacia germicida della sola emissione a 254 nm. Questo fenomeno può essere spiegato sia dal maggiore potere ionizzante dei VUV rispetto agli UV-C, sia dalla produzione di ozono che potrebbe interagire sinergicamente con l'effetto germicida della radiazione UV. Gli autori hanno mostrato l'efficacia disinfettante di VUV e UV-C combinati nei confronti di microrganismi molto diversi come il virus dell'influenza e il *Mycobacterium tuberculosis* (MTB). L'efficienza dell'inattivazione microbica di UV-A (365 nm), UV-C (254 nm) e VUV (180 nm) è stata confrontata da Wang [Wang et al., 2019]. Gli autori hanno studiato sia l'inattivazione di *Escherichia coli* aerotrasportato sia la rimozione di endotossine. UV-C e VUV si sono rivelati molto più efficaci dell'UV-A nei confronti dell'inattivazione di *Escherichia coli* nell'aerosol; solo gli VUV sono stati in grado di degradare e rimuovere l'endotossina, molto probabilmente grazie alla produzione di ozono. Nei seguenti paragrafi, verrà trattato soltanto l'uso di lampade germicide UV-C con emissione prevalente a 254 nm. Per una trattazione generale ma sufficientemente dettagliata delle proprietà spettrali e di efficienza delle sorgenti UV relativamente alla loro azione germicida, si consiglia la lettura dell'articolo reperibile presso il sito dello IUVA (International UltraViolet

Association):

https://www.iuvanews.com/stories/pdf/archives/060401Heering_2004.pdf
[Heering Wolfgang, 2004]

UTILIZZI POSSIBILI DEGLI UV NELL'EMERGENZA COVID-19

Molti ricercatori si sono impegnati nel realizzare dispositivi per la disinfezione di attrezzature o ambienti di lavoro; in questo contributo si riportano alcuni dati ripresi dalla letteratura in particolare relativamente alle dosi germicide. Kowalsky e coautori [Kowalsky et al., 2020] riportano una D_{90} media per i coronavirus di 67 J/m^2 ($7 - 241 \text{ J/m}^2$); per ottenere una inattivazione logaritmica pari a 4 è necessaria, secondo l'equazione (3), un'esposizione radiante di 268 J/m^2 . Meechan e Wilson [Meechan e Wilson, 2006] stabiliscono una dose di riferimento pari a 300 J/m^2 per organismi formanti spore, meno sensibili dei virus. Gli autori hanno caratterizzato l'esposizione di operatori impegnati in attività sotto cappa biologica con lampade germicide accese, riportando un confronto dei valori dell'irradianza misurata in varie posizioni qualora gli operatori indossino o meno, dispositivi di protezione individuale (DPI). I tessuti degli indumenti comuni possiedono gradi di attenuazione della radiazione UV molto differenti in base alla composizione e alla massa specifica. Misurazioni eseguite da uno degli autori del presente contributo, hanno permesso di valutare la frazione di radiazione ultravioletta a 254 nm trasmessa attraverso il materiale di alcuni DPI comunemente utilizzati (Tabella 1).

Tabella 1: Frazione di radiazione UVC a 254 nm trasmessa dal materiale di DPI differenti

	Frazione della radiazione UVC a 254 nm trasmessa dal materiale
Camice di laboratorio sterile monouso	0,051
Mascherina facciale	0,003
Guanti in nitrile (doppi)	0,003
Uniforme infermieristica standard	0,003

Le frazioni minori riportate in Tabella 1 (0,003) sono coerenti con il valore ottenuto da Meechan e Wilson che hanno misurato la frazione del flusso radiante trasmesso attraverso una tuta di Tyvek

Si riportano di seguito in Tabella 2 le risultanze del calcolo dei tempi minimi necessari per conseguire un'inattivazione 4-logaritmica delle superfici immaginando di voler erogare un'esposizione radiante germicida H_0 di 300

J/m² nelle condizioni dei test e dei tempi massimi di esposizione, permessi ad un operatore che indossi o meno dei DPI, prima che questo raggiunga il valore limite per H_{eff} pari a 30 J/m²; il calcolo è stato effettuato sulla base dell'attenuazione determinata dai materiali secondo i coefficienti riportati in Tabella 1 riferendoci a condizioni di esposizione riportate in letteratura e utilizzando nel calcolo i valori di irradianza tratti dalle medesime fonti. Il tempo minimo di inattivazione è risultato dell'ordine di 1-2 minuti.

Tabella 2: tempo minimo per ottenere una inattivazione 4-logaritmica e tempi massimi di esposizione consentiti per diverse irradianze germicide con e senza DPI

Sorgente e condizioni di esposizione	E (W/m ²)	E_{eff} (W/m ²)	t minimo (s) per inattivazione 4-logaritmica	t massimo (s) (senza DPI)	t massimo (s) con DPI (attenuazione 0,003)	t massimo (s) con DPI (attenuazione 0,051)
Sistema a parete, 55 cm, diretta [Pinto et al., 2015]	3.60	1.80	83	17	5556	327
Cappa biologica, 20 cm dall'apertura [Pinto et al., 2015]	1.60	0.80	188	38	12500	735
Piano di lavoro di cappa biologica, braccia esposte [Mechan e Wilson, 2006]	2.82	1.41	106	21	7092	417

Sulla base delle precedenti considerazioni, avendo un adeguato margine di tempo prima di superare i limiti di esposizione è possibile valutare l'opportunità di esporre il personale medico, equipaggiato di un set completo di DPI, ad UV-C germicidi (operazione da condursi in condizioni controllate di irraggiamento nel rispetto dei limiti di esposizione), per la sanificazione degli stessi prima delle operazioni di svestizione, operazione questa che rappresenta una importante occasione di contagio per gli operatori sanitari.

Vale la pena notare che, anche con i DPI, non si possono consentire più di 30 minuti di esposizione a irradianze germicide efficaci. Un case report del 2012

[Zaffina et al., 2012] descrive un incidente che ha coinvolto due infermiere che hanno lavorato per circa 1 ora sotto la diretta esposizione della lampada germicida di una cappa biologica utilizzata nella preparazione di farmaci. La verifica successiva all'incidente ha evidenziato un superamento dei VLE di 126 volte per gli occhi e di 194 volte per la pelle del volto dovuto solo alla componente a 254 nm. Sintomi gravi sono stati rilevati a carico di occhi e pelle del viso non protetti, nulla invece è stato documentato ai danni degli avambracci che erano protetti dal vestiario. Tuttavia, la Tabella 1 mostra che tra differenti materiali possono esistere grandi differenze nell'attenuazione di UV e i produttori al momento non forniscono certificazioni a riguardo. È importante sottolineare che, essendo l'esposizione a radiazioni UV potenzialmente molto dannosa per l'uomo (gli UV sono cancerogeni accertati per l'uomo in tutte le sue componenti spettrali), l'uso di lampade germicide in presenza di persone andrebbe di norma evitato, tuttavia, in condizioni di dosi controllate, una attenta valutazione del rapporto tra il rischio che consegue all'esposizione e la mitigazione del rischio di contagio potrebbe far considerare l'esposizione controllata ad UV una pratica vantaggiosa e giustificabile.

Per il trattamento di ambienti e superfici potenzialmente contaminate da agenti biologici pericolosi, la disinfezione con UV risulta molto promettente. In alternativa all'installazione di lampade in posizioni prefissate, la tecnologia propone soluzioni più sofisticate che fanno uso di dispositivi robotizzati con lampade installate a bordo capaci di igienizzare con le necessarie dosi di ultravioletto i locali secondo protocolli predefiniti in modo automatico interrompendo le operazioni quando vi sia presenza di personale.

IRRADIAZIONE DI DPI

L'uso di radiazione ultravioletta per la disinfezione di DPI (guanti, occhiali, visiere di protezione, camici, mascherine filtranti) è un argomento molto dibattuto. In generale, i DPI possono essere riutilizzati solo se espressamente previsto dal produttore e con specifico protocollo di sanificazione validato e previsto dallo stesso che può includere oppure no l'uso di UV. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) considera tra gli altri [WHO, 2020] l'uso di UV-C per la disinfezione di DPI nei casi di scarsa disponibilità nel reperimento degli stessi. Nella progettazione di metodi che utilizzino gli UV-C per la disinfezione dei DPI vanno affrontati gli stessi problemi di cui si è discusso riguardo la disinfezione di piccoli oggetti, ovvero considerando che alcune superfici potrebbero non ricevere la dose germicida necessaria. Tuttavia, con l'irradiazione UV-C, non sarebbero necessari agenti chimici i cui residui richiederebbero un'accurata valutazione a seguito del trattamento;

inoltre, in linea di principio, la dose germicida può essere raggiunta in tempi molto brevi.

Riguardo i DPI monouso, invece, pur essendo in molti casi l'uso di UV il metodo di decontaminazione più promettente, esso è ancora altamente dipendente dalla dose e, va da sé, dalla lunghezza d'onda utilizzata. Si riporta di seguito una breve panoramica dei problemi che interessano ciascun dispositivo.

Guanti

I guanti sono tra i DPI più comuni ed economici. I guanti monouso utilizzati negli ambienti sanitari possono essere di vari materiali (nitrile, lattice, polietilene); queste sostanze sono di norma degradate facilmente dagli UV [Lambert et al., 2013; Noriman et al., 2010; Yousif et al., 2013], causando la perdita in elasticità e forza tensiva dei guanti stessi [Handke, 2019].

In virtù del loro basso costo, in caso di una sufficiente disponibilità, il loro riutilizzo è da ritenersi pertanto ingiustificato.

Occhiali e visiere protettivi

Goccioline di liquido e schizzi potenzialmente infetti diretti verso gli occhi possono essere bloccati da specifici occhiali di protezione o da visiere che coprono la faccia fino al mento. La parte ottica, ovvero le lenti degli occhiali, è realizzata normalmente in policarbonato per le sue ottimali caratteristiche ottiche e meccaniche. Come altri materiali plastici anche il policarbonato, se esposto a radiazione UV, può subire processi di fotodegradazione [Rivaton, 1986; Factor, 1996] che causano ingiallimento, perdita di durezza, fragilimento e rottura [Tjandraatmadja, 1999]. Anche in questo caso, come per i guanti, è ancora da stabilire per quali dosi gli effetti di fotodegradazione raggiungono livelli di alterazione delle caratteristiche ottiche e meccaniche tali da ridurre l'efficacia dei dispositivi di protezione a livelli inaccettabili.

Lo standard EN166:2000, stabilisce che nei DPI oculari, il fattore di trasmissione della luce debba restare pressoché invariato dopo un'esposizione ad UV condotta secondo un protocollo definito nella norma, esposizione che si può stimare corrispondere ad una dose UV-C pari a circa $2.39 \cdot 10^7 \text{ J/m}^2$; per questa tipologia di DPI, la sterilizzazione con UV, potrebbe pertanto essere applicabile per un notevole numero di cicli.

Mascherine monouso con filtro facciale

Le mascherine filtranti monouso sono progettate per ridurre l'esposizione all'inalazione di particolari contaminanti (come goccioline e aerosol). Tali mascherine sono tra i dispositivi maggiormente usati durante l'emergenza sanitaria COVID-19. Diversi studi hanno valutato la possibilità di riutilizzare le mascherine testandone l'efficienza dopo il processo. Si ritiene che l'uso di UV sia tra i metodi di sanificazione più promettenti, sebbene la sua efficacia sia fortemente dipendente dalla dose UV capace effettivamente di penetrare il tessuto filtrante [Vo et al., 2009] e dalla forma della mascherina [Heimbuch et al., 2019]. Per un approfondimento si indicano alcuni lavori condotti da

diversi autori [Mills et al., 2018; Heimbuch et al., 2011; Heimbuch et al., 2019; Viscusi et al., 2009, Bergman et al., 2010; Viscusi et al., 2007, Lindsley et al., 2015; Bergman et al., 2011; Vo et al., 2009; Viscusi et al., 2007]. Trattandosi di DPI monouso il loro riutilizzo, anche previa sterilizzazione UV, andrebbe pertanto valutato solo dopo un'attenta verifica dell'efficacia del sistema di sanificazione ed esclusivamente nei casi di scarsa disponibilità di dispositivi filtranti di ricambio.

Camici

I camici medici possono essere fatti di diversi materiali in base alla loro riutilizzabilità. I camici riutilizzabili sono in cotone mentre quelli monouso sono generalmente in materiale plastico (propilene o polipropilene). Anche se l'uso di UV per la disinfezione di camici in cotone potrebbe essere efficace e non portare a un deterioramento apprezzabile delle fibre [Perincek et al., 2014], il loro trattamento disinfettante d'elezione rimane quello con acqua calda, sapone e disinfettanti, ad esempio a base di cloro [WHO, 2020]. Inoltre, come nel caso delle mascherine, non è sicuro che gli UV sarebbero in grado di eliminare tutti i patogeni dai camici, a causa delle zone in ombra create dalle pieghe del tessuto. Il pretrattamento con UV prima della svestizione resta comunque un'ipotesi da considerare soprattutto nelle situazioni di elevata contaminazione biologica quale quella che si può riscontrare nei reparti di malattie infettive per abbattere significativamente l'eventuale carica virale e batteriologica.

DISINFEZIONE CON UV-C DEI SISTEMI DI TRATTAMENTO DELL'ARIA

Irradiazione UV-C del volume superiore degli ambienti di vita e di lavoro

Questa è la soluzione più semplice per la disinfezione dell'aria con UV-C. Le lampade UV-C vengono posizionate nella parte alta della stanza e l'irradiazione è diretta verso il soffitto. In questa condizione, occhi e pelle degli occupanti sono al di fuori della direzione di propagazione del flusso diretto di radiazioni e sono esposti solamente al campo di radiazione diffuso. Questa soluzione è stata proposta e adottata in ospedali e sale d'attesa di ambienti sanitari, ma anche nelle scuole, allo scopo di ridurre la diffusione del morbillo. Recentemente, durante la pandemia COVID-19, lampade UV-C per l'irradiazione del volume superiore sono state proposte per disinfettare l'aria all'interno di aeroplani, treni e bus. Nelle linee guida ASHRAE una irradianza massima di $E_{vol-sup} = 4 \text{ mW/m}^2$ all'altezza dell'occhio è considerata uno standard di progetto accettabile e le linee guida riferiscono che a questi livelli di radiazioni non sono stati osservati effetti avversi sulla salute. Bisogna ricordare che con una $E_{vol-sup}$ di 4 mW/m^2 , la massima dose consentita di radiazione UV-C su occhi e pelle non protetti è raggiunta

approssimativamente in 4 ore. Il sistema deve essere dimensionato in modo che la dose limite “efficace” di UV, pari a 30 J/m^2 non venga superata, tenendo in considerazione il tempo massimo di permanenza nel locale degli occupanti. L’irradiazione UV-C del volume superiore è una buona soluzione quando il tempo di esposizione degli occupanti non è prolungato, ad esempio in treni, metropolitane, bus, aeroplani. Questa soluzione andrebbe evitata se i lavoratori sono presenti per una significativa frazione del turno di lavoro.

Disinfezione in conduttura

Nella disinfezione in conduttura non può avvenire alcuna esposizione umana agli UV-C se non durante le operazioni di manutenzione. A causa della velocità dell’aria nel condotto, il tempo disponibile per la disinfezione è molto breve, dell’ordine del secondo. Come conseguenza, l’irradianza delle sorgenti dev’essere molto alta per raggiungere una disinfezione efficace. L’ASHRAE indica un intervallo per l’irradianza germicida dalle decine alle centinaia di W/m^2 a seconda dell’agente patogeno da sanificare. I sistemi in condotto sono dimensionati in modo da garantire una dose germicida sufficiente all’inattivazione che ci si propone di ottenere. Studi di laboratorio, principalmente condotti su microrganismi inattivati, hanno mostrato l’efficacia dei suddetti sistemi. Il limite più importante di questi sistemi è che devono operare in continuo, fatto che li rende, ad oggi, piuttosto costosi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ASHRAE, 2019. Handbook 62.2 —HVAC Applications Ultraviolet Air and Surface Treatment, 2.
- [2] ASHRAE, 2020. Position Document on Infectious Aerosols. approved on April 14 2020 expires on April 14, 2023.
- [3] ASTM, 2018. ASTM D1148 – 13. Standard Test Method for Rubber Deterioration—Discoloration from Ultraviolet (UV) or UV/Visible Radiation and Heat Exposure of Light-Colored Surfaces.
- [4] Beck et al., 2014. Action spectra for validation of pathogen disinfection in medium-pressure ultraviolet (UV) systems. Water Research, Elsevire. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.11.028>
- [5] Bergman, M., et al., 2010. Evaluation of Multiple (3-Cycle) Decontamination Processing for Filtering Facepiece Respirators. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 5 (4), 33 - 41.
- [6] Bergman, M., et al., 2011. Impact of Three Cycles of Decontamination Treatments on Filtering Facepiece Respirator Fit. Journal of the International Society for Respiratory Protection, 28 (1), 48 - 59.
- [7] Bowker et al., 2011. Microbial UV fluence-response assessment using a novel UV-LED collimated beam system. Water Research, Elsevire. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.12.005>
- [8] Chetan et al., 2015. Can pulsed xenon ultraviolet light systems disinfect aerobic bacteria in the absence of manual disinfection? American Journal of Infection Control, 43, 415 – 417. [https://www.ajicjournal.org/article/S0196-6553\(14\)01398-4/fulltext](https://www.ajicjournal.org/article/S0196-6553(14)01398-4/fulltext)
- [9] CIE, 2003. COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE Technical Report CIE 155:2003 Ultraviolet Air Disinfection. ISBN 978 3 901906 25 1
- [10] Factor, A., 1996. Mechanisms of thermal and photodegradation of bisphenol A polycarbonate. In Advanced Chemistry Series (Polymer Durability), 59 - 76.

- [11] Handke, D.C., 2019. Examining the Effects of UV on Latex and Nitrile Glove Degradation. An undergraduate thesis presented to the Faculty of The Environmental Studies Program at the University of Nebraska – Lincoln.
- [12] Health Quality Ontario, 2018. Portable ultraviolet light surface-disinfecting devices for prevention of hospital-acquired infections: a health technology assessment. Ont. Health Technol. Assess. Ser., 18 (1), 1 - 73. Available from: <http://www.hqontario.ca/evidence-to-improve-care/journal-ontario-health-technology-assessment-series>
- [13] Heering Wolfgang, 2004. UV SOURCES – Basics, Properties and Applications. Materials Science dec. 2004. Available from: https://www.iuvanews.com/stories/pdf/archives/060401Heering_2004.pdf [Heering Wolfgang, 2004]
- [14] Heimbuch, B.K., et al., 2011. A pandemic influenza preparedness study: use of energetic methods to decontaminate filtering facepiece respirators contaminated with H1N1 aerosols and droplets. American Journal of Infection Control, 39 (1), e1 - e9.
- [15] Heimbuch, B.K., Harnish, D., 2019. Research to Mitigate a Shortage of Respiratory Protection Devices During Public Health Emergencies. (<https://www.ara.com/news/ara-research-mitigate-shortage-respiratory-protection-devices-during-public-health-emergencies>).
- [16] ICNIRP, 2004. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). Health Physics, Vol. 87, n° 2.
- [17] ISO, 2016. ISO 4892-3:2016. Plastics — Methods of exposure to laboratory light sources — Part 3: Fluorescent UV lamps.
- [18] ISS, 2020 a. Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020. Raccomandazioni ad interim sulla sanificazione di strutture non sanitarie nell'attuale emergenza COVID-19: superfici, ambienti interni e abbigliamento. Versione del 15 maggio 2020.
- [19] ISS, 2020 b. Rapporto ISS COVID-19 n. 5/2020 Rev. 2 - Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2. Versione del 25 maggio 2020.

- [20] Kowalski et al., 2020. COVID-19 Coronavirus Ultraviolet Susceptibility.
https://www.researchgate.net/publication/284691618_SARS_Coronaviruses_UV_Susceptibility
- [21] Lambert, S., Sinclair, C.J., Bradley, E.L., Boxall, A.B.A., 2013. Effects of environmental conditions on latex degradation in aquatic systems *Science of The Total Environment* Vol. 447, 225 - 234.
- [22] Lindsley, W.G., et al., 2015. Effects of ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) on N95 respirator filtration performance and structural integrity. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 12 (8), 509 - 517.
- [23] Meechan, P.J and Wilson, C., 2006. Use of Ultraviolet Lights in Biological Safety Cabinets: A Contrarian View. *Applied Biosafety*, 11 (4), 222 - 227. <https://doi.org/10.1177%2F153567600601100412>
- [24] Mills D., et al., 2018. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. *American Journal of Infection Control*, 46 (7), e49 - e55.
- [25] Noriman, N., Ismail, H., 2010. Natural Weathering test of styrene butadiene rubber and recycled acronitrile butadiene rubber blends. *Polymer Plastics-Technology and Engineering*.
- [26] Perincek, S., Duran, K., Körlü, A.E., Elemen, S., Can, C., 2014. Disinfection of cellulosic material contaminated with *S. Aureus* and *K. Pneumoniae*. XIIIth International Izmir Textile and Apparel Symposium.
- [27] Pinto, I., Bogi, A., Stacchini, N., 2015. Procedure operative per la prevenzione del rischio da esposizione a Radiazioni Ottiche Artificiali: Cappe sterili e Lampade Germicide
https://www.portaleagentifisici.it/filemanager/userfiles/DOCUMENTAZIONE/ROA_DOCUMENTAZIONE/report_paf_roa_2_04_2015_UVC.pdf?lg=IT
- [28] Rivaton, A., et al., 1986. The photo-chemistry of bisphenol-A polycarbonate reconsidered: Part 3 – Influence of water on polycarbonate photochemistry. *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 14, 23 - 40.

- [29] Szeto, W., Yam, W.C., Huang, H., Leung, D.Y.C, 2020. The Efficacy of Vacuum-Ultraviolet Light Disinfection of Some Common Environmental Pathogens. *BMC Infect Dis.*, 20 (1), 127. doi: 10.1186/s12879-020-4847-9
- [30] Tjandraatmadja, G.F., Burn, L.S., Jollands, M.J., 1999. The effects of ultraviolet radiation on polycarbonate glazing in Durability of Building Materials and Components 8: Service life and durability of materials and components. Michael A. Lacasse, Dana J. Vanier. NRC Research Press.
- [31] Veitch, J.A., McColl, S.L., 1995. Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort. *Lighting Research and Technology*, 27, 243 - 256.
- [32] Viscusi, D.J., et al., 2009. Evaluation of five decontamination methods for filtering facepiece respirators. *Annals of occupational hygiene*, 53 (8), 815 - 827.
- [33] Viscusi, D.J., et al., 2011. Impact of three biological decontamination methods on filtering facepiece respirator fit, odor, comfort, and donning ease. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 8 (7), 426 - 436.
- [34] Viscusi, D.J., King, W.P., Shafer, R.E., 2007. Effect of decontamination on the filtration efficiency of two filtering facepiece respirator models. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, 24, 93 - 107.
- [35] Vo, E., Rengasamy, S., Shaffer, R., 2009. Development of a Test System to Evaluate Procedures for Decontamination of Respirators Containing Viral Droplets. *Applied and Environmental Microbiology*, 75 (23), 7303 - 7309.

