

Francesco Chirico, Giuseppina Rulli

Comfort termico e qualità dell'aria indoor in alcuni ambienti di lavoro della Polizia di Stato in Italia

Centro Sanitario Polifunzionale di Milano, Servizio Sanitario della Polizia di Stato, Ministero dell'Interno, Italia.

RIASSUNTO. *Introduzione.* Sono pochi gli studi sul comfort termico e la qualità dell'aria negli ambienti di lavoro indoor delle forze dell'ordine. Con questo studio abbiamo voluto presentare i risultati di una campagna di indagini ambientali effettuata dal Centro Sanitario Polifunzionale di Milano del Servizio Sanitario della Polizia di Stato, finalizzata alla verifica del comfort termico e della qualità dell'aria in alcuni ambienti di lavoro "indoor" della Polizia di Stato. *Materiali e metodi.* Le misurazioni strumentali sono state effettuate in alcuni ambienti di lavoro "indoor" (uffici, archivi, laboratori tecnici e corpi di guardia) di diversi edifici siti in alcune Regioni (Lombardia, Emilia Romagna, Liguria, Veneto, Trentino Alto-Adige) del Nord Italia. Sono stati utilizzati gli indici di Fanger "PMV/PPD" per la valutazione del benessere termico ed i livelli di umidità relativa dell'aria e di concentrazione media di CO₂ indoor per la valutazione della qualità dell'aria indoor. Attraverso il test del Chi quadrato ed il t Test di Student abbiamo confrontato i risultati ottenuti per evidenziare la prevalenza di eventuali criticità microclimatiche e le eventuali differenze esistenti tra la stagione invernale e quella estiva.

Risultati. Sono state effettuate ai fini del presente studio 488 misurazioni in 36 edifici (N=260 invernali e N=228 estivi). In inverno, nel 95% dei rilievi è stato evidenziato uno stato di comfort termico "globale", mentre in estate, la percentuale di comfort termico "globale" è scesa al 68% con un 32% di discomfort "da caldo" di grado diverso (soprattutto forme lievi con $\pm 0,7 < PMV < \pm 1$ o $\pm 1 < PMV < \pm 2$). Per quanto riguarda la qualità dell'aria, nella stagione invernale, il livello di CO₂ misurato ha superato il valore limite di 1000 ppm nel 39% dei casi, mentre nella stagione estiva ciò si è verificato solo nel 9% dei casi. Il test del chi-quadrato ha evidenziato una differenza statisticamente significativa ($p < .0001$) tra le due stagioni (estate-inverno) per tutti gli outcomes considerati. Infatti, il comfort termico è prevalso in inverno ($X^2 = 61.0795$), mentre la qualità dell'aria, considerando sia il valore limite di CO₂ di 1000 ppm sia quello di 1200 ppm, è risultata essere migliore in estate (rispettivamente $X^2 = 56.9004$ e $X^2 = 8.8845$, $p < .0001$). Anche i livelli di umidità relativa troppo bassi (RH < 30%) sono risultati essere prevalenti in inverno ($X^2 = 124.7764$, $p < .0001$).

Discussione e conclusione. Il nostro studio, pur non evidenziando alcuna situazione di rischio per la salute e la sicurezza degli operatori di polizia impiegati negli ambienti indoor di tipo "moderato", ha evidenziato in alcuni ambienti di lavoro delle possibili criticità per il comfort termico in estate e per la qualità dell'aria in inverno. Semplici, efficaci e poco costose misure di prevenzione sono già attuabili nella fase della valutazione del rischio di tipo preliminare (fase di "osservazione") prima dell'esecuzione delle indagini ambientali di tipo strumentale, per ottimizzare le risorse disponibili e rendere più efficace il processo valutativo, nel rispetto delle norme tecniche e dei principali modelli di valutazione del rischio esistenti.

Introduzione

In Italia, l'interesse per il benessere termo igrometrico negli ambienti di lavoro "indoor" è cresciuto sempre di più, tanto da spingere il legislatore italiano ad inserire esplicitamente il "microclima" tra gli agenti fisici normati dal D.Lgs 81/08. Il comfort termico è stato spesso oggetto di indagini empiriche (1). A livello internazionale gli studi sugli effetti negativi del discomfort termico negli ambienti di lavoro "indoor" hanno riguardato soprattutto gli uffici (2-7) e gli ospedali (8-14). Altre ricerche sono state effettuate nelle officine (15), nelle case di riposo per anziani (16), nelle scuole (17), e nei mezzi di trasporto pubblici (18). In Italia, il microclima moderato è stato studiato negli uffici (19, 20), nelle aule scolastiche (21, 22), nelle università (23, 24), nei supermercati (25), negli ospedali (26-28), nei teatri (29) e nei servizi di trasporto aerei (30). Le poche indagini sul comfort termico riguardanti le forze dell'ordine hanno riguardato, invece, le problematiche per il comfort termico causate dal vestiario indossato dagli operatori di polizia (31, 32). Il microclima moderato è un fattore di rischio che può anche incidere sulla qualità dell'aria di ambienti "indoor" come gli uffici, le caserme, le scuole e gli ospedali. In tal senso, diversi studi riguardanti la Sick Building Syndrome (SBS) hanno esaminato il possibile ruolo svolto dai parametri termoigrometrici (temperatura, umidità) nell'insorgenza di tale sindrome durante il lavoro d'ufficio (33-36). La SBS è stata descritta dall'Organizzazione Mondiale della Salute (OMS) fin dal 1983 e viene, in genere, definita come una sindrome che colpisce almeno il 20% dei lavoratori presenti in un edificio, con uno o più sintomi di carattere aspecifico (disturbi irritativi a carico di occhi, cute, prime vie aeree e sistema nervoso centrale) per almeno 2 settimane, che regrediscono con l'allontanamento dall'edificio "malato" (37). Mentre sono numerose le ricerche sulla qualità dell'aria "outdoor" nei poliziotti esposti agli inquinanti atmosferici (38-41), sono pochi, invece, gli studi che esaminano in modo specifico il problema della qualità dell'aria (IAQ) negli uffici e negli altri ambienti di lavoro "indoor" dove vengono quotidianamente svolte le attività lavorative degli operatori di polizia (42, 43). I pochi studi esistenti si sono concentrati su particolari esposizioni indoor, come per esempio il

Parole chiave: operatori di Polizia, comfort termico, qualità dell'aria indoor, valutazione del rischio, postazione di lavoro al videoterminale.