L'ADEGUAMENTO DEGLI STANDARD DI PRODOTTO DELLE SORGENTI DI UV CON FUNZIONE GERMICIDA QUALE NECESSARIO STRUMENTO PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Franco Rusnati (1)

(1) ASSIL – Associazione Nazionale Produttori Illuminazione (1)

INTRODUZIONE

La pandemia da coronavirus ha accelerato la ricerca di controlli ambientali per contenere o mitigare la diffusione del virus SARS-CoV-2 responsabile della sindrome respiratoria acuta. Dagli studi effettuati ed in corso di approfondimento, il SARS-CoV-2 viene solitamente trasmesso da persona a persona tramite il contatto con goccioline respiratorie, direttamente o toccando superfici contaminate da virus e successivamente toccando gli occhi, il naso o la bocca. È importante sottolineare che vi sono prove crescenti di trasmissione del virus per via aerea poiché le goccioline respiratorie evaporano e formano nuclei di goccioline che possono rimanere in volo per diverso tempo. L'utilizzo della radiazione UV è un importante intervento ambientale in grado di ridurre sia la diffusione per contatto che la trasmissione per via aerea di agenti infettivi (come batteri e virus). La radiazione UV nell'intervallo tra 200 nm e 280 nm (UV-C), è stata utilizzata con successo e sicurezza per oltre 70 anni. Tuttavia, il trattamento UV deve essere applicato consapevolmente con la dovuta attenzione alla dose. Un'applicazione UV inappropriata può presentare problemi di salute e sicurezza per l'uomo.

Da qui l'esigenza di fornire al mercato prodotti UV sicuri che possano, mediante le radiazioni, inattivare batteri e virus.

TIPOLOGIE DI PRODOTTI E NORMATIVE APPLICABILI

Nel mercato esistono differenti prodotti UV e diverse sono le normative applicabili:

- Apparecchi per la sanificazione di acqua: L'applicazione UV è da

tempo utilizzata per la sanificazione delle acque e per inattivare virus e batteri in essa contenuti. Questi prodotti sono caratterizzati da un vano chiuso in cui la radiazione UV utilizzata per irradiare l'acqua rimane contenuta e non fuoriesce all'esterno dove potrebbe esserci la presenza di persone. La normativa applicabile (CEI EN 60335-2-109 - Sicurezza degli apparecchi elettrici d'uso domestico e similare Parte 2: Norme particolari per apparecchi di trattamento delle acque con radiazioni UV) prevede dei limiti di esposizione alle radiazioni che fuoriescono dal prodotto e delle particolari prescrizioni in caso di esposizione per le operazioni di manutenzione (sostituzione filtri o apertura del vano per il cambio lampada o riparazione della sorgente luminosa). Prodotti conformi a questa normativa sono da considerarsi sicuri senza particolari ulteriori misure di salvaguardia.

- Apparecchi per la purificazione dell'aria. Analogamente ai prodotti precedenti, prodotti di questo tipo utilizzano la radiazione UV per sanificare l'aria in un condotto o in un vano in cui sia forzata la circolazione dell'aria che poi viene reimpressa nell'ambiente. Anche in questo caso le radiazioni UV sono confinate all'interno di un vano e la normativa applicabile (CEI EN 60335-2-65 - Sicurezza degli apparecchi elettrici d'uso domestico e similare Parte 2: Norme particolari per gli apparecchi per la purificazione dell'aria), prevede dei limiti di radiazione emessa nell'ambiente e durante la manutenzione, al di sotto dei limiti di pericolosità per le persone.
- Apparecchi per la sanificazione di superfici o di ambienti. Questi sono i prodotti che, per loro costruzione, emettono delle radiazioni UV nell'ambiente e vengono utilizzati per irradiare le superfici. Questi prodotti erano largamente utilizzati ad esempio in ambienti ospedalieri (ad esempio nelle camere operatorie) o nelle camere bianche in cui è necessario il controllo delle particelle, virus e batteri. Questi prodotti sono oggetto di particolare attenzione in quanto, se da un lato possono raggiungere con le loro radiazioni la maggior parte delle superfici e dei volumi di un ambiente limitando la potenza installata ed incrementando probabilmente l'efficacia, dall'altro lato sono prodotti che necessitano di particolari attenzioni per la radiazione emessa. Se nelle applicazioni precedenti il loro utilizzo è sempre considerato sicuro in quanto le radiazioni sono contenute in un vano, in questi prodotti, la sicurezza del sistema è garantita soprattutto dall'installazione e dalle misure adottate per evitare che le persone

siano soggette a radiazione pericolosa. Queste misure possono includere un controllo efficace della presenza delle persone mentre il sistema è attivo.

Purtroppo, per queste tipologie di prodotto, non è disponibile una Norma tecnica che ne definisca tutti gli aspetti di sicurezza. In sede IEC si sta lavorando per la sua elaborazione, ma i processi per la ratifica e per il raggiungimento del consenso non sono veloci. Pertanto, la pubblicazione di norme non è prevedibile a breve.

REGOLE PER L'IMMISSIONE SUL MERCATO COMUNITARIO PER APPARECCHI AD EMISSIONE UV

Nel territorio Europeo, possono essere immessi sul mercato solo prodotti sicuri e che non creino rischi per la salute delle persone, animali domestici o beni. La valutazione, in base alla direttiva di bassa tensione (LVD: 2014/34/EU) viene fatta nel rispetto dei requisiti essenziali elencati nell'allegato I e dando dimostrazione di ciò con l'apposizione della marcatura CE sul prodotto. Normalmente la valutazione della conformità viene eseguita applicando le norme armonizzate che ne definiscono i parametri ed i livelli di sicurezza attesi. Nel caso di apparecchi ad emissione UV, non esistendo norma specifica di prodotto, è necessario, effettuare una "analisi del rischio" per eliminare o limitare al minimo ogni possibile rischio. Tale analisi è in capo al fabbricante e deve comprendere ogni possibile rischio nell'uso normale o nelle condizioni di utilizzo ragionevolmente prevedibili del prodotto.

Questa analisi risulta particolarmente importante per i prodotti ad emissione UV in quanto, per la loro stessa costruzione, hanno delle radiazioni che potrebbero potenzialmente essere dannose.

Per effettuare una corretta analisi dei rischi è possibile prendere a riferimento la Guida 32 del CENELEC (Guidelines for Safety Related Risk Assessment and Risk Reduction for Low Voltage Equipment) che prevede sostanzialmente una valutazione sui seguenti principi.

Partendo dal concetto di "condizione non sicura" (dovuta ad esempio al rischio di elettrocuzione, rischio termico, rischio meccanico, rischio di radiazione, ecc.), il fabbricante del prodotto deve mettere in atto le seguenti misure e nel seguente ordine:

- Misure di sicurezza intrinseca. Sono misure basate sul fatto che un prodotto non provoca un pericolo per la sua stessa natura. Ad esempio, se un prodotto funziona in bassissima tensione, non occorre avere delle misure di protezione contro l'elettrocuzione.

- Misure tecniche di sicurezza: se col primo step non si è riusciti ad eliminare il rischio allora devono essere adottate misure tecniche per evitare il pericolo. Nell'esempio precedente è possibile isolare le parti in tensione (ad esempio contenendole all'interno di involucri).
- Informazioni all'utilizzatore. Se anche con le misure tecniche non è possibile ridurre il rischio ad un livello accettabile, è necessario fornire informazioni e limitazioni di impiego in modo da informare l'utilizzatore del possibile pericolo. Ciò avviene per esempio nel caso di un ferro da stiro dove non è possibile attuare misure tecniche per ridurre la temperatura della piastra da stiro (altrimenti viene meno il funzionamento stesso) e quindi vengono date informazioni sul prodotto affinché l'utilizzatore lo possa usare riducendo al minimo il rischio.

Gli stessi principi possono essere utilizzati per la valutazione della radiazione emessa dagli apparecchi UV. Non essendo possibile limitare tecnicamente l'emissione, il fabbricante di prodotto deve fornire delle informazioni all'installatore o all'utilizzatore per permettere una installazione e un utilizzo sicuro.

ANALISI DEL RISCHIO IN PRODOTTI UV

Sulla base di quanto sopra indicato, il fabbricante di un apparecchio UV e gli enti preposti alla sorveglianza del mercato possono, per una corretta analisi, approcciare l'analisi del rischio con le seguenti indicazioni:

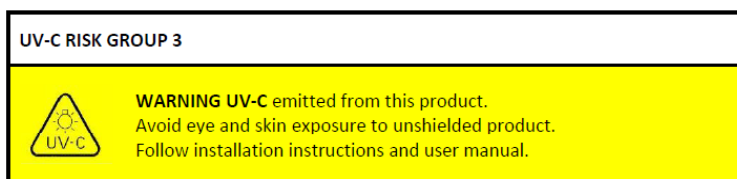
- Rischio elettrico, meccanico e termico: Essendo prodotti del tutto simili, per costruzione, ad apparecchi di illuminazione è possibile utilizzare i requisiti di conformità degli apparecchi di illuminazione. Pertanto, la norma CEI EN 60598 (serie) può essere usata come norma di riferimento per questi aspetti
- Rischio di radiazione. La norma apparecchi di illuminazione (CEI EN 60598 (serie) e la norma dei prodotti elettrodomestici EN 60335 (serie) non contengono al momento, nel loro campo di applicazione, prodotti che emettono UV nell'ambiente e quindi non possono essere usate a riferimento. È quindi possibile fare riferimento per questo aspetto alla norma CEI EN 62471 (Sicurezza fotobiologica delle lampade e dei sistemi di lampada). Partendo dai limiti di esposizione umana contenuti nelle raccomandazioni ICNIRP (utilizzati anche per sicurezza negli ambienti di lavoro) questa norma definisce dei metodi di valutazione e le metodologie di misurazione. In base al risultato ottenuto, permette di assegnare ad ogni prodotto un gruppo di rischio. In particolare per le

radiazioni UV-C valgono i seguenti limiti:

- RG0: 1 mW/m². Questo limite corrisponde ad un tempo di esposizione di otto ore ed è lo stesso limite applicato a tutte le norme di lampade o apparecchi per illuminazione generale.
- RG1: 3 mW/m². Questo limite corrisponde ad un tempo di esposizione di 10000 s (circa 2,8 ore h) ed è il limite usato per le apparecchiature che, per loro natura, non sono utilizzate continuativamente o dove la possibile esposizione è normalmente non continuativa (ad esempio apparecchiature per la sanificazione di acqua e di aria).
- RG2: 30 mW/m². Questo limite corrisponde ad un tempo di esposizione di soli 1000s (circa 16 minuti).
- RG3: > 30mW/m².

Da questo ne deriva che solo prodotti RG0 e RG1 (da valutare anche in base alle applicazioni) possono essere immessi senza particolari avvertenze, mentre prodotti RG2 e RG3 devono essere muniti di avvertenze di installazione e precauzione di uso e destinati ad installazioni in cui i rischi legati alla radiazione UV vengono evitati da misure di protezione presenti nell'impianto o nei luoghi in cui i prodotti sono installati (ad esempio un controllo delle presenze) . Ne consegue che un apparecchio con emissione superiore a RG1 mal si adatta ad applicazioni domestiche dove le avvertenze potrebbero non essere correttamente interpretate dai normali utilizzatori.

Esempi di marcature ed informazioni sono i seguenti simboli ed indicazioni:

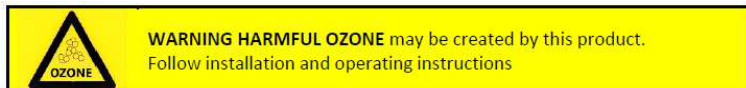


La norma CEI 76/19 (IEC TR 62471-2) può essere usata come guida per le indicazioni ed avvertenze.

- Rischio di produzione di ozono: Una delle conseguenze dell'uso di UV-C a particolari lunghezze d'onda, è la possibile produzione di

ozono nell'ambiente. Anche in questo caso, è necessario informare il progettista o l'utilizzatore di questo fenomeno mediante l'apposizione di indicazioni ed avvertenze.

Di seguito è riportato un esempio di marcature e avvertenze per la produzione di ozono:



- Ulteriori rischi: In aggiunta a quanto sopra indicato, dovendo fare una analisi di tutti rischi possibili, devono essere considerate tutte le possibili conseguenze legate alla produzione di UV. Ad esempio, le radiazioni UV accelerano il processo di invecchiamento e/o di degrado di certi polimeri e plastiche, pertanto, i materiali con cui sono fatti i prodotti dovranno essere correttamente selezionati per evitare che il loro degrado possa compromettere la tenuta IP o la protezione contro l'elettrocuzione. Questa informazione è anche utile per chi progetta o usa l'impianto in quanto possono essere soggetto a degrado anche oggetti presenti nell'ambiente. Oppure, ancora, va considerata la sicurezza funzionale del sistema. Nel caso dell'utilizzo di sensori o dispositivi elettronici, non basta verificare che funzionino correttamente nell'uso normale, ma vanno considerate anche le implicazioni in caso di guasto oppure il loro comportamento in casi ragionevolmente prevedibili come, ad esempio, il loro funzionamento a seguito di un periodo in cui manca tensione e vi è il ripristino successivo.

POSSIBILI SVILUPPI NORMATIVI

Lo sviluppo di nuove tecnologie in grado di generare UV, da una parte, e l'accelerare della pandemia con la conseguente richiesta di prodotti sicuri, dall'altra, ha messo in moto il mondo normativo per cercare di dare una risposta a questa crescente domanda.

Purtroppo, come già accennato, i tempi per il raggiungimento del consenso e per effettuare le necessarie valutazioni non sono veloci e non ci si può aspettare il completamento del panorama normativo nel giro di pochi mesi. In sede IEC si possono tuttavia segnalare i seguenti lavori in corso:

- Il TC 76 (Optical radiation safety and laser equipment) ha nei suoi

programmi di lavoro, l'elaborazione di una parte 6 della norma IEC 62471 per la valutazione della radiazione UV nelle lampade e nei sistemi di lampade (IEC 62471-6 ED1 Photobiological Safety of Ultraviolet Lamp Products)

- Il CT 34 (Lighting) ha recentemente istituito un Advisory Group (AG17) per individuare, nel panorama normativo, quali norme è necessario modificare o elaborare per normare i prodotti UV (es. lampade, moduli LED, apparecchi di illuminazione etc.).

È comunque presumibile che, anche se non saranno a breve disponibili norme, possano essere disponibili in via preliminare documenti guida o pubblicazioni similari.

CONCLUSIONE

In considerazione di quanto sopra indicato, emerge che l'utilizzo di prodotti UV per sanificazioni di ambienti necessita di una accurata selezione dei prodotti ed una corretta progettazione ed installazione degli stessi.

Per i prodotti sono necessarie informazioni di utilizzo e limitazioni di impiego che sono derivate da un'accurata analisi dei rischi. Per l'impianto è necessaria una corretta progettazione ed analisi dell'ambiente (ad esempio materiali contenuti, controllo accessi, ecc.), per assicurare un'ottimale sanificazione senza creare alcun pericolo per le persone.

ESPERIENZE DI VIGILANZA NEI LUOGHI DI LAVORO IN PERIODO DI EMERGENZA EPIDEMICA

Silvia Goldoni (1)

(1) AUSL Modena

1 - INTRODUZIONE

La diffusione del contagio da Sars-CoV-2 ha determinato, nel corso del 2020, modifiche alla programmazione delle attività dei Servizi di Prevenzione e Sicurezza negli Ambienti di Lavoro (SPSAL), non solo perché le misure adottate da Governo e Regioni per il contrasto all'epidemia hanno riguardato i luoghi di lavoro oltre che i luoghi di vita, ma anche perché il personale dei vari servizi (tra cui SPSAL) dei Dipartimenti di Sanità Pubblica ha supportato le attività istituzionali necessarie al contenimento e alla gestione dell'emergenza sanitaria.

In assenza di situazioni di emergenza sanitaria, le attività svolte dai Servizi PSAL consistono in:

1. piani mirati di controllo e vigilanza nei luoghi di lavoro sul rispetto della normativa specifica di tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro: le aziende da assoggettare al controllo vengono individuate in base a criteri epidemiologici (indici infortunistici di frequenza e gravità per la sicurezza e profili di rischio/danno per gli aspetti igienistici e sanitari), segnalazioni da parte di lavoratori o loro rappresentanti (RLS), notizie di eventi penalmente rilevanti, notizie di eventi sentinella o richieste di espressione pareri;
2. attività sanitarie, su richiesta dei lavoratori o su promozione dei servizi, finalizzate ad approfondimenti diagnostici su sospette tecnopatie e alla tutela medico-legale/assicurativa conseguente al riscontro di eziologie professionali, nonché attività dei medici SPSAL nell'ambito delle Commissioni Medico Legali ex L.68/99, del collegio Medico Unico ex art. 5 L. 300/70 e art. 41 D.Lgs. 81/08;
3. indagini di Polizia Giudiziaria in caso di infortuni e malattie professionali che abbiano causato lesioni gravi, configuranti quindi un'ipotesi di reato procedibile d'ufficio;

4. altre attività istituzionali, su domanda, tra le quali: espressione di valutazioni preventive sui Nuovi Insediamenti Produttivi, espressione di pareri ai fini dell'autorizzazione delle strutture sanitarie e socio assistenziali, dell'autorizzazione all'utilizzo di sorgenti radiogene e dell'utilizzo dei gas tossici; espressione di pareri specifici nell'ambito dei procedimenti di autorizzazioni ambientali (AUA, VIA, ecc.); valutazione dei piani di rimozione amianto e delle notifiche; restituzione dei locali a seguito di rimozione amianto friabile; partecipazione a commissioni esterne al DSP (Esami Patentini Fitosanitari, abilitazione rimozione amianto); gestione flussi informativi in ingresso quali Notifiche ex D.Lgs. 81/08 attraverso il portale SICO, certificati infortunio e malattie professionali; osservazione epidemiologica di base relativa a infortuni e malattie professionali (nuovi flussi INAIL, MalProf, OCCAM) con produzione di report provinciali e distrettuali finalizzati ad azioni informative/divulgative sul territorio;
5. attività di informazione, formazione e assistenza ai soggetti della prevenzione (RSPP e Datori di Lavoro, RLS e Sindacati, Consulenti e Medici Competenti, Progettisti, Lavoratori), con la finalità di sostenere e promuovere lo sviluppo e la diffusione della cultura della prevenzione nei luoghi di lavoro.

L'attività dei Servizi PSAL sopra descritta tiene conto di indicazioni di programmazione "sovraordinate" ed in particolare del Piano Nazionale della Prevenzione e del Piano Regionale della Prevenzione. Per quanto riguarda la vigilanza, a livello nazionale è fissato un obiettivo LEA pari al 5% delle PAT con almeno un dipendente o socio e/o lavoratori autonomi (esclusa agricoltura) presenti sul territorio. In Regione Emilia Romagna l'obiettivo LEA è fissato al 9%.

In provincia di Modena l'obiettivo è di circa 3.200 controlli annui (pari al 9% delle PAT); tali controlli vengono organizzati e programmati nell'ambito di tutto il territorio provinciale e suddivisi in Piani di Lavoro, ovvero:

1. Edilizia (inclusi cantieri di rimozione Amianto e Grandi Opere)
2. Agricoltura
3. Comparti ad alto rischio infortunistico
4. Logistica
5. Cancerogeni
6. Patologie muscolo-scheletriche
7. Stress lavoro-correlato
8. Qualità della sorveglianza sanitaria – Medico Competente
9. Rischi fisici
10. Rischi chimici
11. Vigilanza congiunta con RLST-OPTA nelle imprese artigiane

12. Vigilanza congiunta con INAIL su aziende richiedenti sconti premi INAIL (OT24)
13. Vigilanza integrata con Servizio Igiene Pubblica in Strutture Sanitarie e Scuole
14. Vigilanza integrata con Servizio Igiene degli Alimenti e della Nutrizione sulla produzione e commercio di fitosanitari.

La vigilanza programmata secondo i criteri sopra descritti per l'anno 2020 è stata rimodulata in seguito alla emanazione dei diversi interventi normativi, nazionali e regionali, unanimemente tesi a limitare le occasioni di contagio tra persone, attraverso la regolamentazione dei comportamenti sociali e la emissione di indicazioni anche per le attività produttive. Nell'ambito di questa comunicazione viene descritta l'esperienza condotta dallo SPSAL di Modena in relazione all'attività di vigilanza effettuata nei luoghi di lavoro nel corso del 2020, in periodo di emergenza sanitaria.

2 - INDICAZIONI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA PER L'ATTIVITÀ DEI SERVIZI PSAL IN RELAZIONE ALL'EMERGENZA DA SARS-COV-2

Al fine limitare le occasioni di contatto degli operatori con situazioni di affollamento e aggregazione, è stata modificata e ridotta in via temporanea l'attività di vigilanza e controllo svolta dai Servizi PSAL, che si svolge di norma attraverso accessi diretti in azienda con sopralluogo.

In data 30 marzo 2020 la Regione Emilia Romagna ha fornito ai Servizi PSAL e UOIA *“Indicazioni per l'attività dei Servizi di Prevenzione e Sicurezza degli Ambienti di Lavoro e per i Servizi Impiantistici e Antinfortunistici in relazione all'emergenza da SARS-CoV-2”*, di seguito sintetizzate.

È stata sospesa temporaneamente l'attività di vigilanza e controllo con accesso ispettivo programmata, ed è stato mantenuto soltanto ciò che non era differibile: si fa riferimento in particolare alle attività in emergenza, sia in orario di servizio che in pronta disponibilità, per infortuni sul lavoro gravi o mortali, e alle attività su segnalazione di pericoli gravi e immediati per la salute dei lavoratori, verifiche di macchine/impianti indispensabili alla produzione in attività che dovevano restare attive in periodo di lockdown, nonché ad eventuali attività ritenute indifferibili dall'Autorità Giudiziaria nell'ambito indagini su infortuni sul lavoro o malattie professionali.

Nel caso di sopralluogo indifferibile, gli operatori hanno osservato le precauzioni indicate dal Ministero della Salute e, in particolare, quelle presenti nell'allegato 1 del DPCM 08/03/2020; come previsto dall'art. 16 del Decreto-legge 18/2020, gli operatori, inoltre, avevano a disposizione mascherine

chirurgiche da utilizzarsi qualora oggettivamente impossibilitati a mantenere la distanza interpersonale di almeno un metro.

Altre attività, tra cui quelle di controllo senza accesso ispettivo, sono state prese in considerazione e opportunamente modulate per consentire l'avvio e la continuazione dello smartworking anche per Servizi che di norma operano "sul campo"; sempre in tale modalità sono state svolte alcune attività quali redazione di inchieste per infortuni sul lavoro e per malattie professionali, revisioni e aggiornamenti di procedure e istruzioni operative ed ogni altra attività che non richiede come elemento imprescindibile la presenza negli uffici e l'interazione fisica con altri soggetti coinvolti nei procedimenti in corso di svolgimento.

Il personale SPSAL ha effettuato inoltre:

- attività di supporto e assistenza per via telefonica / telematica, finalizzata a dare risposte concrete ai soggetti della prevenzione (datori di lavoro, RSPP, RLS, medici competenti) delle aziende del territorio in merito a vari quesiti sull'epidemia;
- attività di sorveglianza telefonica dei casi posti in isolamento, in un'ottica di ampia collaborazione con i Servizi Igiene Pubblica, in prima linea sull'argomento

Sono state sospese l'attività sanitaria ambulatoriale, tra cui la sorveglianza agli ex esposti a cancerogeni professionali (amianto, CVM, ecc.), e ogni altra attività ambulatoriale non urgente. Tutte le interviste ai fini ReNaM e ReNaTuNS sono state effettuate esclusivamente per via telefonica.

Riguardo alle istanze di ricorso ex art. 41 del DLgs 81/08, è stata valutata caso per caso, anche in linea con quanto disposto dal D.L. 18/2020 - Art. 103 (Sospensione dei termini nei procedimenti amministrativi ed effetti degli atti amministrativi in scadenza), l'opportunità di rimandare la seduta, in rapporto all'urgenza delle motivazioni contenute nella richiesta (ad esempio rischio di licenziamento, rilevanza della patologia, ecc.) attuando contestualmente tutte le attività di assistenza e confronto utili alla eventuale soluzione delle problematiche anche in fase istruttoria.