ABSTRACT: THERMAL COMFORT AND INDOOR AIR QUALITY IN SOME OF THE ITALIAN STATE POLICE WORKPLACES.

Introduction. Little can be found in the literature about thermal comfort and indoor air quality (IAQ) in law enforcement workplaces. This study, based on environmental surveys carried out by the Centro Sanitario Polifunzionale of Milan (Italian State Police Health Service Department), aims to assess the thermal comfort and IAQ in some of the Italian State Police workplaces. **Materials and methods.** Measurements were performed in some indoor workplaces such as offices, archives, laboratories and guard-houses in various regions (Lombardia, Emilia Romagna, Liguria, Veneto, Trentino Alto-Adige) of Northern Italy. The PMV/PPD model developed by Fangar for the evaluation of the thermal comfort was used. We measured both CO₂ concentration and relative humidity indoor levels for the evaluation of IAQ. We used Chi square and t Student tests to study both prevalence of thermal discomfort and low IAQ, and their differences between summer and winter.

Results. For the purposes of the present study we carried out 488 measurements in 36 buildings (260 in winter and 228 in summer). Our results showed that thermal comfort was reached in 95% and 68% of environmental measurements (in winter and summer, respectively). In summer, we measured different types of thermal discomfort (it was almost always ranged $\pm 0,7 < PMV < \pm 1$ or $\pm 1 < PMV < \pm 2$). As regard to IAQ, CO₂ exceeded the threshold limit value (1000 ppm) in 39% (winter) and 9% (summer) of our measurements. Chi-square test showed a statistically significant difference ($p < .0001$) between summer and winter for all outcomes considered. Indeed, thermal comfort was better in winter than summer ($X^2 = 61.0795$), while IAQ was found to be better in the summer than winter considering both the CO₂ 1000 ppm and 1200 ppm threshold values ($X^2 = 56.9004$ and $X^2 = 8.8845$ respectively, $p < .0001$). Prevalence of low relative humidity (RH < 30%) in winter was higher than in summer ($X^2 = 124.7764$, $p < .0001$).

Conclusions. Even though this study did not report any situation of risk to Italian police officers health and safety, it has highlighted some potential issues in some of the examined workplaces, concerning thermal comfort in summer and IAQ in winter. Regarding the risk assessment process, simple and inexpensive preventive measures are already feasible in the 'observation phase' of the risk assessment, before execution of instrumental environmental survey. According to the technical standards and risk assessment models, this way might increase both comfort levels for workers employed in indoor environments and the effectiveness of the risk assessment process, through the optimization of available resources.

Key words: police officers, thermal comfort, indoor air quality, risk assessment, VDT workstations.

piombo nei poligoni di tiro (44, 45), la marijuana (46) e la metamfetamina durante le attività investigative (47) o l'esposizione al radon nei locali di lavoro interrati o seminterrati (48). Non vi sono, invece, né in Italia né a livello internazionale, per quel risulta agli autori della presente ricerca, studi sul comfort termico negli uffici di polizia e non conosciamo, almeno in Italia, studi sulla IAQ nelle caserme, nei commissariati e negli altri edifici dove gli operatori di polizia svolgono la loro attività lavorativa "indoor". Scopo del presente studio, pertanto, è stato quello di presentare i risultati di una campagna di indagini ambientali microclimatiche effettuata negli ambienti di lavoro indoor adibiti ad attività d'ufficio, nei commis-

sariati, nelle caserme, nelle questure e in altre "aree riservate" della Polizia di Stato, in alcune regioni del Nord Italia. I rilievi utilizzati per il nostro studio, sono stati realizzati dal Centro Sanitario Polifunzionale (CSP) di Milano, organo del Servizio Sanitario della Polizia di Stato, nell'ambito dell'attività di collaborazione alla valutazione del rischio per la verifica della salubrità dell'aria e del comfort termo-igrometrico negli ambienti di lavoro indoor, prevista in Italia, dalla normativa vigente (D.Lgs 81/08 e smi) anche nell'ambito delle aree "riservate" della Polizia di Stato.

Strumenti e metodi

L'indagine ambientale

Le misurazioni strumentali sono state effettuate dal CSP di Milano in uffici ed in altri ambienti di lavoro (archivi, laboratori, magazzini) adibiti ad ufficio, dislocati in vari edifici di diverse Regioni (Lombardia, Liguria, Emilia-Romagna, Veneto, Trentino Alto-Adige) del Nord Italia. Gli ambienti esaminati erano quelli dove erano state segnalate, in sede di valutazione del rischio, da parte del datore di lavoro e/o delle varie figure preposte alla salute e sicurezza nei luoghi di lavoro (responsabile del servizio di prevenzione e protezione, medico competente e rappresentante dei lavoratori per la sicurezza) delle possibili criticità microclimatiche esistenti per la qualità dell'aria indoor e/o per il benessere termoigrometrico dei lavoratori addetti. Il CSP di Milano è un organo della Direzione Centrale di Sanità del Dipartimento della Pubblica Sicurezza del Ministero dell'Interno, che svolge attività di assistenza clinica, di consulenza medico legale e di medicina del lavoro. Il servizio di medicina del lavoro del CSP di Milano supporta i datori di lavoro e le altre figure impegnate nella tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori nelle aree "riservate" della Polizia di Stato, senza svolgere, tuttavia, alcuna funzione di controllo e/o di vigilanza interna. Le indagini ambientali sono state effettuate nel rispetto della metodologia operativa descritta dalle principali norme tecniche di settore e dalla letteratura scientifica di riferimento (49-52); tale metodologia operativa è stata, peraltro, oggetto di una nostra precedente revisione (53). Gli edifici esaminati sono stati studiati nella stagione estiva e/o in quella invernale, in un periodo compreso tra l'estate del 2012 e l'inverno del 2016. Ogni giornata di misurazioni è stata preceduta da un approfondito sopralluogo conoscitivo di tutti gli ambienti di lavoro, effettuato insieme al dirigente della struttura, al preposto, al responsabile e/o ad un addetto al servizio di prevenzione e protezione e ai lavoratori presenti. Durante il sopralluogo, sono stati scelti solo gli ambienti di lavoro maggiormente rappresentativi, seguendo la strategia del "campionamento" e dando comunque priorità agli ambienti dove erano state segnalate o rilevate, nel corso della stagione di riferimento, delle possibili criticità correlate al comfort termico e/o alla qualità dell'aria indoor. Le misurazioni erano finalizzate sia all'individuazione delle corrette misure di prevenzione nel caso di criticità già note, sia all'esecuzione di uno studio esplorativo

di base, attraverso misurazioni effettuate in condizioni lavorative standard e negli ambienti di lavoro maggiormente rappresentativi dell'intero edificio esaminato.

Strategia di misurazione

In tutti gli ambienti di lavoro oggetto della nostra indagine sono state effettuate contemporaneamente la misurazione strumentale dei parametri termico igrometrici e dei parametri di qualità dell'aria. Per quanto riguarda i primi, l'indagine di primo livello prevedeva la misura dei parametri di comfort termico di tipo "globale" e del parametro di discomfort di "disagio locale" maggiormente rappresentativo, cioè quello relativo alle turbolenze derivanti dalle "correnti d'aria" presenti (DR%). La centralina microclimatica è stata posizionata secondo una o più delle seguenti modalità: 1) al centro del locale se l'ambiente era di dimensioni piccole ed omogeneo dal punto di vista microclimatico; 2) in modo equidistante tra le postazioni occupate dai lavoratori; 3) presso l'unica postazione di lavoro esistente; 4) presso una postazione di lavoro sufficientemente rappresentativa di tutte le altre; 5) presso la postazione di lavoro vicina a potenziali correnti d'aria (per es. in vicinanza delle bocchette di condizionamento dell'aria). Sono state programmate, inoltre, le misurazioni di tutti gli altri fattori di discomfort termico di tipo "localizzato" solo se necessario (misurazioni di 2° livello) su postazioni di lavoro specifiche. Le misurazioni sono state eseguite durante lo svolgimento della normale attività lavorativa. Per l'esecuzione dei rilievi è stata seguita la strategia di misurazione suggerita dalle Linee Guida ISPESL (50). Ogni rilievo ha avuto una durata di circa 15 minuti ed è stato distanziato da quello successivo da un intervallo temporale di circa 15-20 minuti, per consentire alle sonde (soprattutto quella globotermometrica) di portarsi in equilibrio con le condizioni microclimatiche dell'ambiente esaminato in precedenza. Tale intervallo temporale poteva ridursi a 6-8 minuti, quando il campo di radiazione di due ambienti esaminati in ordine cronologico successivo era molto simile. Gli intervalli di acquisizione delle grandezze rilevate erano pari a 20 secondi. Le misurazioni sono state effettuate prevalentemente in orario antimeridiano, nella fascia oraria compresa tra le 10 e le 13. Per ogni misurazione è stato effettuato un rilievo fotografico ed è stata raccolta una descrizione particolareggiata dell'ambiente esaminato mediante una check list costruita *ad hoc* (49, 53). Sono state scelte per effettuare le misurazioni giornate casuali ma tuttavia sufficientemente rappresentative delle peggiori condizioni possibili dal punto di vista termico, in quanto i rilievi sono stati effettuati per la stagione invernale nei mesi di gennaio e febbraio e, per la stagione estiva, nei mesi di luglio ed agosto. Per ogni giornata di misurazioni sono stati rilevati, comunque, anche i dati relativi alle condizioni climatiche esterne, acquisiti in punti esterni prossimi all'edificio (ad almeno un metro di distanza dall'edificio), in condizioni protette dalla radiazione solare diretta e lontano dal traffico veicolare. Le misurazioni sono state, infine, in una fase successiva, elaborate mediante un software idoneo per il calcolo degli indici microclimatici derivati. Il software di elaborazione dati utilizzato è stato l'"IngoGap base" vers. 2.2.3 della LSI Lastem.

Strumentazione utilizzata

Per l'esecuzione delle misure è stata utilizzata una stazione di rilevamento BABUC della LSI Lastem. La linea strumentale BABUC si compone di un multiacquisitore di grandezze ambientali a 11 ingressi, con memoria 20.000 campioni denominato BABUC/A modello BSA010. Il sistema può essere programmato in cicli di misura ed è in grado di riconoscere automaticamente il sensore connesso ad uno qualunque degli ingressi. Per l'acquisizione dei parametri necessari alla corretta valutazione delle caratteristiche microclimatiche presenti nelle aree di lavoro esaminate sono state utilizzate le seguenti sonde:

1. Sonda globotermometrica in rame nero opaco BST131, di 15 cm di diametro, per la misura della temperatura media radiante (accuratezza $\pm 0,17$ °C).
2. Sonda psicrometrica a ventilazione forzata (accuratezza sulla temperatura $\pm 0,13$ °C, sull'umidità relativa $\pm 2\%$);
3. Sonda anemometrica a filo caldo per turbolenze BSV105 per la misura della velocità media dell'aria e di intensità di turbolenza (accuratezza ± 5 cm per V_a comprese tra 0 e 0,5 m/s, ± 10 cm per V_a comprese tra 0,5 ed 1,5 m/s e 4% per V_a maggiori di 1,5 m/s).
4. Sonda a dispersione infrarossa BSO103 per la misura della concentrazione di anidride carbonica (0-3000 ppm).

Metodologia di studio

Gli indici di comfort termico

Per "microclima moderato" si intende un luogo di lavoro nel quale non esistono specifiche esigenze produttive che, vincolando uno o più dei principali parametri microclimatici impediscano il raggiungimento del "comfort termoigrometrico". Il comfort termico è stato definito dalla ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers INC) (54) come una "condizione di benessere psicofisico dell'individuo rispetto all'ambiente in cui vive e opera" e corrisponde, pertanto, alla piena soddisfazione psicofisica del soggetto nei confronti dell'ambiente (non desidera sentire né più caldo né più freddo). Le condizioni di comfort dipendono dall'interazione di fattori esterni ed interni al lavoratore. I primi sono rappresentati da quattro parametri ambientali: la temperatura dell'aria (T_a), la temperatura media radiante (T_r), l'umidità relativa (rH) e la velocità dell'aria (V_a). I fattori individuali, invece, sono rappresentati dalla resistenza termica del vestiario indossato dal lavoratore (isolamento termico CLO) e dal calore metabolico (dispendio metabolico MET) prodotto durante l'attività lavorativa. Nessuno dei parametri ambientali di per sé considerato è un indicatore idoneo dell'ambiente termico, ma le suddette componenti, interagendo tra di loro e con le componenti individuali, determinano le sensazioni di comfort o di discomfort termico percepite dal soggetto. Nel nostro studio, la valutazione del comfort termoigrometrico è stata effettuata in accordo con la norma internazionale UNI EN ISO 7730:2006 (36), che fornisce i metodi per prevedere la sensazione termica globale ed il grado di disagio (insoddisfazione termica) delle persone esposte ad ambienti termici moderati, attraverso