Infine, in relazione all'applicazione del "Protocollo condiviso di regolamentazione delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus Covid-19 negli ambienti di lavoro" nelle singole realtà aziendali, i Servizi PSAL si sono attivati per offrire assistenza alle aziende, ai lavoratori e loro rappresentanti, alle associazioni sindacali e datoriali tramite interventi di sensibilizzazione, informazione e assistenza rivolti ai vari soggetti della prevenzione, non escludendo anche l'accesso presso l'azienda in casi selezionati, intendendo con questo offrire un contributo tecnico esperto alla tutela della salute dei lavoratori.

3 - ATTIVITÀ DI VIGILANZA SULLA APPLICAZIONE DEI PROTOCOLLI ANTICONTAGIO NEI LUOGHI DI LAVORO

Durante il lockdown gli operatori del Servizio PSAL di Modena hanno ridotto e limitato l'attività di vigilanza nei luoghi di lavoro, secondo le modalità indicate dalla Regione Emilia Romagna, già descritte nel precedente paragrafo; al contempo hanno svolto attività di supporto e assistenza, per via telefonica / telematica, nei confronti dei soggetti della prevenzione (datori di lavoro, RSPP, RLS, medici competenti, lavoratori) in merito a vari quesiti sull'epidemia.

A partire dal 4 maggio 2020, con la riapertura delle attività produttive industriali e commerciali, è ripresa l'attività di vigilanza "consueta" dello SPSAL, a cui si è affiancata, su richiesta della Prefettura, una specifica attività di vigilanza relativa alla corretta attuazione dei Protocolli anti-contagio nei luoghi di lavoro.

Nello specifico tale attività di vigilanza ha riguardato la corretta applicazione delle misure di contenimento del contagio, per lo svolgimento in sicurezza delle attività produttive industriali e commerciali, contenute:

- nel protocollo condiviso di regolamentazione delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus COVID-19 negli ambienti di lavoro, sottoscritto il 24 aprile 2020 fra il Governo e le parti sociali;
- nel protocollo condiviso di regolamentazione per il contenimento della diffusione del COVID-19 nei cantieri, sottoscritto il 24 aprile 2020 fra il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, il Ministro del lavoro e delle politiche sociali e le parti sociali;
- nel protocollo condiviso di regolamentazione per il contenimento della diffusione del COVID-19 nel settore del trasporto e della logistica, sottoscritto il 20 marzo 2020.

Oltre a quelli sopra elencati, di valenza nazionale, la Regione Emilia Romagna ha adottato altri *protocolli di sicurezza* che contengono linee guida e indicazioni operative per salvaguardare la salute di operatori economici, lavoratrici e lavoratori, clienti e persone; di seguito si citano quelli relativi a:

1. commercio al dettaglio in sede fissa, commercio su aree pubbliche (mercati, posteggi fuori mercato e chioschi), agenzie di servizi (a titolo di esempio, agenzie di viaggio e agenzie immobiliari);
2. servizi di somministrazione di alimenti e bevande ed attività, anche artigianali, che prevedono l'asporto e il consumo sul posto (a titolo esemplificativo bar, pub, ristoranti, gelaterie, pasticcerie);
3. servizi alla persona (barbieri, parrucchieri centri estetici, centri tatuatori e piercing);
4. strutture ricettive alberghiere;

5. strutture ricettive all'aria aperta (campeggi, villaggi turistici, marina resort);
 6. stabilimenti balneari e spiagge,
a cui si affiancano altri attinenti a: Piscine, Palestre, Cinema/teatri/spettacoli dal vivo, Discoteche, Scuole guida e scuole nautiche, Partecipazione del pubblico agli eventi sportivi, Attività dei centri sociali e dei circoli culturali e ricreativi, Strutture termali e centri benessere, Parchi tematici, acquatici, giardini zoologici, luna-park e attrazioni dello spettacolo viaggiante, ecc.
- Nell'attuazione degli interventi di vigilanza in materia di applicazione dei protocolli anti-contagio, le principali criticità emerse hanno riguardato:
- il ruolo degli operatori SPSAL
 - la vigilanza congiunta con altri Enti
 - l'applicazione della disciplina sanzionatoria
 - l'individuazione di utili ed efficaci strumenti di vigilanza.

3.1 - Ruolo degli operatori SPSAL

Si osserva innanzi tutto che i Decreti contenenti le misure per fronteggiare l'emergenza epidemiologica da COVID-19 hanno individuato nel Prefetto territorialmente competente il soggetto che assicura l'esecuzione delle misure, attraverso le forze di polizia, con il possibile concorso del corpo nazionale dei vigili del fuoco e, per la salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, dell'ispettorato nazionale del lavoro e del comando carabinieri per la tutela del lavoro, nonché, ove occorra, delle forze armate, sentiti i competenti comandi territoriali.

Con la LEGGE 22 maggio 2020, n. 35 *“Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 25 marzo 2020, n. 19, recante misure urgenti per fronteggiare l'emergenza epidemiologica da COVID-19”*, entrata in vigore il 24/05/2020, il personale ispettivo dell'azienda sanitaria locale competente per territorio (ovvero il Servizio PSAL) viene coinvolto “direttamente” nelle attività di vigilanza nei luoghi di lavoro, unitamente al personale del corpo nazionale dei vigili del fuoco, dell'ispettorato nazionale del lavoro e del comando carabinieri per la tutela del lavoro.

Ciò nonostante, si evidenzia che la Prefettura di Modena ha coinvolto lo SPSAL nel controllo della applicazione dei Protocolli anti-contagio nei luoghi di lavoro sin dall'inizio dell'emergenza e comunque prima della L.35/2020, anche in virtù della Circolare del Ministero dell'Interno del 2 maggio 2020.

In proposito si osserva inoltre che, ad esclusione di determinate categorie di lavoratori (ad esempio comparti sanità e socio-assistenziale), per tutti gli altri l'infezione da Sars-CoV-2 non può essere considerato un rischio correlato al lavoro, trattandosi infatti di un rischio “per la popolazione”.

Relativamente alla scelta degli “obiettivi” da sottoporre a vigilanza, gli operatori SPSAL hanno operato sulla base di:

- specifiche richieste di accessi ispettivi da parte della Prefettura

- specifiche richieste di accessi ispettivi da parte del Servizio Igiene Pubblica per la presenza di cluster
- segnalazioni ricevute da lavoratori o rappresentanti dei lavoratori o associazioni sindacali
- su iniziativa dei servizi stessi, tenuto conto di settori critici tra i quali stabilimenti di lavorazione carni e logistica, anche in assenza di cluster.

3.2 - Vigilanza congiunta con altri Enti

Sempre in riferimento alla Circolare del Ministero dell'Interno del 2 maggio 2020, i Prefetti hanno sollecitato l'effettuazione di sopralluoghi congiunti tra i vari Enti (appunto corpo nazionale dei vigili del fuoco, ispettorato nazionale del lavoro, comando carabinieri per la tutela del lavoro, SPSAL). Nel caso di Modena ciò ha comportato l'attivazione, a partire dal mese di maggio 2020, di una programmazione con cadenza settimanale dei sopralluoghi, da comunicare alla Prefettura, oltre che una rendicontazione, sempre con cadenza settimanale, delle attività di vigilanza svolte e degli esiti delle stesse.

Nella programmazione viene data evidenza dei sopralluoghi da svolgere congiuntamente (prevalentemente con Ispettorato Territoriale del Lavoro) e degli obiettivi individuati, anche al fine di consentire alla Prefettura il coordinamento degli interventi tra i vari Enti, evitando sovrapposizioni.

Le principali criticità evidenziate nel caso di vigilanza congiunta sono le seguenti:

- l'accesso viene eseguito da nuclei di almeno quattro persone, in contrasto con la necessità di evitare assembramento di persone, soprattutto in luoghi al chiuso di piccole dimensioni;
- l'utilità di avere nuclei misti viene meno, dal momento che l'oggetto del controllo è il medesimo, ovvero il Protocollo anti-contagio, a differenza di altre esperienze di vigilanza congiunta, dove ciascun Ente ha un proprio ambito di controllo specifico e differenziato da quello degli altri (ad esempio: SPSAL sicurezza sul lavoro, ITL regolarità del lavoro).

3.3 - Applicazione della disciplina sanzionatoria

Come stabilito dai Decreti adottati, le violazioni alle misure anti-contagio sono accertate ai sensi della legge 24 novembre 1981, n. 689 e le sanzioni per le violazioni delle misure previste dai Decreti nazionali sono irrogate dal Prefetto.

Il mancato rispetto delle misure di contenimento della diffusione del virus COVID-19 è punito con il pagamento di una somma e, in determinate circostanze, è applicabile la sanzione amministrativa accessoria della chiusura dell'esercizio o dell'attività da 5 a 30 giorni. All'atto dell'accertamento delle violazioni, se necessario per impedire la prosecuzione o la reiterazione della violazione, l'autorità procedente può disporre la chiusura provvisoria

dell'attività o dell'esercizio per una durata non superiore a 5 giorni (tale periodo di chiusura provvisoria sarà scomputato dalla corrispondente sanzione accessoria definitivamente irrogata, in sede di sua esecuzione).

Nel caso di Modena e a differenza di quanto accaduto in altre Province, la Prefettura ha dato l'indicazione che, nel caso di accertamento di violazioni alle misure anti-contagio, sia l'amministrazione che ha accertato la violazione a dover procedere direttamente con l'emissione di un verbale di accertamento, contestazione e notifica di illecito amministrativo nei confronti del trasgressore, dandone poi comunicazione alla Prefettura stessa.

Si sottolineano in proposito le seguenti criticità riscontrate dagli operatori SPSAL:

- stabilire in quali casi procedere alla sospensione dell'attività fino a 5 giorni, in assenza di altre indicazioni del legislatore, trattandosi evidentemente di una misura sanzionatoria molto pesante nei confronti di una attività produttiva
- “costruire” di fatto un procedimento amministrativo “nuovo”, attraverso la emanazione a carico del trasgressore di atti corretti e legittimi (verbale di accertamento, contestazione e notifica di illecito amministrativo; atto di sospensione dell'attività)
- garantire omogeneità di comportamento da parte degli operatori.

3.4 - Strumenti di vigilanza

Lo svolgimento della vigilanza sulla corretta applicazione dei protocolli anti-contagio nei luoghi di lavoro è stata affrontata sin dai primi accessi ispettivi utilizzando liste di controllo, che nel tempo sono state migliorate ed uniformate a livello regionale e, in alcuni casi, a livello nazionale.

In particolare per quel che riguarda il Servizio PSAL di Modena, sono state predisposte tre liste di controllo:

- ambienti di lavoro;
- cantieri;
- settore del trasporto e della logistica,

in analogia ai tre protocolli nazionali.

Le liste di controllo ripercorrono di fatto i contenuti salienti dei Protocolli e consentono di individuare immediatamente le eventuali carenze nelle misure anti-contagio adottate nei luoghi di lavoro.

Accanto alle liste di controllo ideate in un primo momento dallo SPSAL di Modena, gli operatori hanno successivamente potuto utilizzare altre liste di controllo, tra cui:

- lista di controllo della Regione Emilia Romagna applicabile nei cantieri edili
- lista di controllo definita nell'ambito dell'Accordo tra Regione Emilia Romagna e parti sociali artigiane (OPRA Emilia Romagna – EBER) per

il contrasto e il contenimento del virus COVID-19 nei luoghi di lavoro artigiani

- lista di controllo condivisa con Ispettorato Nazionale del Lavoro, applicabile nei cantieri edili sia da SPSAL che da ITL.

Le principali criticità emerse in fase di vigilanza sono le seguenti:

- presenza di molteplici strumenti di lavoro (ad esempio tre liste di controllo per edilizia, una provinciale, una regionale, una nazionale, tutte simili tra loro nei contenuti in quanto tutte ricalcano il Protocollo)
- situazioni di vigilanza congiunta, in cui ciascun Ente ha utilizzato una propria lista di controllo, differente da quella dell'altro Istituto
- ridondanza delle liste di controllo, in particolare eccessiva enfaticizzazione di aspetti formali, a discapito del controllo sulla "reale" applicazione delle misure anti-contagio.

4 – ESITI DELLA VIGILANZA SULLA APPLICAZIONE DEI PROTOCOLLI ANTICONTAGIO NEI LUOGHI DI LAVORO

Complessivamente in Provincia di Modena sono stati eseguiti 348 accessi ispettivi (dato aggiornato al 10/11/2020) per un totale di 374 ragioni sociali controllate e di 18423 lavoratori controllati. Sul totale, sono stati eseguiti 79 accessi congiunti, di cui 55 con Ispettorato Territoriale del Lavoro, 7 con i Vigili del Fuoco, 17 con il Servizio Igiene Pubblica (controlli nelle scuole).

Nel merito della attuazione delle misure previste dai protocolli, l'esperienza di vigilanza condotta in provincia di Modena evidenzia quanto segue:

- a) Creazione del *Comitato per l'applicazione e la verifica delle regole del protocollo*: le aziende di maggiori dimensioni e dotate di una struttura organizzativa articolata hanno di norma provveduto alla formalizzazione del comitato, con il coinvolgimento dei soggetti indicati dai Protocolli. Questa osservazione vale anche per l'edilizia, infatti in presenza di aziende affidatarie strutturate e ben organizzate è stato possibile accertare l'avvenuta formalizzazione del *Comitato di monitoraggio di cantiere*, al contrario in presenza di imprese affidatarie scarsamente organizzate e/o di piccole dimensioni non è stato possibile accertare l'avvenuta costituzione del comitato.
- b) Procedura per l'attuazione delle misure previste dal Protocollo per il contrasto ed il contenimento della diffusione del virus: di norma nei luoghi di lavoro, cantieri inclusi, è stata accertata la presenza di una Procedura con le misure di contenimento; nei casi in cui risultava istituito il Comitato, la Procedura era condivisa e redatta dal Comitato stesso, "personalizzata" e adeguata al luogo di lavoro cui si riferiva; in altri casi

invece la Procedura non era altro che la trasposizione tal quale del Protocollo.

- c) Informazione di lavoratori, fornitori, clienti, addetti di imprese di pulizia o manutenzione: dagli accertamenti è emerso che tali soggetti sono stati informati in merito alle misure igieniche e comportamentali e alle misure per il contenimento del contagio con modalità diverse, tra le quali: locandine e/o brochure affisse in bacheca in luoghi come ingresso, zone ristoro, spogliatoi, comunicazioni inviate con mail, comunicazioni telefoniche.
- d) Misurazione della temperatura corporea in entrata e conseguente tutela della privacy: come noto tale misura è obbligatoria nei cantieri, facoltativa nei luoghi di lavoro diversi dai cantieri. L'esperienza di vigilanza ha evidenziato che in aziende strutturate e ben organizzate tale accertamento viene attuato, anche con l'ausilio di termo scanner, per lavoratori e visitatori esterni (organo di vigilanza incluso). Al contrario nei cantieri la misura della temperatura corporea è stata attuata con maggiori difficoltà da parte delle aziende, che hanno adottato soluzioni diverse, tra le quali: autocertificazione del lavoratore che dichiara di averla provata autonomamente a domicilio prima di recarsi al lavoro, misura della temperatura corporea presso la sede della ditta prima di recarsi in cantiere, misura della temperatura corporea direttamente in cantiere. La vigilanza ha evidenziato inoltre che risulta difficoltoso il controllo della temperatura nel caso di lavoratori di ditte in sub-appalto.
- e) Rispetto delle distanze interpersonali di almeno 1 metro: di norma tale misura è stata attuata, anche grazie al ricorso a smart working, diversa articolazione dell'orario di lavoro, organizzazione di accessi contingentati a spogliatoi, mense, zone ristoro, ecc.; criticità in tal senso sono state riscontrate in alcuni settori, tra cui quello della lavorazione carni.
- f) Dispositivi di protezione individuale: di norma disponibili, adeguati ed utilizzati. In particolare è stato possibile accertare il corretto uso di mascherina chirurgica per tutti i lavoratori che condividono spazi comuni. Maggiori criticità sono state riscontrate nel caso di lavoratori del settore edile, sia per aspetti legati al microclima e al lavoro all'aperto nel periodo estivo, sia per le cattive modalità di "custodia" del DPI (in tasca, in auto, in baracca) da parte del lavoratore stesso. Per contro in molte situazioni in cantiere il DPI poteva essere evitato in quanto si era all'aperto e la distanza tra i lavoratori era superiore ad 1 m.
- g) Smaltimento dei DPI in appositi contenitori: di norma correttamente smaltiti nella raccolta differenziata con contenitori dedicati.
- h) Idoneità dei locali destinati a spogliatoi, area mensa, zone ristoro, zone fumatori. Questi aspetti sono stati valutati laddove presenti. Anche per questa specifica misura occorre osservare che le maggiori criticità sono

state riscontrate nel settore edile: il cantiere non è di per sé un ambiente di lavoro “pulito”, tuttavia la vigilanza ha evidenziato che il livello di pulizia degli spazi comuni non si è adeguato sufficientemente ai protocolli. Ad esempio in diversi casi è stato riscontrato il mancato rispetto della periodicità della pulizia giornaliera delle baracche, spesso utilizzate come “spogliatoio” o come zona dove consumare il pasto.

- i) Modifiche del lay-out degli spazi di lavoro e/o degli orari di lavoro: tale misura è stata attuata nelle aziende di grandi dimensioni, attraverso il ricorso a smart working; individuazione di accessi suddivisi in più punti e distribuiti su orari più lunghi, onde evitare assembramenti.
- j) Disponibilità di dispenser di gel idroalcolici per l'igiene delle mani: tale misura, peraltro molto semplice da attuare, è stata riscontrata nella totalità dei casi; anche in questo caso è da segnalare qualche difficoltà in più nei cantieri, dove spesso i singoli lavoratori risultavano dotati di un proprio gel conservato in automobile, mentre nella migliore delle ipotesi era disponibile un solo dispenser in baracca per tutti.
- k) Servizi igienici dotati di sapone liquido per le mani e carta a perdere per l'asciugatura, pulizia giornaliera e sanificazione periodica dei locali: tali misure igieniche sono risultate di norma applicate nelle aziende, che in molti casi sono state in grado di darne evidenza grazie a sistemi di registrazione istituiti appositamente. Si osserva ancora una volta che le maggiori criticità sono state riscontrate nel settore edile: molto spesso nel cantiere oggetto di vigilanza è stata accertata la presenza di un solo servizio igienico, il cui livello di pulizia è risultato inadeguato e di norma non è stata rispettata la periodicità giornaliera.
- l) Gestione del lavoratore che sviluppi sul lavoro febbre e/o sintomi di infezione respiratoria, gestione del lavoratore prima del reintegro in azienda in caso di infezione COVID, obbligo di eseguire una visita medica in caso di assenza per infezione COVID che abbia reso necessaria ospedalizzazione prima del rientro al lavoro: questi aspetti sono di norma contenuti nella Procedura per l'attuazione delle misure previste dal Protocollo per il contrasto ed il contenimento della diffusione del virus.

5 – AGENTI FISICI E COVID19: GESTIONE IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE/VENTILAZIONE E UTILIZZO DI LAMPADE GERMICIDE

I protocolli nazionali condivisi relativi agli ambienti di lavoro, ai cantieri e al settore trasporti/logistica non trattano esplicitamente gli aspetti relativi alla gestione degli impianti di climatizzazione né all'utilizzo di sistemi di igienizzazione basati su lampade UV.

Tuttavia nel corso della vigilanza, oltre agli aspetti specifici del protocollo di cui si è parlato nel paragrafo precedente, è stata prestata attenzione alla corretta gestione degli impianti di climatizzazione, in particolare in settori produttivi largamente diffusi in provincia di Modena, quali la lavorazione carni ed il biomedicale, e comunque in tutti i luoghi di lavoro dove era presente tale tipologia di impianti.

Inoltre è stata accertata la presenza, in alcuni luoghi di lavoro oggetto di vigilanza, di sistemi costituiti da lampade UV destinati a igienizzare/sanificare l'aria ambiente, installati appositamente per contrastare il contagio da Sars-CoV-2.

5.1 Gestione impianti di climatizzazione

In premessa occorre sottolineare che molti datori di lavoro hanno richiesto assistenza al Servizio PSAL sulle modalità di gestione di tali impianti, perché appunto la percezione era che potessero essere veicolo di contagio.

L'indicazione fornita in prima istanza ai datori di lavoro è stata quella di avvalersi delle indicazioni del *Rapporto ISS COVID-19 n. 33/2020 Indicazioni sugli impianti di ventilazione/climatizzazione in strutture comunitarie non sanitarie e in ambienti domestici in relazione alla diffusione del virus SARS-CoV-2*, nonché del supporto dei propri fornitori addetti alla manutenzione degli impianti stessi.

Gli impianti di climatizzazione e di ventilazione, a seconda di come vengono gestiti, possono infatti mitigare o acuire il rischio di contagio aerogeno: la movimentazione dell'aria in ambiente può incrementare la gittata delle gocce o determinare lo spostamento dell'aerosol verso una diversa porzione dell'ambiente, investendo altri occupanti e favorendone il contagio. Inoltre l'impianto di ventilazione, qualora la ripresa dell'aria non avvenga nello stesso ambiente di immissione, in modo bilanciato, può comportare la diffusione dei patogeni verso gli ambienti adiacenti. Il ricambio dell'aria in ambiente mediante immissione di aria esterna determina una riduzione della carica patogena eventualmente presente e quindi riduce il rischio di esposizione.

In sostanza, la gestione dell'impianto di climatizzazione e di ventilazione deve essere adeguata alle caratteristiche dell'impianto e alla modalità d'uso degli ambienti: fondamentale è garantire la pulizia dei filtri, la sanificazione di ambienti interni, un adeguato ricambio dell'aria con immissione di aria esterna, accanto a misure quali la riduzione, laddove possibile, del numero di occupanti l'ambiente di lavoro, ricorrendo a misure organizzative quali lo smart working, la modifica del lay-out, la modifica degli orari di lavoro, ecc. Sicuramente una delle principali criticità riscontrate nella applicazione di tali indicazioni è stata quella della eliminazione completa del ricircolo di aria,

misura non sempre realizzabile per problemi di tipo energetico ed impiantistico.

In sintesi in relazione agli impianti di ventilazione/climatizzazione nei luoghi di lavoro e alla possibilità di infezione, in fase di assistenza e di vigilanza si è prestata attenzione ai seguenti aspetti:

- riduzione del livello di occupazione degli ambienti, in modo da ridurre l'eventuale possibile contaminazione aerea, attraverso misure organizzative
- aerazione frequente degli ambienti non dotati di ventilazione meccanica attraverso apertura delle finestre
- aerazione degli ambienti dotati di impianti di ventilazione che forniscono aria di rinnovo, tenendoli sempre accesi (24 ore su 24, 7 giorni su 7), facendoli funzionare alla velocità nominale o massima consentita dall'impianto per rimuovere le particelle sospese nell'aria e contenere la deposizione sulle superfici; nel caso di ambienti con ventilazione meccanica e filtrazione dell'aria, la diluizione con aria esterna e la presenza di filtri ad elevata efficienza riduce la presenza di particolato e di bio-aerosol, contribuendo in tale maniera alla riduzione dei rischi di contagio
- se le condizioni impiantistiche ed energetiche lo consentono, evitare il ricircolo di aria
- evitare sempre che l'aria immessa sia contaminata da quella estratta o espulsa dagli ambienti
- adottare interventi di igienizzazione straordinaria degli impianti e delle condotte aerauliche.

Il riscontro che è emerso dall'attività di vigilanza è che la gestione degli impianti di climatizzazione/ventilazione nei luoghi di lavoro è stata affrontata di norma in modo adeguato da parte dei Datori di Lavoro, che hanno dimostrato consapevolezza sul fatto che tali installazioni possano essere veicolo di contagio, da un lato, ma anche strumenti di mitigazione del contagio stesso, se usati correttamente, dall'altro.

5.2 Utilizzo di lampade germicide

Come riportato nel Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020 *Raccomandazioni ad interim sulla sanificazione di strutture non sanitarie nell'attuale emergenza COVID-19: superfici, ambienti interni e abbigliamento*, la radiazione UV-C ha la capacità di modificare il DNA o l'RNA dei microorganismi, impedendo loro di riprodursi e, quindi, di essere dannosi. Per tale motivo viene utilizzata in diverse applicazioni, quali la disinfezione di alimenti, acqua e aria.

Nell'ambito della vigilanza nei luoghi di lavoro è stata accertata in taluni casi la predisposizione di lampade UV, appunto con l'intento di "sanificare" gli ambienti. Mentre in talune situazioni, ad esempio nelle *clean room* del settore

biomedicale, l'utilizzo delle lampade UV con potere germicida è pratica diffusa ed utilizzata da tempo, in altri luoghi di lavoro è stata riscontrata l'installazione di tali sistemi solo in occasione della pandemia in corso.

È proprio rispetto a tali ultimi casi che si è rivolta l'attenzione in fase di ispezione: va segnalato infatti il caso di lampade UV che vantano poteri sterilizzanti nei confronti di virus e batteri, ma che non emettono raggi UV-C e che risultano di fatto inefficaci; altre lampade emanano dosi di raggi UV-A, UV-B, UV-C non conformi alle norme europee e, quindi, potenzialmente nocive per la salute. In tali situazioni il Datore di Lavoro interessato, che in buona fede ha deciso di installare lampade UV procedendo ad acquisti on line o direttamente presso punti vendita di prodotti destinati al consumo (ad esempio ferramenta, grande distribuzione, ecc.) è stato informato della potenziale pericolosità per occhi e cute di tali lampade, da un lato, e della potenziale inefficacia delle stesse, dall'altro.

In proposito si fa riferimento all'allerta che giunge dal rapporto RAPEX del 10 luglio (Sistema comunitario di informazione rapida sui prodotti non alimentari) che riguarda diversi prodotti commercializzati on line. Secondo tale rapporto diversi prodotti esaminati non emettono radiazioni UV-C, di conseguenza potrebbero non uccidere batteri o virus che, quindi, potrebbero raggiungere l'utente aumentando il rischio di infezione. Il rapporto evidenzia inoltre rischi per la salute dovuti a dosaggi di raggi UV-A, UV-B, UV-C non conformi alla norma europea EN 62471. Questo espone un utente che si trovi nelle immediate vicinanze del prodotto a una dose non sicura di radiazioni UV agli occhi o alla pelle, aumentando il rischio di gravi lesioni o cancro.

Oltre ad essere inefficaci contro il coronavirus e a presentare rischi per la salute, i prodotti segnalati, vantando attività sterilizzante nei confronti di virus e batteri, possono indurre nelle persone che li utilizzano un falso senso di sicurezza, potenzialmente pericoloso.

L'indicazione per i Datori di Lavoro è quella di avvalersi di installatori qualificati e di acquistare prodotti conformi agli standard europei, affinché l'uso delle lampade germicide avvenga in modo sicuro per i lavoratori ed efficace per le proprie finalità. L'uso sicuro include ovviamente la specifica valutazione dei rischi redatta ai sensi del Titolo VIII Capo V del D.Lgs. 81/08.

6 – CONCLUSIONI

Le esperienze di vigilanza condotte dallo SPSAL di Modena in questi mesi di emergenza sanitaria dovuta alla diffusione del virus Sars-CoV-2, suggeriscono alcune considerazioni.

Il contagio da Sars-CoV-2 nei luoghi di lavoro rappresenta un rischio biologico “generico”, in quanto esistente anche per la popolazione al di fuori

del contesto lavorativo, ovvero un rischio biologico “specifico” per i lavoratori di determinati comparti, tra i quali quello sanitario e socio-sanitario: in tutti i casi tale rischio giustifica l’attività di vigilanza, anche proattiva, da parte degli SPSAL, a tutela della salute dei lavoratori.

Si ritiene utile integrare l’attività di vigilanza a livello dipartimentale, in particolare con il Servizio Igiene degli Alimenti e Nutrizione per ristoranti e bar, il Servizio di Igiene e Sanità Pubblica per altri luoghi di vita, il Servizio Veterinario per comparti specifici quali, ad esempio, la lavorazione carni.

Considerato che il periodo di emergenza persisterà, si rendono necessari adattamento e flessibilità nella gestione dei Servizi PSAL per un giusto equilibrio tra attività specifica del servizio e supporto al Dipartimento di Sanità Pubblica.

In particolare le criticità che sono emerse nello svolgimento dell’attività di vigilanza sulla applicazione dei Protocolli anti-contagio nei luoghi di lavoro dovranno essere superate nell’ottica di garantire interventi efficaci, in riferimento soprattutto a strumenti di vigilanza e alla composizione dei gruppi di ispettori.

Infine si ritiene indispensabile garantire assistenza ed informazione a datori di lavoro, agli RSPP, agli RLS, ai medici competenti, in quanto strumenti complementari alla vigilanza nel perseguire la prevenzione nei luoghi di lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.salute.gov.it/portale/nuovocoronavirus/homeNuovoCoronavirus.jsp>
- [2] <https://salute.regione.emilia-romagna.it/tutto-sul-coronavirus>
- [3] Rapporto ISS COVID-19 n. 5/2020 Rev. 2 - Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2 - Gruppo di Lavoro ISS Ambiente e Qualità dell'Aria Indoor - versione del 25 maggio 2020
- [4] Rapporto ISS COVID-19 n. 33/2020 - Indicazioni sugli impianti di ventilazione/climatizzazione in strutture comunitarie non sanitarie e in ambienti domestici in relazione alla diffusione del virus SARS-CoV-2 - Gruppo di Lavoro Ambiente-Rifiuti COVID-19 - Versione del 25 maggio 2020
- [5] Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020 - Raccomandazioni ad interim sulla sanificazione di strutture non sanitarie nell'attuale emergenza COVID-19: superfici, ambienti interni e abbigliamento - Gruppo di Lavoro ISS Biocidi COVID-19 - Versione del 15 maggio 2020
- [6] Portale Agenti Fisici - RAPPORTO 2/20 - La prevenzione del disagio termico causato dai dispositivi di protezione delle vie respiratorie – versione del 29/06/2020
- [7] Portale Agenti Fisici – RAPPORTO 1/15 – Procedure operative per la prevenzione del rischio da esposizione a Radiazioni Ottiche Artificiali: Cappe sterili e Lampade Germicide - versione del 02/04/2015
- [8] <https://www.inail.it/cs/internet/comunicazione/covid-19-prodotti-informativi.html>
- [9] https://www.aicarr.org/Pages/Normative/FOCUS_COVID-19_IT.aspx

AFFIDABILITÀ DELLA METODICA DI RILEVAZIONE DELLA TEMPERATURA MEDIANTE TERMOMETRI IR

Maurizio Diano (1), Claudia Giliberti (2), Raffaele Maricone (2), Renata Sisto (3), Filippo Sanjust (3), Maria Patrizia Orlando (4)

- (1) INAIL, Direzione Regionale Calabria U.O.T. Catanzaro
- (2) INAIL-Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici, Roma
- (3) INAIL Centro Ricerche Monte Porzio Catone (RM).
- (4) Dipartimento Organi di Senso – Sapienza Università di Roma.

1 - INTRODUZIONE

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), il 23 gennaio 2020 ha ufficialmente dichiarato la comparsa di un nuovo ceppo virale mai identificato prima nell'uomo, ufficialmente classificato con il nome SARS-CoV-2 ("*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*") [1] ed il conseguente stato di emergenza di sanità pubblica di rilevanza internazionale il 30 gennaio [2]. Il virus è responsabile della sindrome COVID-19 (Corona-Virus-Disease-anno di esordio 2019), la cui sintomatologia d'esordio è simile a quella di altre malattie respiratorie come l'influenza e il raffreddore e tipicamente presenta alterazione febbrile. Per contrastare la diffusione del virus, il Governo ha emanato una serie di disposizioni volte a definire norme comportamentali da applicarsi nei vari contesti lavorativi e sociali. In particolare il Comitato Tecnico Scientifico, istituito dal Governo Italiano, composto da esperti e qualificati rappresentanti degli enti e delle amministrazioni dello Stato, come organo di supporto per il superamento dell'emergenza epidemiologica, nella riunione del 7 marzo 2020, ha individuato, tra le misure di contenimento del contagio, la raccomandazione di rimanere nel proprio domicilio e di limitare i contatti sociali per i soggetti con sintomatologia da infezione respiratoria e temperatura corporea maggiore di 37,5 °C [3]. Inoltre, con il DPCM del 26 aprile 2020, è stato emanato il "*Protocollo condiviso di regolamentazione delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus Covid-19 negli ambienti di lavoro*", valido ancora oggi (Allegato 12, DPCM 13 ottobre 2020), secondo cui "*...il personale, prima dell'accesso al luogo di lavoro, potrà essere sottoposto al controllo della temperatura corporea. Se tale temperatura risulterà superiore ai 37,5°C*

l'ingresso ai luoghi di lavoro non sarà consentito" [4]. Dunque il valore di temperatura indicato rappresenta un limite discriminante oltre il quale è necessario porre in essere tutte le procedure di sicurezza per limitare il potenziale contagio virale.

Le aziende nel settore pubblico e privato, i sistemi di trasporto e il settore produttivo in genere, nello sviluppare i piani per la ripresa della normale attività lavorativa, hanno spesso incluso un controllo iniziale di accesso ai luoghi pubblici o di lavoro per cercare di identificare le persone che potrebbero essere infettive e limitare la diffusione delle infezioni da COVID-19. La misurazione della temperatura è uno degli elementi normalmente valutati per determinare una potenziale infezione da COVID-19.

È del tutto evidente che la rilevazione della temperatura con le modalità tradizionali di misurazione, ossia temperatura del cavo orale, dell'incavo ascellare o inguinale, è di difficile applicazione, da una parte per la necessità di mantenere un opportuno distanziamento tra l'operatore addetto e l'individuo potenzialmente infetto, dall'altra perché queste modalità di misurazione avvengono per contatto fisico del dispositivo con l'individuo e pertanto non sono compatibili con le norme igieniche e anti contagio che devono necessariamente essere messe in atto per ciascuna rilevazione, a meno di utilizzare dispositivi "usa e getta" o mettendo in atto complesse procedure di sterilizzazione. Inoltre, i metodi tradizionali pur risultando accurati, hanno l'indubbio svantaggio di essere invasivi, *time-consuming* e *skill-dependent*.

La metodologia che offre garanzie igieniche sia per il paziente che per l'operatore, meno invasiva, più veloce, priva del rischio di contaminazione delle superfici, è quella che prevede la rilevazione della temperatura a distanza, ad esempio con l'uso di termometri operanti nel campo dell'infrarosso (IR) ossia capaci di rilevare la radiazione termica irradiata da tutti i corpi materiali, che si trovino ad una temperatura superiore allo zero assoluto ($0\text{ K} = -273\text{ °C}$) e quindi emessa anche dal corpo umano. Si tratta di strumenti portatili, tipicamente a costo contenuto, di facile utilizzo: si orienta il sensore di rilevazione verso l'oggetto di cui si vuole conoscere la temperatura, evitando il contatto diretto, e lo strumento fornisce quasi in tempo reale la temperatura rilevata sulla superficie del corpo.

Per contro, nella misurazione della temperatura IR, l'accuratezza, la precisione e l'affidabilità di tale tipologia di termometri sono state valutate con conclusioni contrastanti [5]. Alcuni studi riguardanti la misura della temperatura IR in area frontale o temporale hanno espresso un giudizio di buona concordanza con la rilevazione effettuata con metodi standard [6]. Altri studi, invece, hanno messo in evidenza come le rilevazioni IR siano soggette ad estrema variabilità, sia in funzione del distretto corporeo investigato, sia in termini di ripetibilità [7]. In uno

studio condotto nel 2017 da Lawson et al. [8], è risultato che la temperatura rilevata nel cavo orale è leggermente inferiore rispetto a quella riferibile all'arteria polmonare, considerata come riferimento. Al contrario, il rilievo della temperatura in corrispondenza dell'arteria temporale con termometro IR darebbe risultati molto vicini al valore di riferimento. Sul tema però non vi è concordanza di risultati, in quanto, stando ai risultati ottenuti da Mongensen et al. [9], le rilevazioni di temperatura IR sulla fronte non possono sostituire quelle condotte con i metodi tradizionali e la loro valenza deve essere circoscritta per soli scopi di "screening". Più recentemente, in seguito alla pandemia da COVID-19, diversi autori hanno prodotto lavori in merito, con analisi approfondite sulla metodologia da seguire per ottenere risultati di temperatura affidabili [10] e sulle caratteristiche che i dispositivi devono avere [11]. Dalla disamina di una parte della letteratura scientifica sul tema specifico risulta un giudizio non unanime e la sensazione che l'uso dei termometri IR per la valutazione della temperatura corporea possa portare a valutazioni errate, soprattutto se l'uso di tali attrezzature non è accompagnato da un buon livello di esperienza.

È evidente che, nel caso si voglia misurare la temperatura corporea con tale tecnica, vi è la possibilità di rilevare falsi positivi e/o falsi negativi e, di conseguenza, nel peggiore dei casi, permettere l'accesso, in luoghi pubblici e privati, di individui potenzialmente infetti ovvero bloccare persone perfettamente in salute, rivelandosi come elemento di limitazione della libertà personale. Tale modalità di rilevazione della temperatura contrappone, dunque, la grande versatilità e velocità di rilevazione, alla necessità che la metodica sia utilizzata correttamente.

Nel presente lavoro si vuole dare una valutazione dell'affidabilità della metodica di rilevazione della temperatura mediante termometri IR, confrontando i valori ottenuti dalle misure effettuate su alcuni soggetti volontari, utilizzando alcuni termometri IR comunemente rinvenibili sul mercato nazionale, confrontandone le misure rilevate in diversi distretti corporei.

2 - MATERIALI E METODI

Dal punto di vista fisiologico, l'uomo, come tutti i mammiferi, è un essere vivente omeotermo, cioè in grado di mantenere costante la propria temperatura corporea. La condizione di omeotermia è mantenuta grazie al bilanciamento dei processi di produzione (termogenesi), assorbimento ed emissione di energia radiante sotto forma di calore. Secondo l'OMS, la temperatura corporea di un individuo in salute è compresa fra 36,5°C e 37,5°C: questo valore di temperatura è riferibile al nucleo

corporeo. Si tratta dunque di un valore approssimativo, dal momento che la temperatura interna può variare da individuo a individuo e anche nello stesso soggetto. La variazione della temperatura interna e la conseguente attivazione dei processi di termoregolazione (cessione di calore attraverso vasodilatazione e sudorazione) si instaura normalmente: per intensa attività fisica (incremento del metabolismo indotto dall'attività muscolare volontaria); nelle donne in età fertile in corrispondenza del periodo ovulatorio o in caso di assunzione di contraccettivi; per fattori ambientali come ad esempio prolungata esposizione dell'individuo in ambienti termici non confortevoli; in caso di stress o ansia; di terapia ormonale o farmacologica. La temperatura corporea presenta, poi, una variabilità giornaliera (oscillazione circadiana): essa è minima nelle prime ore del mattino, ed è massima a metà pomeriggio. In caso di stato patologico con sintomatologia febbrile, si verifica l'alterazione della temperatura interna, attivata a livello dell'ipotalamo, allo scopo di accelerare il metabolismo e potenziare l'azione del sistema immunitario, favorendo in tal modo l'eliminazione dei patogeni. Tale alterazione termica del nucleo corporeo si somma alle normali fluttuazioni precedentemente descritte.

Uno dei limiti intrinseci della tecnica IR per la misura della temperatura corporea è conseguenza del fatto che lo strumento non fornisce una misura diretta, bensì calcola la temperatura a partire dall'energia dello spettro elettromagnetico, nella lunghezza d'onda dell'infrarosso, emesso da tutti i corpi "caldi". La quantità di calore trasmesso per irraggiamento è proporzionale alla quarta potenza della temperatura del corpo (T), secondo la legge di Stefan-Boltzmann

$$E_{\text{emessa}} = \sigma T^4 \quad (1)$$

dove σ è la costante di Stefan-Boltzmann, e vale circa $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

Poiché l'energia emessa dal corpo "caldo" dipende dal materiale del corpo e dalle caratteristiche della sua superficie, accade che corpi diversi, alla stessa temperatura, emettono quantità differenti di energia.

La relazione di Planck per il potere emissivo di un corpo lega l'energia emessa alle proprietà radiative, attraverso una costante caratteristica per ciascun corpo, chiamata emissività (ϵ). Dalle due equazioni si può ricavare la temperatura del corpo (T) misurando l'energia termica emessa dal corpo e proporzionale alla sua temperatura infrarossa (T_{IR}), per specifici valori dell'emissività (ϵ , valore compreso tra 0 e 1, pari alla quantità di radiazione termica caratteristica del corpo, confrontata con il modello ideale del corpo nero) e considerando la temperatura ambiente (T_A), secondo la formula:

$$T = \frac{T_{IR} - T_A}{\varepsilon} + T_A \quad (2)$$

I termometri IR per la misura della temperatura corporea hanno già preimpostato il valore della temperatura ambiente, pari a 20°C e dell'emissività della pelle che per tutti i fototipi risulta essere pressoché costante e pari a 0,98.

Un altro parametro importante, che può significativamente influire sul valore della temperatura umana riguarda la corretta distanza alla quale posizionare il dispositivo rispetto alla zona del corpo di cui si vuole ottenere il livello termico. Innanzitutto va considerato che più ci si allontana dal soggetto interessato, minore è la quantità di radiazione termica raccolta ed analizzata dal termometro (la dispersione termica aumenta con la distanza).

In secondo luogo, la rilevazione termica è effettuata misurando la temperatura media di una superficie circolare, attorno al punto verso cui lo strumento è orientato, la cui area è tanto più grande quanto maggiore è la distanza dal termometro. Il coefficiente ottico dello strumento (D:S *Distance to Spot*) individua proprio la dimensione dell'area in funzione della distanza del sensore termometrico. La misurazione, pertanto, deve essere eseguita ad una distanza adeguata al valore del D:S del termometro utilizzato. Poiché più basso è il valore di tale rapporto, più la superficie da misurare è vicina allo strumento, con un termometro IR con ad esempio un D:S pari a 12:1, ad una distanza di 12 cm si valuterà la temperatura media di una superficie circolare di diametro 1 cm e superficie poco inferiore a 1 cm². Lo stesso termometro potrà però funzionare a distanze inferiori, misurando la temperatura media su superfici circolari proporzionalmente più piccole.

In generale, stante le caratteristiche dei termometri per uso umano, è sufficiente porsi ad una distanza variabile da 1 a 5 cm per rilevare la temperatura in modo appropriato. È, però, buona norma reperire l'informazione della distanza di misura dal libretto d'uso o dal foglietto d'istruzioni, che obbligatoriamente deve accompagnare questo tipo di dispositivi.

Mentre la temperatura interna del corpo umano rimane relativamente costante, come detto in precedenza intorno ai 37°C (omeostasi), invece la temperatura della superficie cutanea può variare sensibilmente in base alle condizioni ambientali e all'attività fisica.

La condizione ideale di misura si realizza, pertanto, allestendo un'area protetta e lasciando acclimatare all'ambiente di misura per qualche minuto il soggetto a cui occorre rilevare la temperatura. Inoltre bisogna considerare che i termometri IR, come qualunque altro strumento di misura, necessitano essi stessi di un tempo di acclimatamento prima di eseguire delle misure stabili. Gli strumenti devono,

pertanto, essere accesi nell'ambiente di misura dai 10 ai 15 minuti prima dell'uso, in modo tale che si raggiunga una condizione di equilibrio termico con l'ambiente. Le misurazioni sono state eseguite utilizzando 4 differenti termometri clinici IR ed un termometro ad uso industriale. Il campione sottoposto ad indagine rappresenta il comune individuo che effettua il controllo della temperatura all'accesso nel luogo di lavoro, si tratta quindi di persone che non manifestano sintomi visibili di morbosità.

L'idea di fondo che ha determinato la metodologia di indagine scelta è stata determinata dal bisogno di dipanare i dubbi normalmente sollevati da chi viene sottoposto a controllo della temperatura circa le modalità da seguire per effettuare la rilevazione. Di fatto, per la rilevazione della temperatura corporea, la superficie di misurazione corrisponde, usualmente, con la porzione centrale della fronte, ma è possibile rilevare la temperatura anche in zona temporale, sul collo nell'area a tergo al padiglione auricolare e nella piega interna polso.

Con l'intento di stimare se misure effettuate in posizioni diverse siano tra loro confrontabili, è stata definita una griglia di punti di rilevazione sulla fronte sino alle tempie, nella regione che comprende l'arteria frontale e le due arterie temporali, per un totale di 27 punti posti in tre file da nove. La prima fila sulla linea frontale superiore all'arco sopraccigliare, la seconda in zona mediana, in corrispondenza delle bozze frontali e la terza più in basso della linea frontale del cuoio capelluto.

Ugualmente si è definita una griglia di rilevazione in corrispondenza dell'arteria carotide esterna, nell'area compresa tra il processo mastoideo e l'angolo della mandibola, identificando 3 punti di misura.

Infine si è considerato, nel distretto tra avambraccio e mano, riferito alla piega interna del polso, più in particolare in corrispondenza della zona dove l'arteria radiale si superficializza adagiandosi al piano osseo, una griglia formata da 6 punti di misura.

3 - RISULTATI

In figura 1 sono riportati i risultati delle misurazioni di temperatura eseguite sulla griglia di 27 punti nell'area frontale/temporale. Il calcolo della varianza ha mostrato che in tutti i campioni analizzati essa si mantiene sempre su valori molto bassi (valore massimo $\sigma^2=0,13$), a dimostrazione del fatto che la dispersione dei valori misurati rispetto alla media su tutti i campioni è molto bassa e quindi il valore medio è un buon indicatore sintetico statistico della temperatura rilevata sulla fronte.

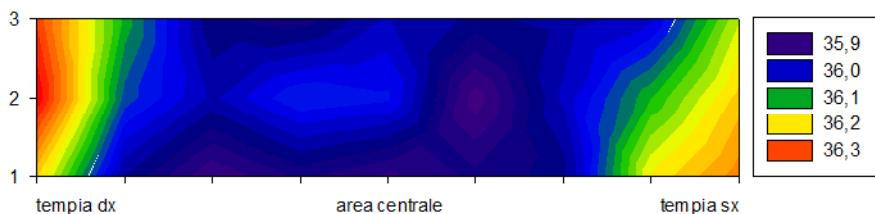


Figura 1: Misurazioni di temperatura eseguite sulla griglia di 27 punti nell'area frontale/temporale.

Si osserva anche che, seppur la varianza dei valori misurati sia bassa, la temperatura misurata in corrispondenza delle tempie risulta sempre leggermente superiore rispetto a quella misurata nella zona centrale della fronte, come visibile nel grafico di figura 1, in cui i valori di temperatura sono quelli medi sul campione di individui sottoposti a test.

Ciò suggerisce che, al fine di individuare la temperatura che meglio approssima quella del distretto corporeo misurato, occorrerebbe effettuare la rilevazione in più punti (almeno due o tre), calcolandone conseguentemente il valore medio, in considerazione del fatto che singole misure potrebbero essere affette dalla variabilità propria della temperatura della regione frontale. I dati ottenuti sul campione sottoposto ad analisi evidenziano le differenze tra il massimo ed il minimo di temperatura misurata su fronte e tempie con ΔT variabili da un minimo di 0,4°C sino a 1,4°C.