gli indici di Fanger (PMV/PPD). Più precisamente, la norma permette la determinazione analitica e l'interpretazione del benessere termico "globale" mediante il calcolo del PMV (voto medio previsto) e del PPD (percentuale prevista di insoddisfatti) e del benessere termico "locale" da correnti d'aria mediante il calcolo del DR % (percentuale prevista di insoddisfatti per il discomfort "locale" determinato dalle turbolenze da correnti d'aria). È applicabile ad uomini e a donne in salute, esposti ad ambienti chiusi nei quali si cerca di raggiungere il benessere termico o nei quali ci siano piccole deviazioni rispetto alle condizioni di benessere, sia in fase di progettazione di ambienti nuovi che di valutazione di quelli esistenti. Sinteticamente, il PMV deriva dall'equazione del bilancio termico il cui risultato viene rapportato ad una scala di benessere psicofisico ed esprime il parere medio (voto medio previsto) delle sensazioni termiche di un campione di soggetti allocati nel medesimo ambiente. Esso viene generalmente espresso in una scala di sensazione termica a 7 punti (da -3 = molto freddo a +3 = molto caldo). In questo modo si ha direttamente la percezione della qualità dell'ambiente termico. Dal PMV deriva un secondo indice denominato PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied- Percentuale prevista di insoddisfatti) che quantifica percentualmente i soggetti comunque "insoddisfatti" in rapporto a determinate condizioni microclimatiche. Secondo le norme ISO l'indice PMV dovrebbe essere usato solo per valori di PMV compresi tra -2 e +2 e quando i sei parametri principali sono compresi in intervalli predefiniti. Nella recente revisione del 2011 della UNI EN ISO 7730, il valore limite di "accettabilità termica" è stato spostato da un PMV compreso tra + 0,5 e - 0,5 (con una percentuale di insoddisfatti delle condizioni termiche (PPD) pari a $\leq 10\%$ dei presenti) ad un valore di PMV pari a $\pm 0,7$ comprensivo di una percentuale più ampia di insoddisfatti pari al 15%. Secondo la norma ASHRAE Standard 55-2013, invece, il valore limite di accettabilità termica prevede un PMV pari a $\pm 0,5$ corrispondente ad un PPD pari al 20% degli occupanti l'edificio, comprensivo di un 10% di persone comunque insoddisfatte per i fattori di discomfort di tipo localizzato e di un 10% di persone insoddisfatte delle condizioni termiche di tipo "globale". Nella nostra indagine, abbiamo scelto come riferimento, il valore limite di accettabilità termica previsto dalla norma UNI EN ISO 7730 ed abbiamo scelto esclusivamente gli ambienti di lavoro ad uso ufficio dove veniva svolta attività di tipo impiegatizio. Pertanto l'indice metabolico inserito per il calcolo del PMV/PPD è stato pari a 1,2 met (attività di tipo "sedentario"), mentre l'indice clo è stato calcolato *ad hoc* sulla base dei componenti del tessuto dell'uniforme utilizzata dai poliziotti, secondo le indicazioni previste dalla norma tecnica UNI EN ISO 9920:2009 ed è risultato essere pari a circa 1,2 clo per l'uniforme invernale e a 0,5 clo per l'uniforme estiva.

Gli indicatori per la qualità dell'aria "indoor"

Per aria "indoor" si intende quella presente negli ambienti confinati non industriali (per es. uffici, scuole, caserme, ospedali...). Essa è caratterizzata dalla presenza di possibili inquinanti di origine indoor (per es. materiali

di costruzione, arredamento, inquinanti prodotti dalla presenza dell'uomo...) e/o di inquinanti di origine outdoor solitamente assenti nell'aria esterna di ambienti ecologici di elevata qualità (50). Le patologie causate da una scarsa qualità dell'aria indoor sono riconducibili a tre categorie principali: 1) quelle che hanno un quadro clinico definito e che riconoscono un preciso agente eziologico ("Building Related Illness" (BRI) o "Malattie correlate all'edificio"); quelle con un quadro clinico più sfumato e che non riconoscono un unico agente causale ("Sick Building Syndrome" o "Sindrome dell'Edificio Malato"); quelle causate da reazioni negative dovute ad agenti chimici presenti a concentrazioni basse, ovvero generalmente tollerate dalla maggior parte degli individui presenti ("Multiple Chemical Sensitivity" (MCS) o "Sindrome della sensibilità chimica multipla") (50). Poiché non è possibile misurare direttamente le numerose sostanze bioeffluenti presenti in un ambiente confinato, per la valutazione della qualità dell'aria indoor (IAQ) viene comunemente utilizzata la misura della concentrazione dei livelli di anidride carbonica (CO₂) presente, espressa in parti per milioni. Il suo valore è strettamente correlato ai ricambi d'aria effettuati e, quindi, rappresenta un buon indicatore indiretto della qualità dell'aria. Il valore di CO₂ risulta anche essere correlato in modo ottimale all'insoddisfazione espressa dagli occupanti di un ambiente e perciò ad esso viene unanimemente riconosciuta una buona capacità descrittiva dell'inquinamento indoor di tipo antropico. Per la valutazione della qualità dell'aria indoor non esistono dei limiti di CO₂ unanimemente riconosciuti. Esistono tuttavia dei valori normativi o di riferimento, che, però, sono differenti tra i vari Paesi. Il valore guida più basso è quello del Belgio (500 ppm) seguito da quello dell'Inghilterra UK (600 ppm) e da quello di Hong Kong (800-1000 ppm). Il valore limite di CO₂ pari a 1000 ppm resta, comunque, il più conosciuto ed il più utilizzato (Germania, Francia, Portogallo, Norvegia, Brasile, Giappone, Corea del Sud, Singapore) grazie ai numerosi studi esistenti in letteratura che, fin dai tempi di Pettenkofer nel 1858, indicavano proprio intorno a tale valore la comparsa dei primi effetti negativi per la salute. Tali effetti si possono manifestare, per esempio, a livello cognitivo con un calo della performance lavorativa e a livello olfattivo con la percezione di cattivi odori tra gli occupanti l'edificio indoor (55, 56). Anche secondo l'americana Environmental Protection Agency (EPA) e secondo l'Ente governativo statunitense OSHA il valore limite ottimale per la CO₂ è pari a 1000 ppm. Secondo lo Standard americano ASHRAE 62:2001, invece, il valore limite deve essere stabilito su una differenza di concentrazione di CO₂ fra ambiente indoor ed outdoor pari a 700 ppm e, pertanto, risulta essere compreso tra 1050 e 1150 ppm. In Finlandia e in Olanda, il valore limite sale a 1200 ppm, mentre in Canada risulta essere addirittura pari a 3500 ppm. Ciò anche in considerazione del fatto che i primi effetti di natura tossica esercitati direttamente dal CO₂ sarebbero osservabili solo intorno ai 7000 ppm. Per questo motivo, il limite posto dall'Associazione Governativa Americana degli Igienisti Industriali (ACGIH) e