In alternativa, dovendo eseguire una sola misurazione, risulta preferibile eseguirla nel punto centrale della fronte piuttosto che sulle tempie, essendo il primo dato più strettamente correlato, rispetto agli altri, al valore medio statistico delle temperature rilevate sull'intera superficie frontale/temporale.

In figura 2 è, infatti, riportato un grafico di distribuzione delle temperature medie rispetto a quelle puntuali misurate al centro della fronte e sulle tempie, con la funzione di regressione lineare tra le variabili misurate.

Il coefficiente di determinazione R^2 relativo al "fitting" sui dati rilevati nel punto centrale della fronte, prova la bontà della misura in tale porzione anatomica rispetto alle altre due.

Riguardo alla temperatura rilevata sul collo e sul polso, in questo caso la limitata superficie di misura non consente di effettuare un'analisi della distribuzione dei valori come per il distretto fronto-temporale. Sebbene anche in questo caso si sia individuata una griglia formata da tre punti di misura per il collo e sei punti per il

polso, si ritiene, comunque, più utile ragionare in termini di valori medi rilevati piuttosto che di dati puntuali.

La sintesi dei dati rilevati è riportata in figura 3, in cui è rappresentata la distribuzione dei valori medi di temperatura su polso e collo rispetto al valore medio di temperatura calcolato nella porzione centrale della fronte.

Dal grafico si nota che i valori rilevati su polso e collo, generalmente, si trovano entro un intervallo di $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ rispetto a quelli misurati sulla fronte, con una discrepanza leggermente più marcata nel caso delle temperature rilevate sul polso. Nonostante il risultato evidenziato in figura 3 mostri un certo legame tra i valori medi misurati nei diversi distretti corporei, l'analisi T-Student tra la griglia di 9 valori dell'area centrale della fronte, con le griglie relative ai distretti del collo (griglia a 3 valori) e polso (griglia a 6 valori) mostra sovente risultati discordanti nel 40% dei casi per il polso e nel 20% per il collo.

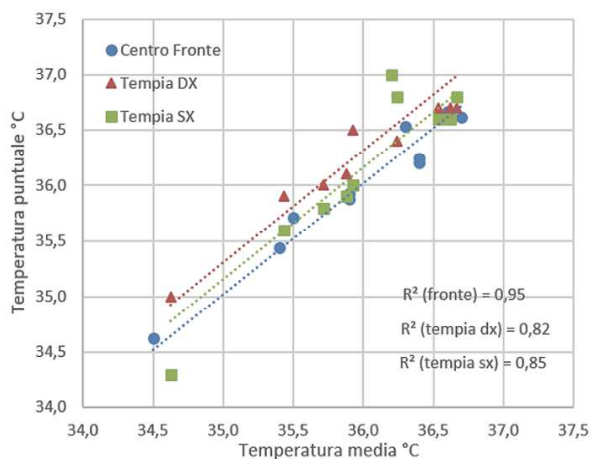


Figura 2: Distribuzione delle temperature medie rispetto a quelle puntuali misurate al centro della fronte e sulle tempie con la funzione di regressione lineare tra le variabili misurate.

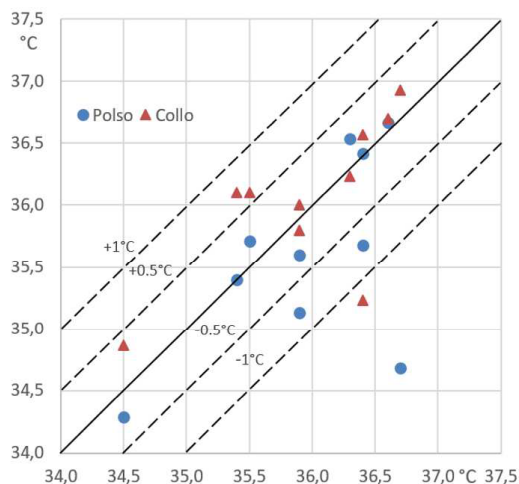


Figura 3: Distribuzione dei valori medi di temperatura su polso e collo rispetto al valore medio di temperatura calcolato nella porzione centrale della fronte.

4 - CONCLUSIONI

I termometri IR sono diffusamente utilizzati per la misurazione della temperatura. Il loro uso è essenzialmente a scopo di screening rapido per l'identificazione di soggetti con valori di temperatura alterata rispetto allo standard con l'obiettivo di identificare potenziali soggetti contagiati dal coronavirus. Dal nostro studio risulta che le misure effettuate in area frontale sono sostanzialmente confrontabili a quelle sul polso e sul collo, purché non ci si limiti ad una sola misurazione, ma si effettui una valutazione media su due o tre misurazioni effettuate in aree prossimali. Infatti, se in termini di valori medi si è riscontrata una buona concordanza dei dati, differenze sensibili si sono registrate sia tra punti diversi dello stesso distretto corporeo, sia tra misure puntuali eseguite in distretti differenti.

Seppur dai dati di analisi ottenuti risulti che tale tipologia di strumentazione non sia sufficientemente accurata è, comunque, indubbio che il loro uso permette di ottenere misurazioni della temperatura che siano nel contempo veloci, non invasive e capaci di assicurare il corretto distanziamento sociale tra operatore e soggetto misurato e dunque validamente utilizzabili, con le dovute accortezze, per



le operazioni di controllo degli accessi nelle aree frequentate dal pubblico o nei luoghi di lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] WHO, “WHO Director-General's statement on the advice of the IHR Emergency Committee on Novel Coronavirus”, <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-statement-on-the-advice-of-the-ihc-emergency-committee-on-novel-coronavirus>.
- [2] WHO, “Statement on the second meeting of the International Health Regulations (2005) Emergency Committee regarding the outbreak of novel coronavirus (2019-nCoV)”, [https://www.who.int/news-room/detail/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/news-room/detail/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-(2019-ncov)).
- [3] Protezione Civile, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Verbali del Comitato Tecnico Scientifico, Verbale n. 21 della riunione del 7 marzo 2020, <https://raw.githubusercontent.com/pcm-dpc/COVID-19-Verbal-CTS/master/2020-03/covid-19-cts-verbale-021-20200307.pdf>
- [4] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 26 Aprile 2020, “Ulteriori disposizioni attuative del decreto-legge 23 febbraio 2020, n. 6, recante misure urgenti in materia di contenimento e gestione dell'emergenza epidemiologica da COVID-19, applicabili sull'intero territorio nazionale.”, Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.108 del 27-04-2020.
- [5] Hamilton, P. A., Kasbekar, R. S., Monroe, R., (2013). Clinical Performance of Infrared Consumer-Grade Thermometers. Journal of Nursing Measurement, 21(2):166-177.
- [6] Reynolds, M., Bonham, L., Gueck, M., Hammond, K., Lowery, J., Redel, C., Craft, M. (2014). Are temporal artery temperatures accurate enough to replace rectal temperature measurement in pediatric ED patients? Journal of Emergency Nursing, 40(1):46-50.
- [7] Berksoy, E.A., Anıl, M., Bıçlıoğlu, Y., Gökalp, G., Bal, A. (2018). Comparison of infrared tympanic, non-contact infrared skin, and axillary thermometer to rectal temperature measurements in a pediatric emergency observation unit. Int J Clin Exp Med; 11(2):567-573.

- [8] Lawson, L., et al. (2017) Accuracy and Precision on Non-invasive Temperature Measurement in Adult Intensive Care Patients. *Am J Crit Care*; 16:485-496.
- [9] Mogensen, C.B., Wittenhoff, L., Fruerhoj, G., Hansen, S. (2018). Forehead or ear temperature measurement cannot replace rectal measurements, except for screening purposes. *BMC Pediatrics*; 18(15). <https://doi.org/10.1186/s12887-018-0994-1>
- [10] Seng Fong, W.W., Yeo, S.K., Chung Fook-Chong, S.M., Phang, J.K., Sim, E. (2020). Comparison of Temperature readings using Infrared Thermometers at Three Different Sites: Tympanic, Forehead and Temporal. *Proceedings of Singapore Healthcare*. <https://doi.org/10.1177/2010105820935932>.
- [11] Chen, H-Y., Chen, A., Chen, C. (2020). Investigation of the Impact of Infrared Sensors on Core Body Temperature Monitoring by Comparing Measurement Sites. *Sensors*; 20(10):2885-2902.

ANALISI SPERIMENTALE DI UN DISPOSITIVO DI PROTEZIONE ACUSTICA AD ATTENUAZIONE CONTROLLATA

Diego Annesi (1), Pietro Nataletti (1), Guido Alfaro Degan (2), Gianluca Coltrinari (2), Andrea Ursillo (2)

(1) INAIL – Dipartimento Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, Roma

(2) Università degli Studi di Roma Tre – Dipartimento di Ingegneria

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni la ricerca nel campo della protezione acustica ha posto l'accento sullo sviluppo di nuovi sistemi elettronici di protezione che variano continuamente l'attenuazione all'orecchio del lavoratore. Utilizzare dei DPI con un'elevata attenuazione può infatti comportare l'isolamento dell'utilizzatore rispetto all'ambiente esterno, impedendogli di sentire il suono di un allarme di pericolo o di comunicare con altre persone. Questo problema è dovuto al fatto che per molti anni l'attenuazione è stata considerata come un meccanismo esclusivamente passivo, secondo il principio dell'Insertion Loss. Tale principio comporta l'abbassamento dei decibel in arrivo sulla membrana timpanica grazie all'inserimento di un materiale, con una specifica densità, nella zona dell'orecchio esterno. Questo metodo, sebbene sia molto semplice, e quindi pratico da applicare, non riesce ad essere performante rispetto al problema dell'isolamento, soprattutto se consideriamo che la conformazione del condotto uditivo amplifica alcune frequenze e ne attenua delle altre, per cui, utilizzando dei DPI passivi, non si avranno le stesse performance su tutto lo spettro delle frequenze.

A questo scopo nascono i dispositivi dotati di sistemi elettronici di ripristino del suono, come quello che è stato testato: il LEP 100 – EU della 3M Peltor. Questo dispositivo è dotato di un microfono, un microprocessore e un amplificatore in grado di attenuare il rumore esterno ed emettere nuovamente il suono all'interno della cavità auricolare svolgendo quindi la fase di ripristino di alcune frequenze e diminuendo il livello di pressione sonora generale.

Nello studio di questo dispositivo è stata focalizzata l'attenzione sul principio di funzionamento, andando in seguito a considerare le sue caratteristiche peculiari. Inoltre, abbiamo adottato un metodo d'analisi mirato e adattato alle caratteristiche dei tappi, volto a prendere in considerazione tutto lo spettro delle frequenze, discretizzato in bande di terzi d'ottava, e a minimizzare gli

errori di misurazione, tramite l'utilizzo di un'apposita strumentazione ed uno specifico protocollo di misurazione.

DESCRIZIONE DISPOSITIVO E STRUMENTAZIONE

Il kit fornito dalla 3M Peltor è composto da un case ricaricabile in grado di verificare la carica dei tappi auricolari e di caricarli qualora fosse necessario. I tappi invece sono dotati di un unico tasto con il quale si può sia accendere il dispositivo che cambiare volume (sono disponibili tre livelli di volume). I test sono stati condotti in una camera anecoica ed in regime di campo diretto come in *Figura 1*.

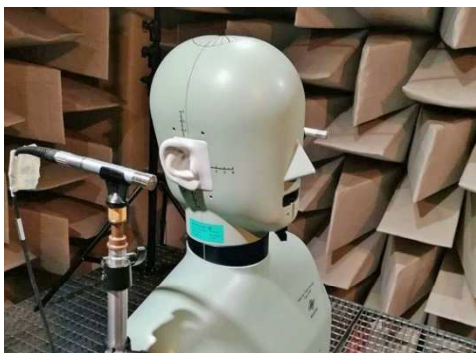


Figura 1 – Simulatore testa-dorso



Figura 2 – Dettaglio DPI-u

La strumentazione utilizzata era così composta:

1. Simulatore della testa e del dorso Bruel&Kjaer modello 4128 con due protesi smontabili in silicone, in grado di simulare il comportamento dell'orecchio umano e due microfoni (Canale 1 – CH1 e Canale 2 – CH2) posti all'interno delle protesi (*Figura 1*);
2. Altri due microfoni B&K modello 4190 (Canale 3 – CH3 e Canale 4 – CH4) all'esterno delle protesi, a circa 10 cm di distanza dai microfoni interni;
3. Una cassa posta a circa un metro di distanza dal manichino ed un calibratore acustico modello 4231 prodotto dalla Bruel&Kjaer per la calibrazione dei microfoni.

METODO SPERIMENTALE

Per poter confrontare i risultati dei test con la normativa vigente, in particolare il Decreto legislativo 81 del 2008, i dispositivi auricolari della 3M Peltor sono stati testati in diverse condizioni di utilizzo, secondo un protocollo che prevede: Spento, Volume 1, Volume 2 e Volume 3, a quattro livelli sonori: 75 dB, 80 dB, 85 dB e 87 dB. Inoltre è stata effettuata una misura ad Orecchio Nudo per poi poter ricavare l'attenuazione in ogni configurazione e la differenza di comportamento tra la configurazione con i tappi accesi e quella spenta.

Prima di procedere con le misure, sono stati collegati i quattro canali ad un analizzatore portatile che, tramite un apposito software, restituiva in tempo reale i valori L_{zeq} discretizzati in bande di terzi d'ottava. La durata di ogni test era di circa 10 secondi, in quanto il segnale a larga banda generato è costante nel tempo.

I canali al simulatore acustico CH1 e CH2 sono rappresentativi del fenomeno all'altezza della membrana timpanica mentre i canali al simulatore acustico CH3 e CH4 sono stati utilizzati per controllare eventuali errori di misurazione durante i test ed in particolare per verificare che, al susseguirsi delle prove sperimentali, il livello di pressione sonora esterno fosse confrontabile e costante nel tempo.

Per quanto riguarda invece i canali interni CH1 e CH2, sono stati presi in esame i valori del livello equivalente L_{zeq} , suddiviso in terzi d'ottava, nel range da 50 Hz a 10.000 Hz.

I risultati, che saranno discussi nel capitolo successivo, sono stati presentati con una serie di valori, suddividendo tutto lo spettro della frequenza 50-10.000 Hz in bande d'ottava, ed un valore globale, rappresentativo del risultato complessivo. È stata calcolata l'Attenuazione, come differenza tra il test effettuato ad Orecchio nudo e le altre configurazioni, Spento, Volume 1, Volume 2 e Volume 3, mentre i livelli Globali sono stati messi a confronto sia al variare del Volume esterno (75 dB, 80 dB, 85 dB e 87 dB) sia al variare delle configurazioni del tappo acceso (Volume 1, Volume 2 Volume 3).

Di seguito è riportato uno schema riassuntivo dei passaggi essenziali svolti:

1. Collegamento e Calibrazione microfoni
2. Settaggio volume cassa (75 dB, 80 dB, 85 dB e 87 dB)
3. Settaggio configurazione tappi (Volume 1, Volume 2 Volume 3)
4. Misurazione

Sia l'attenuazione che i livelli globali sono stati calcolati a partire da una serie di valori che suddividono lo spettro di frequenza in bande di terzi d'ottava, per un totale quindi di 16 valori.

Per quanto riguarda il calcolo del livello globale è stata effettuata una somma energetica per passare dai valori in terzi d'ottava a quelli in bande d'ottava, poi una media energetica tra canale 1 e canale 2 ed infine, a differenza del

calcolo dell'attenuazione, il valore globale è stato calcolato con una somma energetica.

I risultati sono stati presentati in questo modo per poterli confrontare con quelli calcolati secondo i metodi per la verifica dell'adeguatezza di un DPI-u della UNI EN-458:2016, in particolare con i metodi: OBM (Octave Band Method), ovvero un metodo che restituisce una serie di valori su tutto lo spettro delle frequenze (in genere suddiviso in bande d'ottava, quindi 8 valori) ed il metodo SNR, un metodo che prende in esame un unico valore per tutto lo spettro delle frequenze. In particolare il metodo SNR restituisce un unico valore rappresentativo, utile al confronto con la normativa, ma non consente di valutare le prestazioni del dispositivo ad una specifica frequenza. Per questo motivo è stato utilizzato anche il metodo OBM che prende in esame 8 valori su tutto lo spettro della frequenza.

RISULTATI - ATTENUAZIONE PASSIVA E ATTENUAZIONE ATTIVA

A valle dei test sono stati calcolati, utilizzando lo stesso metodo, due tipi di Attenuazione. La prima, chiamata Attenuazione Passiva, è stata calcolata confrontando i test relativi alla configurazione dei tappi Off con il test Orecchio Nudo; la seconda invece è stata calcolata confrontando i test con il dispositivo acceso (Volume 1, Volume 2 e Volume 3) con il test a dispositivo spento (Off), ed è stata chiamata Attenuazione Attiva proprio per sottolineare che si è posta l'attenzione sull'attenuazione fornita dal dispositivo acceso.

L'Attenuazione Passiva rappresenta un dato molto importante che ci restituisce l'attenuazione massima che i tappi possono offrire, e che, in seguito, ci permetterà di calcolare il limite fisico dei tappi. Nel grafico che segue è rappresentato il confronto tra i quattro test a 75 dB, a 80 dB, a 85 dB ed infine a 87 dB, per la configurazione Off dei tappi, da 63 Hz a 8000 Hz suddiviso in terzi d'ottava.

Analizzando il risultato, è evidente che nella configurazione Off siamo in un caso di sovra-protezione in quanto L_{zeq} è molto alto e dal grafico si evince che l'attenuazione è molto elevata soprattutto alle alte frequenze. In questa configurazione, quindi, i tappi assumono le caratteristiche di un classico tappo in silicone, evidente anche dalla classica forma della curva.

Questo risultato è confrontabile con i dati forniti dalla 3M Peltor; infatti nella documentazione relativa al dispositivo acustico viene riportato un valore di SNR medio di 36 dB.

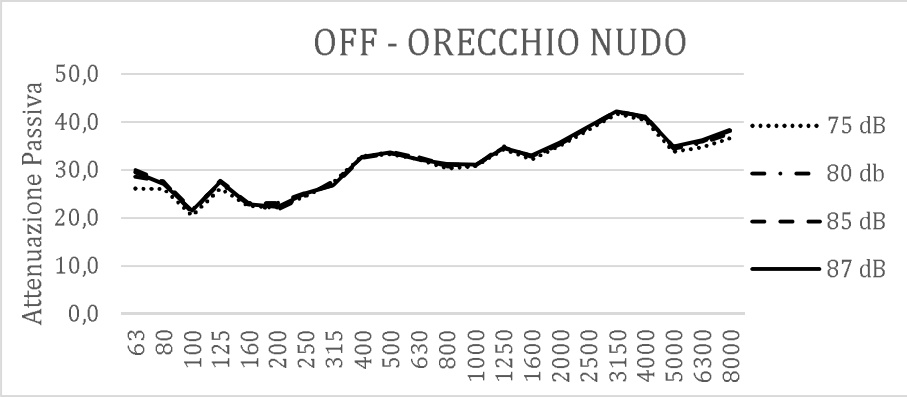


Grafico 1 – Attenuazione Passiva

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L_{zeq}
75 dB	23,4	20,6	24,2	32,5	30,4	37,2	40,4	36,3	34,7 dB(Z)
80 dB	26,7	21,7	24,1	32,8	30,9	37,6	40,7	37,1	35,2 dB(Z)
85 dB	27,6	21,6	24,2	32,7	30,9	37,7	40,9	37,5	35,4 dB(Z)
87 dB	27,1	21,8	23,8	32,5	31,0	37,8	40,8	37,6	35,4 dB(Z)

Tabella 1 – Attenuazione Passiva

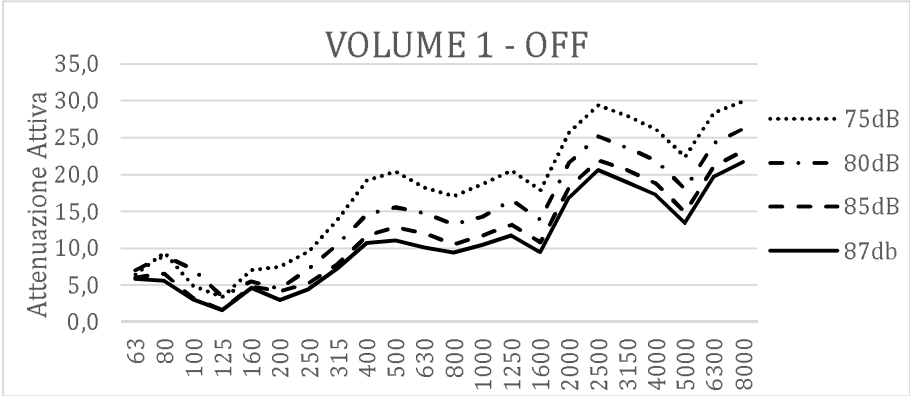


Grafico 2 – Attenuazione Attiva Volume 1

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L_{zeq}
75 dB	8,8	5,4	10,6	18,9	17,8	28,1	26,7	26,6	23,3 dB(Z)
80 dB	12,8	5,5	7,8	14,9	13,8	24,0	22,3	22,5	19,3 dB(Z)
85 dB	9,0	3,4	6,0	12,1	11,2	20,6	19,3	19,4	16,2 dB(Z)
87 dB	6,2	3,4	5,1	10,4	10,0	19,3	17,6	18,0	14,7 dB(Z)

Tabella 2 – Attenuazione Attiva Volume 1

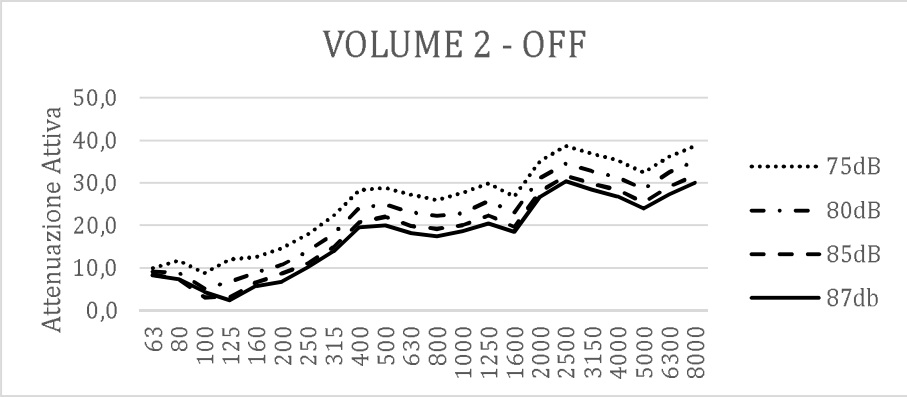


Grafico 3 – Attenuazione Attiva Volume 2

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L_{zeq}
75dB	12,6	10,1	18,5	27,7	26,6	37,4	35,6	34,7	32,2 dB(Z)
80 dB	10,3	6,8	14,3	23,7	22,5	33,4	31,5	31,0	28,2 dB(Z)
85 dB	9,9	4,6	11,5	20,5	19,5	30,3	28,5	27,6	25,1 dB(Z)
87 dB	10,1	4,5	10,2	18,8	18,0	29,0	27,1	25,8	23,6 dB(Z)

Tabella 3 – Attenuazione Attiva Volume 2

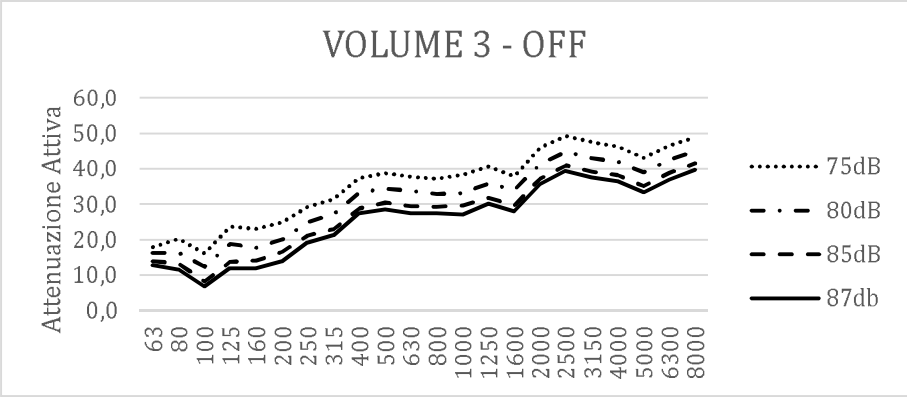


Grafico 4 – Attenuazione Attiva Volume 3

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L_{zeq}
75dB	19,4	19,5	28,2	37,9	37,4	48,1	46,3	44,9	42,7 dB(Z)
80 dB	15,4	15,2	23,7	33,8	32,6	43,6	42,0	40,9	38,4 dB(Z)
85 dB	13,4	11,3	19,8	29,5	29,0	39,6	38,1	37,3	34,5 dB(Z)
87 dB	12,7	9,8	17,6	27,6	26,9	38,0	36,3	35,4	32,8 dB(Z)

Tabella 4 – Attenuazione Attiva Volume 3

I grafici sull'Attenuazione Attiva esprimono la differenza tra il dispositivo spento e le tre configurazioni in cui è acceso. Come ci aspettavamo, la componente di amplificazione è maggiore nei test dove il volume esterno è più basso; quindi mano a mano che aumenta il volume esterno, diminuisce l'amplificazione.

Va però spiegato, a valle di questi risultati, il funzionamento di questi tappi. Il principio di funzionamento è quello dell'Insertion Loss in tutte le configurazioni, con la differenza che, nelle configurazioni in cui il dispositivo è acceso, il suono viene amplificato. Nelle configurazioni accese, infatti, il suono viene attenuato dalla parte in silicone ed in seguito la cassa all'interno amplifica e riproduce il suono, facendo in modo che l'attenuazione complessiva non risulti troppo elevata e che l'utilizzatore non sia isolato. L'amplificazione, data dalla cassa interna ai tappi, risulta essere quindi inversamente proporzionale al rumore esterno.

Molto interessante è il comportamento dei tappi all'aumentare del volume esterno; infatti, come si può osservare dai grafici all'aumentare del volume esterno, aumenta l'attenuazione tramite una diminuzione dell'amplificazione della cassa interna ai tappi. Tale condizione sarà visibile in maniera più chiara nei grafici successivi.

Da questi risultati è evidente come, all'interno dei tappi ci sia un DSP o un processore di segnale digitale che analizza ed elabora il segnale digitale dopo che è stato campionato, decidendo di volta in volta come amplificare il segnale in uscita dal tappo stesso.

RISULTATI – LIVELLO COMPLESSIVO ENERGETICO

Nei grafici che seguono sono esposti i Livelli complessivi energetici che arrivano a livello del timpano (sotto-cuffia). Sono stati elaborati due tipologie di grafici: la prima che rappresenta le quattro configurazioni dei tappi al variare del livello esterno ed una seconda dove, al variare delle tre configurazioni con i tappi accesi, sono rappresentati i test effettuati. Queste due tipologie di grafici sono state elaborate per poter osservare in maniera più diretta quali configurazioni dei tappi sono accettate dalla normativa; ricordiamo che il D.lgs 81/08 consente valori di riferimento inferiore, a livello del timpano, 80 dB(A) per il $L_{ex,8h}$ e 135 dB(C) per il L_{picco} .

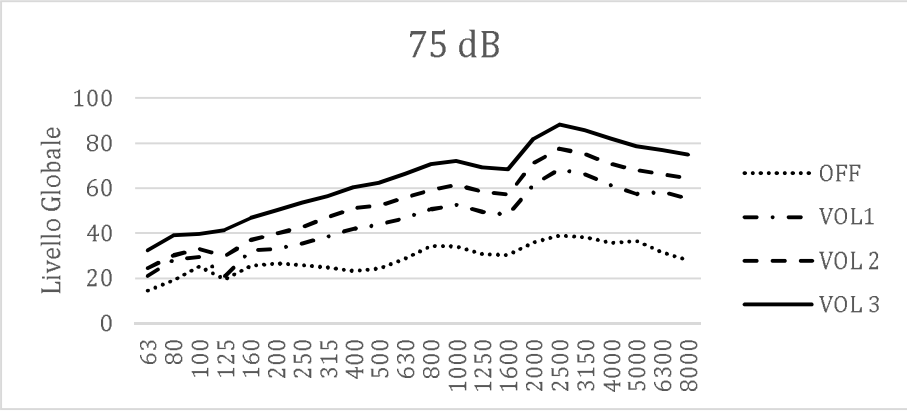


Grafico 5 – Livello Energetico complessivo 75 dB

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L_{zeq}
OFF	25,3	28,9	30,6	30,9	38,2	41,1	41,8	35,4	46,2 dB(Z)
VOL 1	34,2	34,4	41,1	49,5	56,0	69,3	67,8	60,1	72,0 dB(Z)
VOL 2	38,3	39,1	49,0	58,3	64,8	78,5	77,1	68,4	81,2 dB(Z)
VOL 3	44,0	48,4	58,8	68,6	75,6	89,2	87,8	79,0	91,9 dB(Z)

Tabella 5 – Livello Energetico complessivo 75 dB

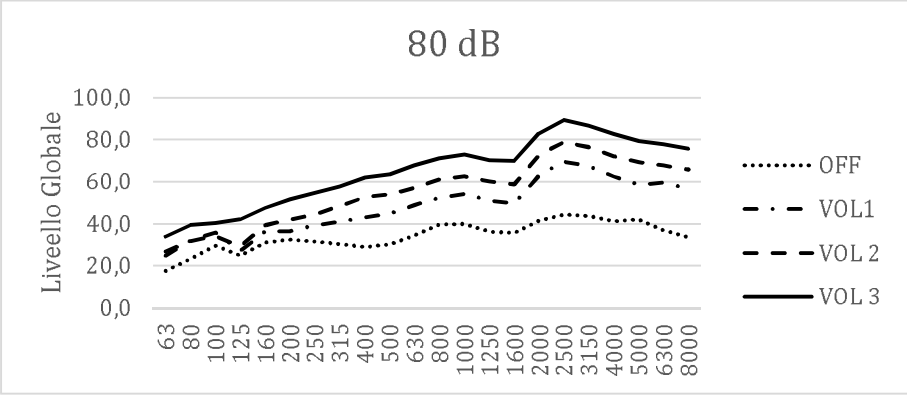
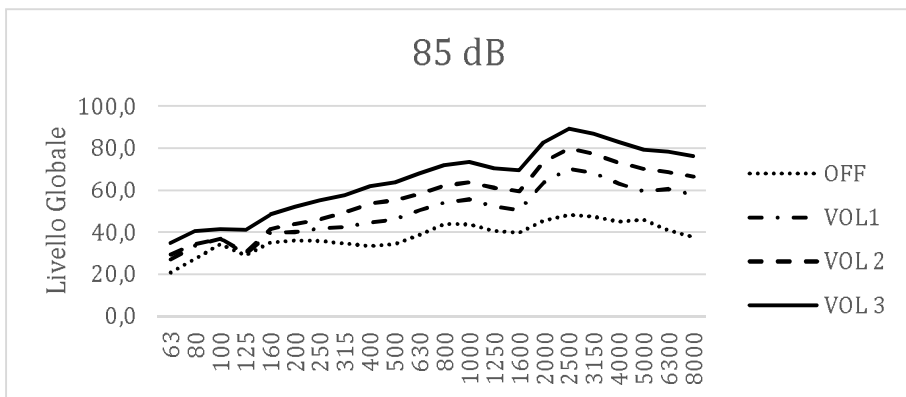


Grafico 6 – Livello Energetico complessivo 80 dB

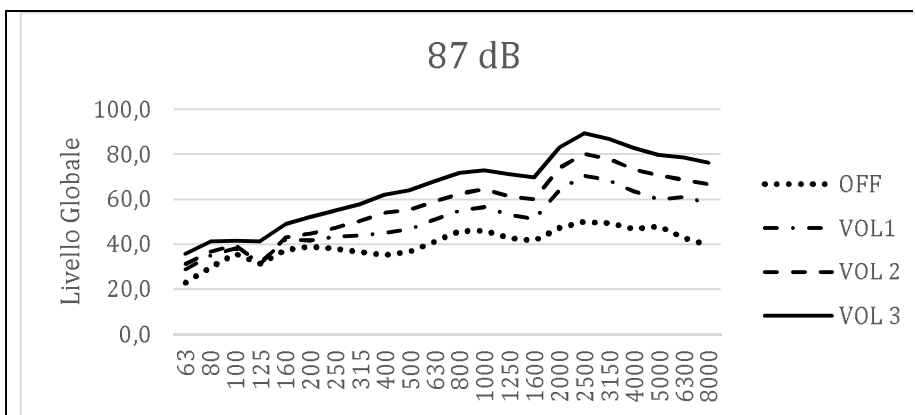
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L_{zeq}
OFF	26,6	34,0	36,4	36,7	43,7	46,6	47,2	40,9	51,6 dB(Z)
VOL 1	40,5	39,5	44,1	51,1	57,5	70,5	69,0	61,4	73,3 dB(Z)
VOL 2	37,4	40,8	50,6	59,9	66,2	79,9	78,4	69,9	82,6 dB(Z)
VOL 3	41,3	49,3	60,1	70,0	76,3	90,2	88,7	79,9	92,9 dB(Z)

Tabella 6 – Livello Energetico complessivo 80 dB



	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L_{zeq}
OFF	29,2	38,4	40,4	40,9	47,8	50,5	51,0	45,0	55,6 dB(Z)
VOL 1	38,8	41,8	46,4	52,6	59,0	71,1	69,7	62,4	74,0 dB(Z)
VOL 2	39,6	43,0	51,9	60,9	67,3	80,8	79,2	70,7	83,5 dB(Z)
VOL 3	42,5	49,8	60,3	69,9	76,9	90,1	88,7	80,4	92,8 dB(Z)

Tabella 7 – Livello Energetico complessivo 85 dB



	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L_{zeq}
OFF	31,7	40,2	42,7	43,2	49,8	52,3	53,0	47,0	57,5 dB(Z)
VOL 1	38,1	43,8	47,8	53,1	59,8	71,5	70,1	62,9	74,4 dB(Z)
VOL 2	42,4	44,8	52,9	61,4	67,8	81,2	79,7	70,8	83,9 dB(Z)
VOL 3	44,6	50,2	60,4	70,3	76,7	90,3	88,9	80,6	93,1 dB(Z)

Tabella 8 – Livello Energetico complessivo 87 dB

Dall'analisi dei risultati si osserva che nella prima configurazione l'attenuazione è molto efficace in quanto il livello sonoro complessivo resta sempre entro gli 80 dB; la seconda configurazione è quella limite, in quanto il livello esterno si trova appena oltre gli 80 dB mentre la terza è di molto oltre i limiti consentiti dalla normativa, essendo sempre oltre i 90 dB.

Nelle configurazioni di Volume 2 e Volume 3 l'amplificazione fornita dal tappo è troppo elevata; tale condizione è verificabile soprattutto nei test 75 dB e 80 dB. Questo caso si verifica quando il livello sonoro interno è più alto di quello esterno a causa di un'amplificazione troppo elevata. Addirittura, in una condizione in cui, senza l'utilizzo dei dispositivi non si è esposti ad un rischio d'esposizione sonora (75 dB), l'utilizzo dei tappi stessi può essere causa del rischio acustico.

Analizzando i dati numerici si osserva un'altra caratteristica, visibile nei grafici seguenti: ad ogni test, il livello equivalente esterno è all'incirca sempre lo stesso. Ciò vuol dire, come detto in precedenza, che i tappi dopo aver analizzato il livello sonoro in ingresso, lo amplificano più o meno a seconda del caso ma portandolo sempre allo stesso livello sonoro complessivo a livello del timpano. Tale condizione è espressa sia nei grafici seguenti, dove a parità di configurazione sono rappresentate le curve relative ai quattro test, sia nelle tabelle precedenti.

Se si confrontano i risultati del livello globale notiamo che sono approssimativamente sempre gli stessi a parità di configurazione.

	L_{zeq} VOL 1	L_{zeq} VOL 2	L_{zeq} VOL 3
Test 75 dB	72,0 dB(Z)	81,2 dB(Z)	91,9 dB(Z)
Test 80 dB	73,3 dB(Z)	82,6 dB(Z)	92,9 dB(Z)
Test 85 dB	74,0 dB(Z)	83,5 dB(Z)	92,8 dB(Z)
Test 87 dB	74,4 dB(Z)	83,9 dB(Z)	93,1 dB(Z)

Tabella 9 – Livelli Globali

Come si può vedere nei grafici seguenti queste curve sono sempre sovrapposte.

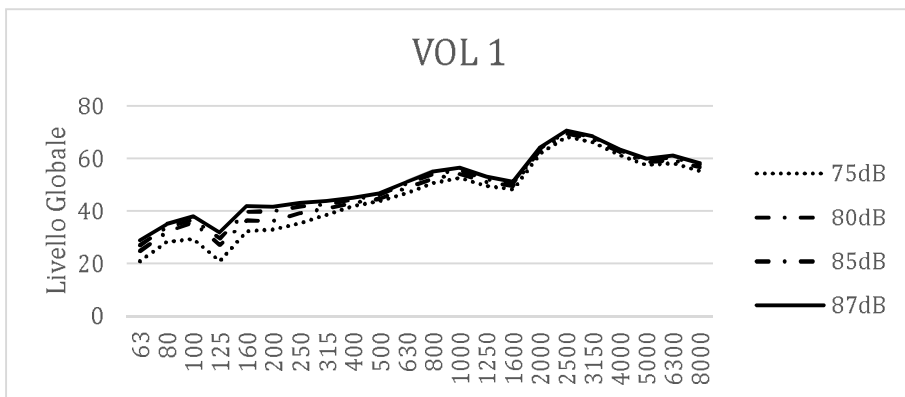


Grafico 10 – Livello Energetico complessivo Volume 1

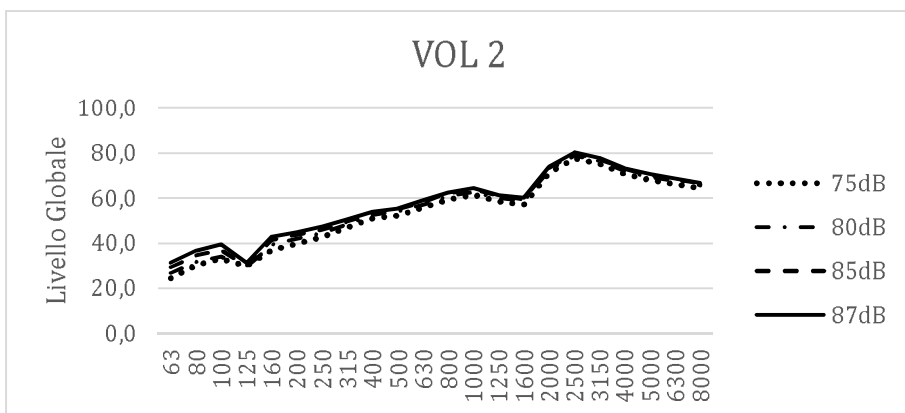


Grafico 11 – Livello Energetico complessivo Volume 2

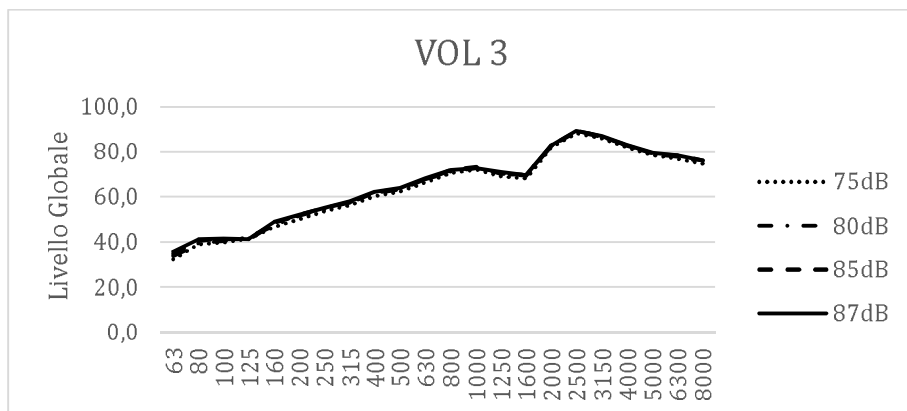


Grafico 12– Livello Energetico complessivo Volume 3

RISULTATI – PERFORMANCE GLOBALI

Per comprendere al meglio il comportamento dei tappi in ogni configurazione è stato realizzato questo grafico in cui abbiamo riassunto i livelli complessivi per ogni configurazione dei tappi accesi (Volume 1, Volume 2 e Volume 3).

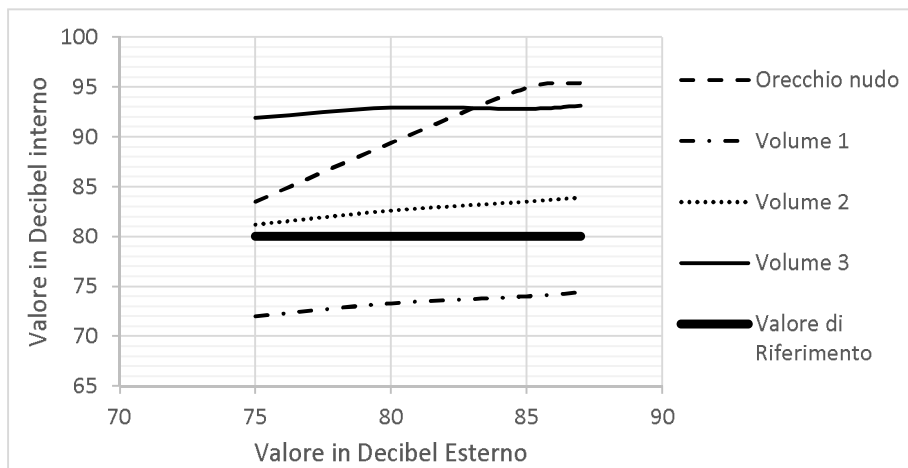


Grafico 13 – Performance Globali

Sull'asse delle ascisse sono presenti i valori di riferimento dei test effettuati (75 dB, 80 dB, 85 dB, 87 dB), mentre sull'asse delle ordinate sono presenti i valori registrati dai microfoni interni.

Come è visibile, la configurazione Volume 1 si trova sempre al di sotto del massimo valore di riferimento consentito dalla normativa, posto a 80 decibel dalla UNI EN-458:2016.

Per quanto riguarda la configurazione di Volume 2, sebbene presenti un'attenuazione considerevole rispetto ai valori registrati per il test a Orecchio nudo, si trova al di sopra del valore di riferimento consentito dalla normativa e quindi non può essere accettabile.

La configurazione di Volume 3 è quella più problematica. L'amplificazione generata dal tappo è troppo elevata, soprattutto se si vanno a prendere in considerazione i test effettuati sotto gli 80 decibel. In questa configurazione è il tappo stesso a rappresentare il pericolo acustico.

Nel grafico appena illustrato sono stati presi i valori complessivi e non quelli discretizzati rispetto al campo della frequenza solo per avere un quadro generale, ma, come detto in precedenza non può essere esaustiva per andare a considerare il comportamento in uno specifico range di frequenza del dispositivo di protezione acustica.

IL FILTRO PASSA-BANDA E LE FREQUENZE DEL PARLATO

Osservando l'andamento delle curve nei *Grafici 10, 11, 12* si nota che c'è una amplificazione abbastanza lineare tra i 160 Hz e i 1000 Hz ed in seguito un picco tra i 1600 Hz e i 4000 Hz. Tale comportamento è tipico di un filtro passa banda che permette il passaggio del segnale per alcune frequenze, e ne taglia delle altre, attenuandole o bloccandole del tutto.

Quando si va ad analizzare l'intelligibilità della lingua parlata per prima cosa bisogna distinguere tra lingue tonali e lingue non tonali. Una lingua tonale è una lingua in cui la variazione di tono di una stessa sillaba ne determina il significato, come avviene nelle lingue asiatiche ad esempio; le lingue non tonali, come le lingue latine, e tendenzialmente tutte le lingue occidentali, non hanno questa caratteristica. Questa distinzione è fondamentale, in quanto nelle lingue non tonali il suono della voce si può intendere come una sovrapposizione del suono delle vocali e delle consonanti.

In generale, la frequenza fondamentale del timbro delle vocali è compresa nell'intervallo 100-120 Hz per gli uomini, ma possono verificarsi variazioni al di fuori di questo intervallo, mentre per le donne si trova all'incirca un'ottava più in alto. Per quanto riguarda le frequenze fondamentali delle consonanti sono sempre superiori ai 500 Hz e più nello specifico interessano quelle tra i 2000 Hz e 4000 Hz.

Tra le due, le consonanti sono quelle più importanti per quanto riguarda l'intelligibilità del parlato, ovvero la comprensione del suono di una conversazione da parte di un ascoltatore; addirittura le prime strumentazioni per lo studio dell'intelligibilità del parlato (Indice STI – 1971 – o Indice RASTI – 1979) si basavano soltanto sui parametri delle frequenze 500 Hz e 2000 Hz.

Questo range di frequenze è così importante per quanto riguarda l'intelligibilità, in quanto la maggior parte delle consonanti, nelle lingue non tonali, ricade in questo intervallo.

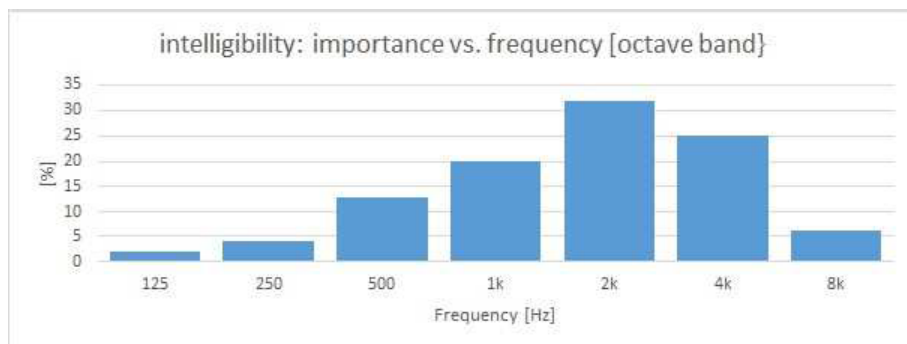


Figura 3 – Frequenze fondamentali dell'intelligibilità del parlato

Probabilmente, i tappi testati utilizzano un filtro passa-banda, ovvero una combinazione delle due tipologie di filtro (passa-alto e passa-basso), ma con lo scopo di aumentare l'intelligibilità del parlato andando ad amplificare quelle che sono le frequenze tipiche delle consonanti più utilizzate nelle lingue occidentali.

CONCLUSIONI

Le malattie professionali correlate al rischio rumore rappresentano ancora una percentuale importante della totalità delle malattie professionali. Il dato più allarmante sta nel fatto che i dati statistici sono rimasti costanti negli ultimi anni invece di diminuire come per altre malattie professionali. Ciò può essere risolto solo con un approccio mirato ad ogni specifico caso; la normativa vigente tende proprio a questo obiettivo, prevedendo vari scenari di applicazione, seppure esistano diverse aree di miglioramento nella tecnica della prevenzione e della protezione contro l'esposizione all'agente fisico. L'analisi meticolosa svolta in questo lavoro, soprattutto andando a considerare le bande di terzi d'ottava, è volta proprio a questo scopo. Seppur consentiti dalla legge ci sono metodi, contenuti nella UNI EN-458:2016 (SNR e HML), che non consentono di valutare in maniera accurata l'adeguatezza di un dispositivo di protezione acustica.