dagli enti statunitensi NIOSH ed OSHA, per prevenire la comparsa degli effetti tossici diretti della CO₂, risulta essere pari a 5000 ppm nell'arco della giornata lavorativa (TLV-TWA) e a 30.000 ppm per brevi periodi di tempo (TLV-STEL) (57). In Italia non esistono dei valori limite di riferimento per la concentrazione di CO₂ negli ambienti di lavoro indoor stabiliti per legge o da linee guida specifiche. In ogni caso, alcune norme tecniche europee (UNI EN 13779 per gli edifici non residenziali ed UNI EN 15251 per gli ambienti residenziali e residenziali) sono state recepite anche in Italia dall'Ente Italiano di Normazione (UNI). Esse esprimono diversi descrittori per la qualità dell'aria indoor. Uno di questi, per esempio, è dato dalla concentrazione differenziale di CO₂ tra aria indoor ed outdoor. Secondo la norma UNI EN 15251 attraverso tale valore differenziale si possono identificare 4 categorie di aria indoor di qualità differente (58). Le prime 3 categorie possono essere considerate "accettabili". La prima categoria (livello "alto") è richiesta per ambienti che ospitano soggetti particolarmente sensibili o con requisiti particolari. La seconda categoria (livello "normale") è richiesta in edifici di nuova realizzazione. La terza categoria (livello "moderato") è sufficiente per gli edifici esistenti, mentre la categoria IV è "accettabile" per gli edifici dove i lavoratori trascorrono soltanto brevi periodi dell'anno. Le prime 3 categorie in definitiva sono considerate accettabili e corrispondono alle prime tre categorie (qualità dell'aria "alta", "media" e "moderata") della UNI EN 13779 (59). Come valore di default, la UNI EN 15251 indica per la categoria III un livello di CO₂ pari a 800 ppm; pertanto, considerando una concentrazione di CO₂ outdoor compresa tra 350 e 450 ppm (400 ppm per una città inquinata, secondo la norma UNI 13779), il valore limite della CO₂ indoor risulta essere pari a circa 1200 ppm (49). In considerazione di ciò, nel nostro studio abbiamo classificato i livelli di CO₂ in tre fasce di valori: 1) CO₂<1000 ppm; 2) 1000<CO₂<1200 ppm; 3) CO₂>1200 ppm. I valori di CO₂, naturalmente, si riferivano al valore medio misurato per un periodo di circa 10-20 minuti negli uffici occupati dai lavoratori, nel corso della normale attività lavorativa (generalmente durante la tarda mattinata). Un altro indicatore generalmente utilizzato sia per la valutazione del comfort termico sia per la valutazione della qualità dell'aria è l'umidità relativa. L'umidità relativa è espressa come un valore percentuale (RH%) e rappresenta il rapporto tra la pressione parziale del vapore acqueo e quella di saturazione. Una bassa umidità relativa può favorire fenomeni irritativi e/o allergici, mentre un'elevata umidità relativa (UR>75%) può, invece, favorire la proliferazione di agenti biologici come per esempio muffe e funghi, oltre che la deposizione e l'aggregazione di aerosol anche di significato biologico ("bioaerosol") (53). Le norme tecniche suggeriscono per la stagione invernale dei valori ottimali di umidità relativa compresi nel range del 40-50%, mentre per la stagione estiva i valori ottimali dovrebbero essere compresi in un range del 50-60%. Range più ampi (30-70% sia in inverno sia in estate) sono, tuttavia, indicati sia dalla norma ASHRAE 55:2004 sia dalla UNI EN ISO 7730:2006 (49).

Metodi di analisi statistica

Dopo le misurazioni e l'elaborazione dei dati, abbiamo calcolato, sia in termini assoluti sia in valori percentuali, la frequenza relativa delle principali variabili di interesse del nostro studio, differenziandole in base alla stagione di riferimento (inverno ed estate). Le variabili esaminate sono state le seguenti: 1) comfort termico classificato in tre categorie ("A", "B", o "C"); 2) grado di discomfort termico classificato in tre fasce o categorie ("0,7<PMV<1", "1<PMV<2", "PMV>2"); 3) umidità relativa classificata in due categorie, ovvero normale (RH = 30-70%) o al di fuori del range di normalità (RH<30% o RH>70%); 5) livello medio di CO₂ classificato in tre categorie, ovvero "normale" (<1000 ppm) o "superiore" ai valori limite classificati in due differenti sottocategorie: quella con un CO₂ pari a 1000-1200 ppm e quella con un CO₂>1200 ppm. Per confrontare le differenze esistenti relative alle variabili considerate, tra la stagione invernale e quella estiva, è stato utilizzato il test chi-quadrato. Un valore di p inferiore a 0.01 è stato considerato statisticamente significativo. Per confrontare le medie dei livelli di CO₂ superiori al valore soglia più alto (pari a 1200 ppm), tra la stagione estiva e quella invernale, dopo aver verificato la distribuzione normale dei valori con il test di Kolmogorov-Smirnov e di Shapiro è stato utilizzato il t di Student per dati non appaiati (con un valore di p <.01 considerato come statisticamente significativo). I dati sono stati elaborati utilizzando il software statistico GNU PSPP software versione 0.6.2.

Risultati

Il CSP di Milano ha effettuato 628 misurazioni finalizzate alla valutazione del microclima di tipo "moderato" e della qualità dell'aria "indoor" in 77 edifici, in un arco temporale di quasi 5 anni (2012-2016). Sono stati esclusi ai fini del presente studio i rilievi effettuati negli ambienti di lavoro che, anche se di tipo "moderato" prevedevano un'attività lavorativa con un indice metabolico >1,2 met (attività di tipo "leggero" o "medio" svolte in piedi) e/o l'uso di un vestiario differente dall'uniforme "ordinaria" estiva ed invernale. Sono stati esclusi, inoltre, i rilievi effettuati in altri periodi dell'anno (primavera, autunno) e tutti i rilievi effettuati negli archivi-deposito, magazzini, officine, hangar e laboratori tecnici privi di postazioni munite di videoterminale (VDT), nonché quelli effettuati nelle sale server, alloggi di servizio, spogliatoi, servizi igienici e sale d'attesa per il pubblico. Pertanto, delle 628 misurazioni effettuate, ne sono state selezionate 488 (N = 260 invernali in N = 36 edifici ed N = 228 estivi in N = 36 edifici). Le misurazioni scelte sono state, quindi, quelle effettuate in uffici, archivi, laboratori e corpi di guardia dotati di postazioni munite di VDT, dove veniva effettuata l'attività lavorativa di "addetto al videoterminale". Per quanto riguarda il benessere termico, i risultati sono stati espressi in termini di PMV/PPD, secondo quanto previsto dalla norma tecnica UNI EN ISO 7730:2006 (versione del 2011). Tale metodo prevede la classificazione del comfort termico globale e/o locale in tre categorie ("A", "B" e "C").

Abbiamo, inoltre, identificato le seguenti categorie di discomfort termico: lieve discomfort termico ($\pm 0,7 < PMV < \pm 1$), “leggermente freddo/caldo” ($\pm 1 < PMV < \pm 2$), “freddo/caldo” ($\pm 2 < PMV < \pm 3$). Nel nostro studio non sono stati rilevati casi di discomfort termico di tipo “localizzato”, relativamente alle correnti d’aria fastidiose (DR%), né vi è stata la necessità di effettuare indagini di 2° livello per gli altri fattori di discomfort termico di tipo “locale” (pavimento troppo caldo/freddo, asimmetria radiante, differenza termica caviglie-testa). In inverno, nel 95% dei rilievi è stato evidenziato uno stato di comfort termico “globale”, mentre in estate, la percentuale di comfort termico “globale” è scesa al 68% con un 32% di discomfort “da caldo” di grado diverso (soprattutto forme “lievi” $\pm 0,7 < PMV < \pm 1$ o di “leggermente caldo/freddo” con un $\pm 1 < PMV < \pm 2$). Per quanto riguarda la qualità dell’aria, nella stagione invernale, il livello di CO₂ misurato ha superato la soglia dei 1000 ppm nel 39% dei casi, mentre nella stagione estiva ciò si è verificato solo nel 9% dei casi. Nella stagione invernale il valore di CO₂, anche se superiore ai 1000 ppm, è risultato essere inferiore alla soglia di 1200 ppm nel 22% dei casi e superiore alla soglia dei 1200 ppm nel 17% dei casi. L’umidità relativa non è risultata essere mai troppo alta (>70%) né nella stagione invernale né in quella estiva. Tuttavia, l’umidità relativa (RH%) è risultata essere troppo bassa (<30%) nel 48,8%

dei rilievi invernali e nel 3,5% di quelli estivi. In Tabella I abbiamo riportato tali risultati confrontando le variabili appena descritte in base alla stagione, per verificare se per tutte o se per alcune di esse vi fosse una differenza statisticamente significativa tra la stagione invernale e quella estiva. Il test del chi-quadrato ha indicato in tal senso una differenza statisticamente significativa ($p < .0001$) tra le due stagioni (estate-inverno) per tutti gli outcomes esaminati. Infatti, il comfort termico è prevalso in inverno ($X^2 = 61.0795$), mentre la qualità dell’aria, considerando sia il valore limite di CO₂ di 1000 ppm sia quello di 1200 ppm, è risultata essere migliore in estate (rispettivamente $X^2 = 56.9004$ e $X^2 = 8.8845$). Anche considerando come valore indicativo della qualità dell’aria il limite rappresentato dalla fascia di valori di CO₂ compresi tra 1000 e 1000 ppm ($X^2 = 37.4043$) e l’umidità relativa troppo bassa (RH<30%) ($X^2 = 124.7764$), è risultata esservi una differenza statisticamente significativa con valori migliori durante la stagione estiva. Non sono stati rilevati livelli di RH% eccessivamente elevati (>70%). Come evidenziato in Tabella II, infine, il t test di Student a due code per dati non appaiati ha evidenziato una differenza statisticamente significativa tra la media invernale (M = 1542 ppm, DS = 276) e quella estiva (M = 1385 ppm, DS = 688) riguardante i valori di CO₂ misurati superiori al valore soglia di 1200 ppm ($t(42) = -3.87284$, $p = .000151$).

Tabella I. Comfort termico e qualità dell’aria: differenze tra la stagione invernale e quella estiva negli ambienti di lavoro esaminati

Indicatore	Inverno (N= 260)	Estate (N= 228)	X ²	p
Comfort termico (categorie A,B,C)	Cat A: 92 (35,4%) Cat B: 115 (44,2%) Cat C: 40 (15,4%) Totale: 247 (95%)	Cat A: 66 (28,9%) Cat B: 49 (21,5%) Cat C: 40 (17,6%) Totale: 155 (67,9%)	X² = 61.0795	p < .0001
Discomfort termico	0,7 < PMV < 1: 13 (5%) di cui 9 da “caldo” 1 < PMV < 2: 0 PMV ≥ 2: 0 Totale: 13 (5%)	0,7 < PMV < 1: 26 (11,5%) di cui 26 da “caldo” 1 < PMV < 2: 35 (15,3%) di cui 35 da “caldo” PMV ≥ 2: 12 (5,2%) di cui 12 da “caldo” Totale: 73 (32,1%)		
CO₂ < 1000 ppm	159 (61,1%)	207 (90,8%)	X² = 56.9004	p < .0001
CO₂ > 1000 ppm	101 (61,1%)	21 (9,2%)		
CO₂ < 1000 ppm	159 (61,1%)	207 (90,8%)	X² = 37.4043	p < .0001
1000 < CO₂ < 1200 ppm	57 (21,9%)	11 (4,8%)		
CO₂ < 1200 ppm	216 (83%)	218 (95,6%)	X² = 8.8845	p < .0001
CO₂ > 1200 ppm	44 (17%)	10 (4,4%)		
RH= 30-70%	133 (51,2%)	220 (96,5%)	X² = 124.7764	p < .0001
RH < 30% o > 70%	127 (48,8%)	8 (3,5%)		