Al termine di quest'analisi le prestazioni dei tappi 3M Peltor Lep 100 EU sono state apprezzabili, sebbene per le configurazioni di Volume 2 e Volume 3 i dati dimostrano come siano oltre i limiti consentiti dalla normativa, come dimostrato nei *Grafici 10, 11 e 12*. Il Volume 1 invece ha risposto in modo molto performante anche a stress acustici considerevoli, mentre, nelle configurazioni di Volume 2 e Volume 3 l'amplificazione fornita dal tappo è troppo elevata nonostante l'attenuazione.

La caratteristica peculiare dei tappi è l'amplificazione delle frequenze del parlato; abbiamo infatti riscontrato in ogni configurazione un'amplificazione delle frequenze fondamentali per l'intelligibilità. Tale amplificazione è fondamentale per risolvere il problema dell'isolamento dovuto all'over-protezione e possiamo concludere che, riguardo quest'aspetto, i tappi 3M Peltor LEP-100 EU hanno una performance ottima.

Il *Grafico 13* evidenzia un altro aspetto di questa tecnologia; infatti all'aumentare del volume esterno resta perlopiù costante il volume interno dei tappi in ogni configurazione. Questa condizione rende evidente la presenza di un limite fisico di questo dispositivo, oltre il quale il volume interno comincia a risentire dell'aumentare del volume esterno. Tale limite è rappresentato proprio dal livello di Attenuazione Passiva dei tappi che, come confermato anche dalle stime della 3M Peltor, si attesta attorno ai 35 decibel.

Questo valore ci porta a supporre che il limite oltre il quale il volume interno non si mantiene più costante sia intorno ai 110-115 decibel. Tale condizione

può essere verificata solo tramite dei test in cui si prendono in considerazione valori di picco molto elevati, che potranno essere presi in esame in studi futuri. Altri studi futuri riguarderanno il comportamento di questi dispositivi sottoposti ad una sorgente impulsiva, in modo da valutare i tempi di risposta del microprocessore.

Per concludere, la performance generale dei tappi è decisamente buona, soprattutto se andiamo a considerare le dimensioni, notevolmente inferiori rispetto a quelle di altri dispositivi di protezione acustica con simili caratteristiche; le aree di sviluppo e applicazione sono molteplici anche se, a valle di questo studio, si dovrebbe prendere in considerazione l'idea di controllare in maniera più efficace l'amplificazione generata dai tappi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Coordinamento Tecnico Interregionale della prevenzione dei luoghi di lavoro – Decreto legislativo 81/2008 Titolo VIII, Capo I, II, III, IV e V sulla prevenzione e protezione dei rischi dovuti all’esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro, Documento 01-2009 – Revisione 03 approvata il 13/02/2014
- [2] INAIL, Valutazione del Rischio Rumore – Edizione 2015
- [3] INAIL, 2019: Nove mesi di malattie professionali, Open data – Dati aggiornati al 30/09/19
- [4] L’intellegibilità del parlato – <https://www.ilmicrofono.it/content/42-l-intellegibilita-del-parlato>

ISTANZA DI “NULLA OSTA” AI SENSI DEL D.LGS. 101/2020: ANALISI PRELIMINARE DELLE NOVITÀ E DEI CAMBIAMENTI RISPETTO AL D.LGS. 230/95 E S.M.I.

**Gian Marco Contessa (1), Francesco Campanella (2), Paolo Rossi (3),
Abdul Ghani Ahmad (4), Barbara Castrucci (5), Maria Antonietta
D’Avanzo (2)**

- (1) ENEA – Dipartimento fusione e tecnologie per la sicurezza – Frascati (Roma)
- (2) INAIL DiMEILA – Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale – Monte Porzio Catone (Roma)
- (3) Ministero della salute – Roma
- (4) Ministero del lavoro e delle politiche sociali – Roma
- (5) Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio e del mare – Roma

1 INTRODUZIONE

A distanza di sei anni e mezzo dalla pubblicazione della direttiva 2013/59/Euratom [1] il D.Lgs. 101/2020 [2] ne recepisce le disposizioni, portando così a compimento il complesso iter di riordino della normativa inerente l’utilizzo delle radiazioni ionizzanti e la radioprotezione. Il nuovo decreto è oggi di fatto testo unico per la radioprotezione, trattando tutti i possibili scenari di rischio correlati alla gestione e all’uso di sorgenti di radiazioni ionizzanti, nonché alla radioattività naturale, codificando strategie operative per la protezione dei lavoratori e della popolazione e dedicando rispetto al passato ancor più attenzione a quella dell’ambiente, vista come misura irrinunciabile per la tutela della salute umana nel lungo termine.

Nello specifico, questo approccio, mutuato dalla direttiva europea, comporta evidentemente alcune significative novità anche in relazione al regime autorizzativo definito nel decreto, in particolare per le istruttorie correlate alla presentazione delle istanze di nulla osta previste dalla norma e attinenti ai diversi “livelli” di utilizzo delle sorgenti di radiazioni ionizzanti: il D.Lgs. 101/2020 impone in tal senso analisi ancor più stringenti e specifiche relative, per esempio, alla scelta del sito per una nuova installazione, o ancora alle modalità di utilizzo delle sorgenti, soprattutto nei casi di maggiore criticità, o infine alla gestione dei rifiuti radioattivi. Quelli appena citati sono solo alcuni degli argomenti sensibili nelle istruttorie autorizzative, e si sommano ad altri ai quali il presente lavoro intende dedicare una panoramica di carattere generale, enfatizzando i margini di novità rispetto al quadro normativo precedente ma non volendo in tal senso perseguire un criterio di esaustività. Al fine di arricchire il documento, sono presenti anche riferimenti preliminari

a tematiche di portata particolarmente ampia (ad esempio le sorgenti naturali o la protezione dei lavoratori esposti), certamente utili al fine dell'elaborazione dell'istanza autorizzativa, ma che meriteranno una trattazione separata ben più estesa. Il lettore potrà in sintesi trarre utili spunti di riflessione, ben sapendo che quanto riportato nel lavoro rappresenta lo sforzo degli autori coinvolti e della sensibilità dai medesimi acquisita in materia, ma non può comunque essere considerato impegnativo per le amministrazioni a cui gli stessi appartengono o quale trattazione che garantisca – nel caso di sua pedissequa applicazione – un automatico pronunciamento favorevole da parte delle autorità competenti coinvolte negli iter autorizzativi codificati dal D.Lgs. 101/2020.

2 ISTANZA PER IL RILASCIO DEL NULLA OSTA

Secondo l'approccio graduato di cui all'articolo 24 della direttiva [3], il controllo regolamentare adottato dal D.Lgs. 101/2020 è commisurato all'ordine di grandezza e alla probabilità delle esposizioni derivanti dalle attività in oggetto, tenendo conto del criterio di delega sulla semplificazione dei procedimenti autorizzativi. Il nuovo sistema regolamentare è impostato su un regime generale di notifica, sul quale si innestano le “eccezioni” delle pratiche esenti e delle pratiche sottoposte a procedimento di autorizzazione (che assorbe anche la notifica), sotto forma di nulla osta o di registrazione, richiesti per le pratiche che presentano rischi di maggiore significatività.

Chi intraprende una pratica sottoposta a nulla osta preventivo deve presentare apposita istanza che, in relazione alla natura della pratica e ai rischi radiologici implicati, deve contenere le informazioni pertinenti la radioprotezione riportate nell'Allegato XIV, mentre per le sorgenti di tipo riconosciuto può essere rilasciata la registrazione secondo i criteri e le modalità stabiliti nell'Allegato XIII.

Le condizioni per la classificazione in categoria A ed in categoria B sono rimaste immutate rispetto al D.Lgs. 230/95 [4].

Sono invece profondamente cambiate le informazioni e la documentazione richieste relativamente alla produzione e modalità di gestione dei rifiuti radioattivi o comunque provenienti da pratiche, e dei materiali di riciclo o riutilizzati, anche in funzione della disattivazione delle installazioni: oltre alle valutazioni riportate all'articolo 151, devono essere fornite informazioni con riferimento ai rifiuti solidi, alla produzione di rifiuti liquidi e aeriformi, ai materiali destinati al riciclo o alla riutilizzazione, come precisato rispettivamente ai punti 3.5, 3.6 e 3.7 dell'Allegato XIV. In particolare, per la produzione di rifiuti liquidi o aeriformi è necessario fornire una formula di scarico con le valutazioni atte a dimostrare il rispetto dei criteri di non rilevanza radiologica, come discusso nel prossimo paragrafo.

L'istanza di nulla osta deve inoltre essere corredata da:

- le informazioni e la documentazione previsti ai sensi dell'articolo 151, nel merito degli aspetti di valutazione del rischio correlati al sito interessato, nonché delle misure di controllo dell'accesso al medesimo, e di ulteriori aspetti di radioprotezione che sono discussi in maniera specifica nei paragrafi che seguono;
- la documentazione relativa ai vincoli di dose proposti al fine dell'applicazione del principio di ottimizzazione per la popolazione e per i lavoratori.

Si segnala che l'introduzione di un unico testo normativo che costituisce il riferimento nel campo della protezione dalle radiazioni ionizzanti ha reso disponibili definizioni e terminologie univoche: in questo senso è chiarita la figura dell'esercente ("una persona fisica o giuridica che ha la responsabilità giuridica ai sensi della legislazione vigente ai fini dell'espletamento di una pratica o di una sorgente di radiazioni"), assente nel D.Lgs. 230/95 e reperibile solo nel D.Lgs. 187/2000 [5].

3 ALLONTANAMENTO DAL REGIME AUTORIZZATIVO E DISPOSIZIONI PER I RIFIUTI RADIOATTIVI

Le disposizioni che vennero introdotte 25 anni fa dal D.Lgs. 230/95 in relazione alla gestione dei rifiuti prevedevano che l'allontanamento fosse soggetto ad autorizzazione quando i medesimi contenessero radionuclidi con tempi di dimezzamento fisico maggiore o uguale a settantacinque giorni o in concentrazione superiore a 1 Bq/g. In tal caso l'allontanamento era soggetto ad apposite prescrizioni da esplicitare all'interno degli stessi provvedimenti autorizzativi rilasciati dall'autorità procedente, in cui venivano stabiliti livelli di allontanamento tali da soddisfare il criterio di non rilevanza radiologica.

Nel caso invece di rifiuti con radionuclidi con tempo di dimezzamento inferiore a 75 giorni e in concentrazione non superiore a 1 Bq/g era possibile il cosiddetto smaltimento in esenzione, cioè senza alcuna necessità di autorizzazione.

La direttiva 2013/59/Euratom prevede che lo smaltimento, il riciclo o il riutilizzo di materiali radioattivi derivanti da qualsiasi pratica siano soggetti ad autorizzazione preventiva, ma i materiali interessati possono essere allontanati in esenzione (su questo punto si lascia quindi la scelta agli Stati Membri) qualora le concentrazioni di attività rispettino, nel caso di materiali solidi, i livelli di allontanamento riportati nella direttiva in Tabella A, coincidenti con quelli di esenzione (e non vincolati alla volumetria smaltita), oppure livelli di allontanamento specifici stabiliti in base ai criteri generali di esenzione e di allontanamento (art. 30).

In particolare, per gli effluenti (liquidi e aeriformi) radioattivi devono essere approvati progetti per lo smaltimento e l'autorità competente può fissare limiti autorizzati nell'ambito dell'autorizzazione e delle condizioni di scarico per il rilascio di effluenti radioattivi che tengono conto dei risultati dell'ottimizzazione della protezione dalle radiazioni (art. 65).

Non è consentita la diluizione deliberata ai fini dell'allontanamento.

Il legislatore italiano nel D.Lgs. 101/2020 ha sancito che ogni materiale (contenente sostanze radioattive), solido, liquido e gassoso, per poter uscire dal sistema regolamentare, deve avere una propria autorizzazione al conferimento, al riciclo o al riutilizzo o allo smaltimento nell'ambiente. Per quanto testé esplicitato, non esiste più alcun allontanamento in esenzione né per i materiali solidi né per i liquidi né per gli effluenti (liquidi o aeriformi), e ogni pratica che prevede un allontanamento, di qualunque entità esso sia, deve essere autorizzata. L'autorizzazione fissa apposite prescrizioni relative alle condizioni per l'allontanamento o per il rilascio, inclusi i vincoli sull'attività totale allontanata in un determinato intervallo di tempo.

Inoltre nessun materiale può essere smaltito nell'ambiente, riciclato o riutilizzato se non sono verificati i livelli di allontanamento stabiliti sulla base del criterio di non rilevanza radiologica che sono inseriti nell'atto autorizzativo.

Sebbene il D.Lgs. 101/2020 richieda sempre, diversamente dalla direttiva 59, la dimostrazione del rispetto della non rilevanza radiologica, la gestione dei materiali solidi è differenziata da quella degli effluenti: l'allontanamento dei solidi è subordinato infatti al rispetto delle concentrazioni contenute in Tabella I-1B (salvo deroghe ai sensi dell'Allegato I punto 8.4, sempre nel rispetto dei criteri di non rilevanza radiologica), che per ogni singolo radionuclide riportano il valore più basso tra quelli della tabella A dell'Allegato VII della direttiva 59 (e delle più recenti BSS IAEA come attività smaltibili in grado di garantire la non rilevanza radiologica per qualsiasi volumetria) e quelli della tabella I-1 dell'Allegato I del D.Lgs. 230/95.

Lo smaltimento in ambiente di effluenti liquidi è condizionato invece al rispetto di una formula di scarico in termini di attività immessa in ambiente in un intervallo temporale che dimostri il rispetto della non rilevanza radiologica (su base annuale). I valori di concentrazione non sono quindi applicabili agli scarichi liquidi e aeriformi che sono espressi in termini di massima attività rilasciate annualmente o in prefissati periodi, stabiliti con apposite prescrizioni (appunto la formula di scarico) contenute negli atti autorizzativi. Dunque nel D.Lgs. 101/2020 è prevista una maggior tutela relativamente ai materiali che escono dal sistema regolatorio in ottemperanza al criterio del non rilassamento delle disposizioni di maggior tutela presente nella legge di delegazione.

Formule di scarico che dimostrino la non rilevanza radiologica sono reperibili all'interno di diversi documenti tecnici internazionali che descrivono modelli in grado di valutare l'impatto di rilasci di materiali radioattivi in ambiente.

Nel caso degli effluenti, il D.Lgs. 101/2020 si discosta dalla direttiva che prevede, come detto, dei limiti nell'ambito dell'autorizzazione che tengono conto dei risultati dell'ottimizzazione della protezione dalle radiazioni. Il "criterio di non rilevanza radiologica" fondamentale rimane infatti quello di $10 \mu\text{Sv}$ come dose individuale annua, valore al di sotto del quale non è di fatto considerato significativo il risultato che proverrebbe da una eventuale applicazione del principio di ottimizzazione.

L'autorizzazione all'allontanamento è un atto a parte, gestito comunque, nel caso di nulla osta, dall'autorità titolare del procedimento autorizzativo della pratica, per cui le due autorizzazioni possono coesistere nello stesso provvedimento.

Come nella direttiva, è vietata la diluizione intenzionale ai fini dello smaltimento in ambiente, il conferimento a terzi, o l'allontanamento per il riciclo.

Le condizioni di allontanamento in relazione ad altre eventuali caratteristiche di pericolosità dei rifiuti diverse da quelle radiologiche devono essere previste negli atti autorizzativi anche attraverso un semplice richiamo alla specifica normativa vigente.

4 VINCOLI DI DOSE

A differenza del D.Lgs. 230/95, che li citava nelle definizioni, il D.Lgs. 101/2020 richiede esplicitamente che in fase di richiesta di nulla osta siano documentati i vincoli di dose proposti al fine dell'applicazione del principio di ottimizzazione per la popolazione e per i lavoratori.

I vincoli di dose sono ovviamente inferiori ai limiti di dose, devono tenere conto di "fattori economici e sociali", e costituiscono un livello di riferimento che non dovrebbe essere superato nell'ambito della buona pratica radioprotezionistica e nella progettazione, pur non costituendo di fatto dei limiti veri e propri. Sono proposti dall' esercente o dal datore di lavoro su indicazione dell'esperto di radioprotezione (ERP), sotto la supervisione - e quindi la relativa approvazione - dell'autorità centrale o territoriale procedente, ossia, ad esempio, il Ministero dello sviluppo economico per i nulla osta di categoria A, e il Prefetto, o le autorità individuate dalle leggi regionali per le pratiche mediche, per i nulla osta di categoria B, i quali valutano, fra gli altri, la corretta e pedissequa applicazione del principio di ottimizzazione da parte del soggetto richiedente l'autorizzazione. In tale

contesto, particolare rilievo è assunto dall'individuazione di un appropriato vincolo di dose per la popolazione [6], come discusso nel paragrafo precedente.

5 ANALISI DEL SITO PROPOSTO PER L'INSTALLAZIONE

Il testo del D.Lgs. 101/2020 prevede espressamente (art. 50 comma 3) che il nulla osta delle pratiche di cui all'art. 50 comma 1, a seconda del tipo o della entità del rischio, comprenda l'esame e l'approvazione del sito proposto per l'installazione, fatte salve le disposizioni in materia di valutazione di impatto ambientale. La valutazione preventiva del sito proposto per le nuove installazioni va effettuata in particolare dal punto di vista della protezione contro esposizioni o contaminazioni indebite, o comunque evitabili, che possano interessare il sottosuolo dell'installazione o anche l'ambiente circostante, tenendo in ciò conto del contesto ambientale, e quindi delle condizioni demografiche, meteorologiche, geologiche, idrologiche ed ambientali nelle quali le installazioni si inseriscono.

Tale previsione traspone l'articolo 65 della direttiva 59, che richiede quest'analisi per le pratiche soggette a obbligo di licenza, e rafforza l'indicazione generale già contenuta – in particolare – nel D.Lgs. 230/95, che esortava al fatto che la documentazione prodotta in accompagnamento a una richiesta di nulla osta fosse atta anche a dimostrare l'idoneità della località dove la pratica sarebbe stata svolta (allegato IX punto 4.4).

Offre una lettura in tal senso il considerando 27 della direttiva 59, che introduce un'aumentata sensibilità e attenzione nei confronti della protezione delle matrici ambientali e secondo il quale la contaminazione dell'ambiente non è più solo una via di esposizione della popolazione interessata dagli scarichi ma è riconosciuta quale minaccia per la salute umana. Un sistema di radioprotezione efficace prevede e garantisce la protezione dell'ambiente soprattutto per tener conto del trasferimento di radionuclidi dall'ambiente all'uomo, anche attraverso l'esame e la valutazione dei siti proposti per ospitare le installazioni sotto l'aspetto demografico, meteorologico, geologico, idrologico ed ambientale. Ciò consente una maggiore consapevolezza e una compiuta analisi di quei fattori necessari a garantire la protezione operativa della popolazione.

6 RETE DI SORVEGLIANZA DELLA RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE

All'art. 151 lettera g), tra gli obblighi del datore di lavoro richiamati in relazione all'istanza di nulla osta, il D.Lgs. 101/2020 prevede anche la

valutazione delle contaminazioni radioattive, con indicazione della natura, dello stato fisico e chimico delle materie radioattive, nonché della loro concentrazione nelle matrici ambientali.

Questa richiesta era in realtà presente anche nell'art.103 del D.Lgs. 230/95, ma si reitera con maggiore enfasi nel D.Lgs. 101/2020, quando, con l'art. 130 ("Attribuzioni dell'esperto di radioprotezione"), si richiede che l'ERP, all'interno delle attività concernenti l'esercizio della sorveglianza fisica, assista il datore di lavoro, nell'ambito delle proprie competenze, nella predisposizione del programma di monitoraggio ambientale connesso all'esercizio della pratica.

Sulla base di quanto sopra, è evidentemente a discrezione dell'ERP, e sotto sua specifica responsabilità, nella fase di progettazione dell'installazione, effettuare la valutazione inerente il "se" e il "come" configurare un'eventuale rete di sorveglianza della radioattività ambientale, sulla cui sussistenza e relativa efficacia è codificato un profilo di responsabilità che ricade specificatamente sull'esercente.

7 PROGRAMMA DI GARANZIA DELLA QUALITÀ

Un'altra novità del nuovo testo normativo rispetto al precedente, almeno per gli aspetti formali, anche se non così significativamente in relazione a quelli sostanziali, è rappresentata dalla necessità di predisporre un "programma di garanzia della qualità" che sia finalizzato alla radioprotezione dei lavoratori e degli individui della popolazione, e che contenga procedure e protocolli tali da rendere "efficace ed efficiente l'organizzazione radioprotezionistica adottata". Il programma di garanzia della qualità viene anche richiamato all'art.127 per i servizi di dosimetria e soprattutto nelle esposizioni mediche. Per "garanzia della qualità" il legislatore intende l'insieme di "tutte quelle azioni programmate e sistematiche necessarie ad accertare con adeguata affidabilità che un impianto, un sistema, un componente o una procedura funzionerà in maniera soddisfacente in conformità agli standard stabiliti. Il controllo della qualità è parte della garanzia della qualità". La garanzia della qualità è dunque un processo metodologico che comporta l'individuazione e il controllo di un insieme di parametri e responsabilità al fine del rispetto di prestabiliti requisiti o anche del grado di vicinanza tra obiettivi prestabiliti e risultati ottenuti.

8 MISURE DI "SECURITY"

Come ultimo elemento di novità si segnala che ora il D.Lgs. 101/2020 richiede esplicitamente per l'istanza di nulla osta all'interno della documentazione

prevista ai sensi dell'articolo 151, la predisposizione di misure di controllo dell'accesso di individui della popolazione all'impianto (art. 151 comma 2 d)). Inoltre, anche all'art. 50 si stabilisce che "il nulla osta delle pratiche, a seconda del tipo o della entità del rischio delle installazioni, comprenda le misure tese a impedire l'accesso all'installazione di persone non autorizzate", secondo protocolli attinenti alla "security" di impianto che sono diventati oggetto di interesse sistematico in particolare in seguito all'acquisita consapevolezza, maturata dal 2001 in poi, in relazione alla possibile sussistenza di strategie terroristiche che guardassero con interesse, in particolare, i siti "nucleari" o comunque installazioni nelle quali fossero presenti sorgenti di radiazioni ionizzanti di cui entrare in possesso, o da colpire a fini di minaccia [7].

9 TEMATICHE CORRELATE (1): L'ESPOSIZIONE ALLE SORGENTI NATURALI

Con riferimento alla protezione dall'esposizione alle sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti il D.Lgs. 101/2020 introduce nella disciplina di radioprotezione moltissime novità, ampliando il sistema regolatorio che era stato introdotto con il D.Lgs. 241/2000.

Il Titolo IV "Sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti" reca, rispetto alla legislazione previgente, molteplici innovazioni che devono in parte essere prese in considerazione anche per le istanze di nulla osta e che si possono riassumere in:

- previsione dell'istituzione del Piano di azione nazionale per il radon;
- protezione dall'esposizione al radon negli ambienti di vita (nel D.Lgs. 230/95 e smi tale argomento era esplicitamente dichiarato fuori dal campo di applicazione);
- determinazione di nuovi livelli di riferimento per la concentrazione di attività di radon;
- indicazione dei criteri per l'individuazione delle aree prioritarie per l'intervento di risanamento da radon, oltre a previsioni di carattere generale finalizzate a dare organicità e valenza nazionale alle disposizioni in materia. Il nuovo approccio permette di inglobare le disposizioni della raccomandazione 90/143/EURATOM nelle prescrizioni vincolanti delle norme fondamentali di sicurezza, lasciando un sufficiente margine di flessibilità per l'attuazione;
- importanti modifiche rispetto al quadro normativo precedente in tema di protezione dall'esposizione al radon negli ambienti di lavoro;
- protezione dei lavoratori e degli individui della popolazione dall'esposizione ai radionuclidi naturali presenti nelle materie e nei residui di "industrie NORM" (*Naturally Occurring Radioactive*

Material): identifica quei materiali abitualmente non considerati radioattivi ma che possono contenere elevate concentrazioni di radionuclidi naturali, per cui sono considerati di interesse dal punto di vista della protezione dei lavoratori e del pubblico;

- protezione dalle radiazioni gamma emesse da nuclidi contenuti nei materiali da costruzione;
- protezione del personale navigante dall'esposizione alla radiazione cosmica.