Tabella II. Differenza nella media tra estate ed inverno dei rilievi con una concentrazione di CO₂ > 1200 ppm

Numero di rilievi per stagione	Media (M)	Deviazione Standard (Ds)	t	Df	p (p < .01)
Estate (n=10)	1385 ppm	688	-3.87284	9	.0003002
Inverno (n=44)	1542 ppm	276	-3.87284	43	

Discussione e conclusioni

Per quanto riguarda il benessere termico, le misurazioni effettuate presso le postazioni di lavoro esaminate, nel complesso non hanno evidenziato situazioni di discomfort di tipo “localizzato” in entrambe le stagioni, né situazioni rilevanti di discomfort globale da “freddo” durante la stagione invernale. Durante la stagione estiva, invece, nel 32% dei casi sono state evidenziate situazioni di discomfort termico da “caldo”, soprattutto di grado lieve. Ciò può essere dovuto alla parziale climatizzazione e/o al parziale utilizzo dei sistemi di condizionamento esistenti nella stagione estiva. Ricordiamo, tuttavia, a tal proposito che in alcune aree climatiche come, per esempio, quella mediterranea, secondo lo Standard ASHRAE 55 e la UNI EN ISO 7730:2006, il comfort termico negli edifici “condizionati in modo naturale” dovrebbe essere valutato applicando il modello di tipo “adattivo” e non il metodo “PMV/PPD” di Fanger (36, 54, 60). Il modello adattivo si basa sul principio dell’“adattamento” grazie al quale gli individui possono agire in modo attivo sul proprio ambiente termico modificandolo attraverso modalità di tipo “adattivo”. Secondo tale modello, quindi, il comfort termico dipenderebbe in parte dalle condizioni climatiche esterne (per es. grado di ventilazione, tipo di esposizione solare e media delle temperature dell’aria esterne) ed in parte dalla possibilità che gli individui hanno di intervenire direttamente sul loro ambiente (per es. aprendo le finestre) o sul loro comportamento (per es. modificando il proprio modo di vestirsi, la posture del corpo e/o il livello di attività fisica). L’adattamento si basa, quindi, su variabili soggettive dell’individuo di tipo comportamentale, fisiologico, psicologico e su variabili etniche, nazionali e geografiche. Tutti questi fattori, difficili da quantificare, determinano l’accettazione di valori di temperatura “indoor” più elevati di quelli previsti secondo i classici modelli previsionali basati sugli indici di Fanger (metodo “PMV/PPD”). Secondo il modello “adattivo”, pertanto, possono essere applicate condizioni più ampie di accettabilità termica negli ambienti caldi, in spazi controllati dagli occupanti, naturalmente condizionati, in regioni climatiche calde o durante i periodi caldi, come quelli da noi esaminati, dove, in mancanza di sistemi di condizionamento artificiale, le condizioni termiche nello spazio sono regolate essenzialmente dagli occupanti mediante l’apertura o la chiusura delle finestre (54, 58, 61, 62). Pertanto, se avessimo applicato il modello adattivo nel nostro studio, la reale percentuale di insoddisfatti durante la stagione estiva sarebbe stata presumibilmente inferiore rispetto a quella calcolata utilizzando il metodo “PMV/PPD”. Nel caso di edifici condizionati in modo “artificiale”, secondo la normativa tecnica, invece, il metodo di Fanger è quello di scelta, mentre per gli ambienti “misti”, cioè parzialmente (dal punto di vista temporale e/o spaziale) condizionati con impianti di climatizzazione artificiali, non esiste ancora unanime consenso su quale dei due metodi debba essere utilizzato (49). In tal senso, curiosamente, è da rilevare che negli edifici esaminati, condizionati in modo artificiale, sono state rilevate con il

modello di “PMV/PPD” di Fanger, situazioni di discomfort da “caldo” in inverno e di discomfort da “freddo” in estate. Ciò dovrebbe suggerire l’importanza di una corretta gestione della termoregolazione da parte dei conduttori dell’impianto termico. Ricordiamo, infatti, a tal proposito, che la recente normativa nazionale (DPR n. 74/2013) in attuazione delle recenti direttive europee finalizzate al risparmio energetico (53, 60), ha fissato un range di valori massimi ammissibili di T_a in tutti gli ambienti di lavoro; pertanto, negli uffici la T_a deve essere pari a 26 C° (con -2 C° di tolleranza massima) nella stagione estiva e pari a 20 C° (con $+2\text{ C}^\circ$ di tolleranza massima) nella stagione invernale. Per quanto riguarda la qualità dell’aria, nel nostro studio, è stata evidenziata, durante la stagione invernale, una prevalenza di bassa umidità relativa ($RH < 30\%$) nel 48,8% dei rilievi. Inoltre, il livello di CO_2 medio è risultato essere superiore ai valori limite di 1000 ppm e di 1200 ppm rispettivamente nel 21,9% e nel 17% dei rilievi microclimatici invernali. Probabilmente ciò è dovuto al fatto che la maggior parte degli ambienti di lavoro esaminati durante la stagione invernale era privo di un sistema funzionante per il ricircolo artificiale e per l’umidificazione dell’aria; infatti, in tali uffici il ricambio dell’aria avveniva in modo “naturale” attraverso l’apertura delle finestre. Tuttavia, nelle giornate invernali più fredde, gli elevati valori di temperatura dell’aria indoor e la scarsa attenzione da parte degli occupanti per i ricambi d’aria di tipo “naturale” (mediante l’apertura delle finestre), potrebbero essere stati responsabili di valori di umidità relativa particolarmente bassi. La bassa umidità relativa può favorire la secchezza della cute e delle mucose congiuntivali ed oronasali ed è uno dei possibili fattori implicati nell’insorgenza della Sick Building Syndrome (SBS) (34). Le principali norme tecniche di settore, a tal proposito, raccomandano per entrambe le stagioni un range massimo di valori compreso tra il 30% ed il 70% (con lievi differenze in base alle norme tecniche ed alla stagione di riferimento). Nel nostro studio, comunque, il CO_2 medio misurato non ha mai superato il valore soglia di 3000 ppm e pertanto non ha mai raggiunto livelli così alti ($CO_2 > 5/7.000$ ppm) da poter esercitare un’azione nociva o tossica sull’organismo umano, nemmeno per brevissimi periodi (57). In ogni caso, dal momento che valori superiori a 1000-1200 ppm, pur non costituendo un rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori, possono inficiare negativamente sulla sensazione di comfort e di benessere da parte del lavoratore e possono anche essere implicati nell’insorgenza della SBS, in tali ambienti, si dovrebbe intervenire attuando semplici misure di prevenzione quali, per esempio, l’uso di umidificatori quando necessario, l’informazione e la formazione di tutti i lavoratori e l’adozione di procedure specifiche atte a favorire un ricambio d’aria, anche su base oraria, attraverso l’apertura volontaria di porte e serramenti. Per quanto riguarda il ricambio d’aria, le norme tecniche fissano le condizioni, differenti in base al tipo di aerazione (naturale o artificiale). Infatti, secondo il metodo indicato dallo Standard ASHRAE 62:2001, è possibile calcolare il valore richiesto della portata d’aria specifica per persona (Q_p) assumendo come limite un valore differenziale tra aria outdoor ed indoor pari a 700 ppm di CO_2 . Attraverso