Volendo fare una sintesi degli elementi principali, si sottolinea che, per le situazioni di esposizione esistenti (come la protezione dal radon negli ambienti di vita e di lavoro e la protezione dell'esposizione gamma dovuta ai materiali da costruzione), lo strumento operativo per la radioprotezione è il "livello di riferimento" in luogo del "livello di azione".

Il "livello di riferimento" è definito come valore di dose o di concentrazione di attività in aria (nel caso del radon) da intendere non come "soglia", ma come valore al di sopra del quale non è opportuno che si verifichi l'esposizione e quindi è prioritario adottare interventi "correttivi". Tuttavia, in osservanza del principio di ottimizzazione, si richiede di valutare l'opportunità che tali interventi siano realizzati anche al di sotto di tale livello.

Per quanto riguarda la protezione dal radon, l'aver stabilito un unico livello di riferimento (concentrazione media annua di 300 Bq/m^3), valevole sia per gli ambienti di vita sia per gli ambienti di lavoro, permetterà di avere un quadro radioprotezionistico più omogeneo e renderà molto più facile l'attuazione della norma. Non va comunque dimenticato che, per le abitazioni costruite dopo il 31/12/2024, il livello di riferimento è stabilito in 200 Bq/m^3 .

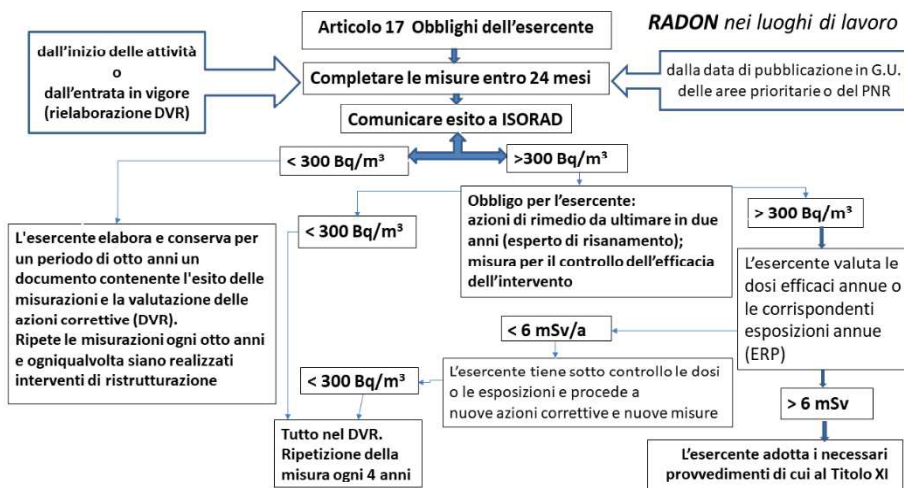
Le norme relative alla protezione dal radon nei luoghi di lavoro si applicano alle attività lavorative svolte nei luoghi indicati all'art. 11: in tali luoghi è obbligatorio procedere alla misurazione della concentrazione di radon in aria media annua e, nel caso si superi il livello di riferimento, si richiede l'adozione di "interventi di risanamento" al fine di riportare i livelli al di sotto del livello di riferimento stabilito dalla norma.

A tal proposito, si cita l'istituzione della figura di "esperto in interventi di risanamento radon", un professionista che abbia il titolo di ingegnere o architetto o geometra e che abbia una formazione specifica.

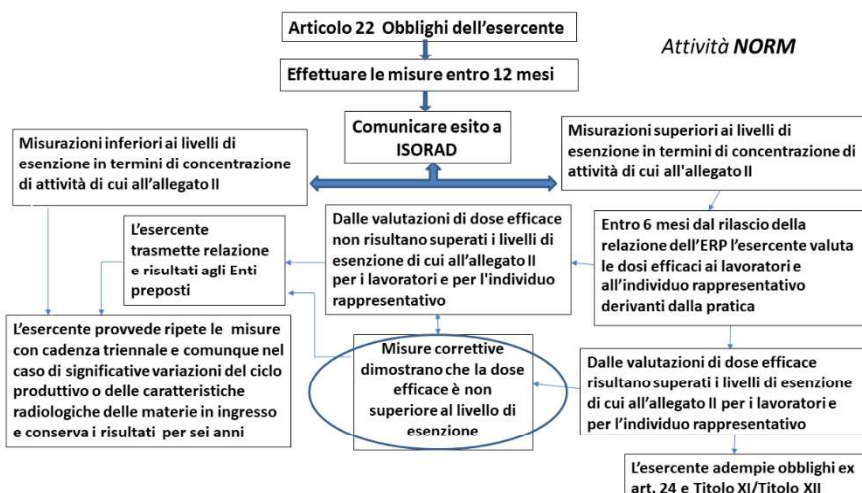
Nei casi in cui le misure correttive non siano sufficientemente efficaci da ridurre la concentrazione media annua di radon sotto 300 Bq/m^3 , si prevede una valutazione dell'esposizione o della dose efficace dei lavoratori, e qualora questa risulti superiore al valore di 6 mSv/anno (o il corrispondente valore di esposizione al radon), tale situazione è da intendersi come una situazione di esposizione pianificata. Ovviamente tali adempimenti, sinteticamente descritti, tenuto conto delle previsioni dell'art. 2 comma 4 del D.Lgs. n. 101/2020, vanno inquadrati nell'ambito degli obblighi previsti dal D.Lgs.

81/08 e smi, quindi ad esempio le relazioni delle misurazioni di radon vanno a corredo del documento di valutazione dei rischi (DVR).

A scopo esemplificativo si riporta lo schema riassuntivo degli adempimenti, indicando nella colonna di sinistra il flusso per i luoghi di lavoro sotterranei e gli stabilimenti termali e nella colonna di destra il flusso per i luoghi di lavoro in locali semisotterranei o situati al piano terra localizzati nelle aree prioritarie e per specifiche tipologie identificate nel Piano nazionale d'azione:



Per quanto riguarda invece le attività NORM, moltissime sono le novità rispetto alla previgente normativa, alcune dei quali sono già state accennate (allontanamento dei materiali). Allo scopo di fornire agli esercenti uno strumento - magari non esaustivo - per la gestione dei loro obblighi, si riporta il seguente schema riassuntivo.



Le aziende che utilizzano o che concentrano questi materiali sono dunque normate in maniera dettagliata: il flusso dei materiali è regolamentato dall'ingresso nell'azienda o dalla loro produzione al loro allontanamento dal sito, al loro riciclo, riutilizzo o gestione come rifiuti. Una classificazione dei residui è stata stabilita. Speciali impianti di gestione di residui ai fini dello smaltimento nell'ambiente con specifici iter autorizzativi sono stati previsti.

10 TEMATICHE CORRELATE (2): LA PROTEZIONE DEI LAVORATORI ESPOSTI

Il Titolo XI disciplina le garanzie da assicurare ai lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti, introducendo due aspetti di novità rispetto alla previgente disciplina: l'estensione dell'ambito di applicazione, che ora riguarda indistintamente tutti i lavoratori (uniformando la definizione a quella presente nel D.Lgs. 81/08 art. 2 comma 1 lettera a), mentre il precedente D.Lgs. 230/95 all'art. 59 conteneva il riferimento ai soli "lavoratori subordinati o ad essi equiparati") e l'indipendenza del soggetto che effettua i controlli rispetto alla parte che svolge l'attività o all'esercente (art. 106 comma 2). L'abrogato D.Lgs. 230/95 rifletteva lo stato della radioprotezione degli anni '90, in particolare le norme di sicurezza di base stabilite dalla direttiva 96/29/EURATOM, ora regolarmente aggiornate alla luce degli sviluppi scientifici, dell'attuale conoscenza degli effetti delle radiazioni e dei corrispondenti cambiamenti nella protezione globale. L'ICRP, che svolge un ruolo chiave nell'aggiornamento delle conoscenze scientifiche sui rischi delle radiazioni e di conseguenza sulla definizione dei limiti di dose nonché sulla

metodologia per la valutazione della dose, ha infatti formulato nuove raccomandazioni nel 2007 [8].

Lo scopo del Titolo XI è quindi quello di dare attuazione ai nuovi limiti di esposizione e metodi di calcolo. Nell'ambito poi del Titolo XI viene data centralità all'informazione e formazione dei lavoratori quale strumento fondamentale per il perseguimento degli obiettivi radioprotezionistici per l'intera gamma delle situazioni e delle categorie di esposizione.

Al fine di un corretto inquadramento della disciplina recata dal Titolo XI, di interesse nella stesura dell'istanza di nulla osta, si nota che le nuove disposizioni, più che introdurre innovazioni di carattere assoluto, recano una maggior specificazione di statuizioni già in essere.

In altri termini, da un raffronto del testo di molti articoli del Capo VIII del D.Lgs. 230/95 con quelli del nuovo Titolo XI, ciascuna disposizione appare più articolata e ricca di prescrizioni rispetto alla precedente: i nuovi obblighi e adempimenti rappresentano in realtà, nella maggior parte dei casi, esclusivamente una esplicitazione di obblighi e adempimenti ai quali già occorreva attendere.

Volendo effettuare un *excursus* delle novità recate in questo Titolo, non si può che partire dal nuovo limite di esposizione al cristallino (art. 146), che è stato ridotto dal valore di 150 mSv/anno al valore di 20 mSv/anno. Inoltre, il limite di dose equivalente al cristallino per i lavoratori esposti è stato fissato in 15 mSv/anno, riducendolo rispetto al passato (150 mSv/anno) di 10 volte per i lavoratori di categoria A e di 3 volte (45 mSv/anno) per i lavoratori di categoria B.

I nuovi limiti naturalmente hanno stretta connessione con la classificazione dei lavoratori, contenuta nell'istanza di nulla osta, e conseguentemente con gli obblighi che ne scaturiscono. La sorveglianza sanitaria ad esempio viene *in toto* demandata al Medico Autorizzato (MA).

Le ulteriori novità riguardano all'art. 108 gli obblighi non delegabili del datore di lavoro, quali la nomina delle figure professionali del MA e dell'ERP, passando poi per l'art. 109 dove vengono meglio specificate alcune previsioni già in vigore (la relazione dell'ERP fa parte del DVR), oltre ai nuovi obblighi di trasmissione (comma 9) dei "[...] risultati delle valutazioni di dose effettuate dall'esperto di radioprotezione per i lavoratori esposti, in materia di formazione, informazione e addestramento [...]".

Nuove previsioni sono introdotte anche relativamente alla formazione, informazione e addestramento dei dirigenti, proposti e lavoratori di cui agli artt. 110 e 111: queste attività che devono essere svolte, nell'ambito delle rispettive competenze, dagli ERP e dai MA in possesso dei requisiti previsti dalla normativa concernente il riconoscimento della figura del formatore in materia di salute e sicurezza.

L'art. 112 disciplina gli obblighi del datore di lavoro di lavoratori esterni, mentre il vecchio testo rivolgeva le proprie previsioni al datore di lavoro di

impresa esterna: tale cambiamento è dovuto proprio alla direttiva, ma nulla di sostanziale rispetto alle previgenti previsioni è stato modificato. Va sottolineato il superamento dell'obbligo di autorizzazione da parte (ovvero di notifica al) Ministero del lavoro, precedentemente previsto.

Infine, all'art. 126 è prevista l'istituzione dell'archivio nazionale dei lavoratori esposti: tale previsione non è del tutto nuova nell'ordinamento nazionale, in quanto già l'art. 76 comma 2 del D.Lgs. 230/95 fa riferimento a un non meglio specificato "archivio nazionale per i lavoratori esposti" da istituire presso il Ministero del lavoro, nel quale inserire i dati comunicati dai servizi di dosimetria. Il decreto di istituzione non è mai stato emanato e, pertanto, non era stato possibile istituire l'archivio; l'attuale previsione è volta anche a superare le difficoltà legate al passato.

Un'ultima considerazione va fatta in relazione ai servizi di dosimetria. Tali servizi sono citati in diverse parti del decreto: ad esempio l'art. 127 al comma 3 prevede che "[...] chiunque, alla data di entrata in vigore del presente decreto, svolge attività di dosimetria individuale deve adottare programmi di controllo e garanzia della qualità e garantire la tracciabilità dei sistemi di taratura utilizzati presso un laboratorio accreditato di taratura", e il punto 5 dell'allegato I indica i requisiti minimi che i servizi di dosimetria devono avere.

CONCLUSIONI

L'emanazione del D.Lgs 101/2020 ha consentito una riorganizzazione della normativa di radioprotezione all'interno di quello che si pone evidentemente quale testo unico di riferimento per la gestione e l'utilizzo in Italia delle radiazioni ionizzanti. Le novità introdotte dal decreto sono molteplici e vanno analizzate con cura e specificità, e in realtà solo il tempo consentirà di valutarne esattamente la portata sul sistema radioprotezionistico nazionale. Ciò premesso, giova certamente porsi in prima battuta il problema di quanto il nuovo testo di legge abbia influito e influirà sugli aspetti autorizzativi connessi alle istanze di nulla osta, in ciò riferendosi sia a modifiche di precedenti decreti autorizzativi, sia al rilascio di nuovi decreti autorizzativi. Proprio a tal fine, il presente lavoro - predisposto a circa due mesi dall'entrata in vigore del D.Lgs. 101/2020 - affronta necessariamente e volutamente in via preliminare e non esaustiva le varie tematiche che compongono un'istanza autorizzativa, a volte affrontando temi di portata molto ampia per i quali l'obiettivo è la concretizzazione di spunti di riflessione che il lettore potrà autonomamente approfondire.

La pubblicazione contiene le indicazioni, le chiavi di lettura e gli auspici metodologici correlati alla sensibilità professionale degli autori coinvolti, ma

non deve ritenersi impegnativa per le amministrazioni alle quali gli stessi appartengono.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il dott. Stefano De Crescenzo e il dott. Sandro Sandri per le illuminanti conversazioni sugli argomenti trattati nel presente articolo, nonché l'ing. Ugo Bollettini per il prezioso contributo offerto in sede di revisione del lavoro.

BIBLIOGRAFIA

[1] 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.

[2] Decreto Legislativo 31 luglio 2020, n. 101. Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117. GU Serie Generale n.201 del 12-08-2020 - Suppl. Ordinario n. 29.

[3] P. Rossi, G.M. Contessa. "Il recepimento della Direttiva EURATOM 59/2013". *Atti del Convegno Nazionale dBA 2017 "Radiazioni ionizzanti e non ionizzanti: valutazione e protezione alla luce della nuova normativa europea"*, Modena, 14 settembre 2017.

[4] 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".

[5] 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.

[6] G.M. Contessa, S.A. De Crescenzo, P. Rossi. "L'ottimizzazione della radioprotezione nel contesto nazionale e internazionale". *Bollettino AIRP* 2020, Anno XLVII, Volume 178, Numero 1-4, luglio 2020.

[7] Indicazioni per l'applicazione di una strategia di sicurezza finalizzata alla prevenzione di eventi anomali a fini di minaccia nelle strutture sanitarie che utilizzano radiazioni ionizzanti, luglio 2007 (già monografico ISPESL), https://www.inail.it/cs/internet/docs/all_rit_gruppo_lavoro_gestione_in_sicurezza_fonti_rischio_radiol.pdf?section=attivita

[8] ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

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

- **dBaincontri2003 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
- **dBaincontri2004 - 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
- **dBaincontri2004 - Microclima - Valutazione, prevenzione e protezione dai rischi e comfort nei luoghi di lavoro**
Atti del Convegno di Modena del 14 ottobre 2004
- **dBaincontri2005 – Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro - Verso un Manuale di buona pratica**
Atti del Convegno di Bologna del 14 settembre 2005
- **dBa'06 Rumore, vibrazioni, microclima, campi elettromagnetici, radiazioni ottiche e ionizzanti - Valutazione, prevenzione e bonifica negli ambienti di lavoro**
Atti del Convegno di Modena del 12 e 13 ottobre 2006
Volume 1: Rumore e vibrazioni
Volume 2: Microclima
Volume 3: Campi elettromagnetici, radiazioni ottiche e ionizzanti
- **dBaincontri2008 – 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
- **dBaincontri2009 – Interventi per la riduzione del rischio rumore. Legislazione, normativa, tecnologie, esperienze**
Atti del Convegno di Modena del 24 settembre 2009
- **dBa'10 Rischi Fisici: valutazione, prevenzione e bonifica nei luoghi di lavoro. A che punto siamo**
Atti del Convegno di Modena del 6 e 7 ottobre 2010

- **dBaincontri2011 – Laser e Radiazioni Ottiche Artificiali non coerenti. Valutazione, prevenzione, protezione, esperienze**
Atti del Convegno di Modena del 21 settembre 2011
- **dBaincontri2012 – Aggiornamenti sul rischio rumore. Valutazione, prevenzione e protezione nei luoghi di lavoro**
Atti del Convegno di Modena del 11 ottobre 2012
- **dBaincontri2014 – Agenti Fisici nei luoghi di lavoro: aggiornamenti, approfondimenti, esperienze**
Atti del Convegno di Modena del 17 settembre 2014
- **dBa'15 Trent'anni di Prevenzione e Protezione dagli Agenti Fisici**
Atti del Convegno di Modena del 27 maggio 2015
- **dBaincontri2016 – Campi Elettromagnetici nei luoghi di lavoro. Legislazione, Valutazione, Tutela.**
Atti del Convegno di Bologna del 21 ottobre 2016
- **dBaincontri2017 – Radiazioni ionizzanti e non ionizzanti: valutazione e protezione alla luce della nuova normativa europea.**
Atti del Convegno di Modena del 14 settembre 2017
- **dBa2018 – I rischi fisici nei luoghi di lavoro.**
Atti del Convegno di Bologna del 17 ottobre 2018
- **dBa2019 – Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro.**
Atti del Convegno di Bologna del 17 ottobre 2019
- **dBa2020 – La gestione del microclima nei luoghi di lavoro in presenza di una emergenza epidemica**
Atti del Convegno on-line del 3 dicembre 2020

Altre pubblicazioni

Collana REACH

- **CLP-REACH_2020-COVID - Rischio chimico nei luoghi di vita e di lavoro.** (2020)
- **REACH-OSH_2019 – Sostanze Pericolose: Valutazione del rischio, Scheda di Dati di Sicurezza, Scenari di Esposizione, Misure di gestione del rischio.** (2019)
- **REACH2018 – Sostanze Pericolose. Identificazione, Registrazione, Valutazione, Autorizzazione, Restrizione e Gestione del Rischio.** (2018)
- **REACH 2017 – L'applicazione dei Regolamenti REACH e CLP nei luoghi di vita e di lavoro e nel comparto metalmeccanico** (2017)
- **REACH 2016 – L'applicazione dei regolamenti REACH e CLP nei luoghi di vita e di lavoro** (2016)
- **REACH 2015 – L'applicazione dei regolamenti REACH e CLP nei luoghi di lavoro. L'applicazione dei Regolamenti Europei delle Sostanze Chimiche in ambito sanitario** (2015)
- **REACH 2014 - I Regolamenti Europei REACH e CLP: l'interazione tra le normative sociali e di prodotto, il confronto e l'assistenza alle imprese, l'armonizzazione europea dei controlli** (2014)

Collana Risch

- **RisCh 2014 – L'aggiornamento della valutazione del rischio da agenti chimici pericolosi, cancerogeni e mutageni: la valutazione della sicurezza chimica, la nuova scheda di dati di sicurezza e gli scenari di esposizione**

- **RisCh 2012 – Agenti chimici pericolosi, cancerogeni, mutageni, REACH, CLP, SDS**
- **RisCh 2011 – Le nuove valutazioni del rischio da agenti chimici pericolosi e dell'esposizione ad agenti cancerogeni, mutageni**
- **RisCh 2010 – Le sostanze pericolose nei luoghi di lavoro.** Individuazione del pericolo, Regolamenti REACH e CLP, Scheda Dati di Sicurezza, Valutazione del rischio da agenti chimici pericolosi, cancerogeni e mutageni
- **RisCh 2008 – Sostanze pericolose:** agenti chimici pericolosi, cancerogeni, mutageni e l'amianto
- **RisCh 2006 – Il rischio chimico nei luoghi di lavoro:** identificazione, misurazione, valutazione, prevenzione e protezione, sorveglianza sanitaria, esperienze ed approfondimenti
- **RisCh 2005 – Sostanze e preparati pericolosi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.** Classificazione ed autoclassificazione, etichettatura di pericolo e scheda di sicurezza, valutazione del pericolo e del rischio, aspetti critici ed innovativi. Il caso della silice libera cristallina
- **RisCh 2004 – Agenti cancerogeni, mutageni e chimici pericolosi:** l'applicazione dei Titoli VII e VII-bis DLgs.626/94, l'assistenza e la collaborazione con le parti sociali, la vigilanza e il controllo
- **RisCh-Bitume - Il rischio da agenti chimici nella produzione e messa in opera dei conglomerati bituminosi (2004)**
- **RisCh-La valutazione del rischio e dell'esposizione ad Agenti Chimici Pericolosi (2003)**

- **RisCh-Prevenzione e Protezione da Agenti Chimici Pericolosi.** Le novità del D.Lgs.25/02, la valutazione e la giustificazione del rischio, le misurazioni e la sorveglianza sanitaria (2002)
- **RisCh-Prevenzione e Protezione da Agenti Cancerogeni e Mutageni.** Le novità del D.Lgs.66/2000, la valutazione dell'esposizione, la sostituzione e i protocolli di prevenzione (2001)
- **RisCh'Alt-Prodotti chimici e tecnologie alternative all'impiego delle sostanze pericolose:** formulazioni e tecnologie meno pericolose per l'uomo e l'ambiente, le schede informative in materia di salute, sicurezza e ambiente (2000)
- **RisCh'Amb-La produzione compatibile con l'ambiente di vita e di lavoro:** approfondimenti sul D.Lgs.626/94, gestione dei rischi ambientali, assicurazione dell'ambiente (1999)
- **RisCh'dpi-I dispositivi di protezione individuale delle vie respiratorie:** aspetti normativi ed applicativi, linee guida e criteri per la scelta e l'uso, stato di applicazione del Titolo IV D.Lgs.626/94 (1999)
- **RisCh'flr-I fluidi lubrorefrigeranti nelle lavorazioni meccaniche:** Fattori di rischio - Misure di sicurezza ed igiene del lavoro - Tutela dell'ambiente (1998)
- **RisCh'SP-Le sostanze pericolose per l'uomo e per l'ambiente:** identificazione dei pericoli, valutazione dei rischi, classificazione, obbligo di ricerca, imballaggio ed etichettatura, scheda di dati di sicurezza, vigilanza e controlli (1998)
- **RisCh'96-II rischio chimico negli ambienti di lavoro:** identificazione, misurazione, valutazione, prevenzione e protezione (1996)

Collana SICUREZZA

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

Collana ASL incontri

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



Il progetto dBA nasce a Modena nel 1985 da un'idea di Omar Nicolini.

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

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

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

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

PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA

ISBN 978-88-944190-9-2



9 788894 419092

Stampato in Italia – Printed in Italy – Dicembre 2020

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