l'indice di affollamento previsto (n_s) e l'altezza del locale (h), infatti, è possibile risalire alla portata d'aria specifica per m^2 di superficie del locale (Q_s) ed al numero di ricambi orari (n) necessari per ogni singola tipologia di ambiente (50). Inoltre, una corretta impostazione della temperatura indoor e le corrette procedure finalizzate a realizzare un buon ricambio dell'aria, potrebbero anche portare ad un miglioramento dei livelli di umidità relativa dell'aria indoor.

Il nostro studio, però, ha dei limiti; infatti, esso è stato condotto soltanto in alcune Regioni del Nord Italia (Lombardia, Emilia Romagna, Liguria, Veneto, Trentino Alto Adige) e con valutazioni del rischio preliminari (che hanno preceduto le misurazioni) difforni, in quanto effettuate attraverso modalità valutative che prevedevano protocolli valutativi differenti, basati soprattutto su valutazioni di tipo soggettivo, effettuate in sede di sopralluogo da differenti responsabili del servizio di prevenzione e protezione, medici competenti e rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza. Pertanto, non è possibile generalizzare a tutti gli uffici della Polizia di Stato e delle altre forze dell'ordine i risultati ottenuti. Le misurazioni effettuate possono, per tale motivo, fornire degli elementi conoscitivi specifici degli uffici esaminati. Le misurazioni effettuate, infatti, potrebbero anche essere state influenzate da situazioni ambientali "indoor" contingenti e transitorie e da condizioni atmosferiche e valori di temperatura ambientale esterna alquanto variabili da un anno all'altro e tra le diverse sessioni di misurazione stagionale che possono avere influito sui risultati, sia per quanto riguarda il comfort termico sia per quanto riguarda la qualità dell'aria, in modo determinante e in una percentuale di casi difficile da definire. I risultati ottenuti, potrebbero anche avere sottostimato le reali criticità microclimatiche presenti, in quanto per le modalità con cui è stato costruito lo studio (utilizzo di un campione di misurazioni di "convenienza"), potrebbero non essere state inclusi tutti gli ambienti di lavoro "indoor" ad uso ufficio delle Regioni del Nord Italia considerate, con reali criticità microclimatiche. Sarebbe stato, inoltre, interessante e potrebbe costituire oggetto di un ulteriore studio, esaminare la relazione, attraverso l'uso di questionari specifici, dei risultati ottenuti con le informazioni di tipo soggettivo riferite dagli occupanti l'edificio riguardanti la percezione della IAQ e del comfort termico così come le eventuali correlazioni con lo stato di salute degli occupanti l'edificio. Inoltre, un altro limite del nostro studio è rappresentato dal fatto che, anche se nella maggior parte dei casi, gli edifici esaminati non erano di tipo "sigillato" e pertanto il ricambio dell'aria avveniva attraverso l'apertura manuale delle finestre presenti, i risultati ottenuti non sono stati esaminati in base al sistema di condizionamento dell'aria (naturale e/o artificiale) presente. Questo aspetto può essere importante, perché, come già detto, esso può avere implicazioni sia sulla scelta del modello di valutazione del rischio di comfort termico, sia per una più precisa valutazione dei livelli di CO₂ presenti. Infatti, per quanto riguarda la qualità dell'aria, le norme tecniche Europee di riferimento (UNI EN 15251 e UNI EN 13779) in assenza di norme di legge specifiche, fanno dipendere i valori limite di CO₂

indoor dal grado di accettabilità dell'ambiente e quindi dalla classe di qualità che deve essere prioritariamente attribuita all'ambiente in esame. L'utilizzo di precisi valori limite di concentrazione di CO₂ indoor da adottare per tutti gli ambienti di lavoro, tuttavia, ha il vantaggio di rendere più semplici e veloci le verifiche, dal momento che il livello di concentrazione di CO₂ indoor è facilmente misurabile (63). In Italia, però, a differenza di altri Paesi, non esistono valori limite stabiliti per legge, per quanto riguarda il livello di CO₂ negli ambienti "indoor", atti a garantire il raggiungimento di una buona qualità dell'aria indoor.

I punti di forza della nostra ricerca, invece, sono rappresentati dal fatto che si tratta del primo studio effettuato in Italia negli uffici delle forze dell'ordine per la valutazione della qualità dell'aria e del comfort termico e, più, in generale, è uno dei pochi studi esistenti su questo tema anche a livello internazionale. Infatti, per quel che è a conoscenza degli autori del presente studio, non risultano dalla letteratura scientifica altre "indagini sul campo" effettuate negli uffici delle forze dell'ordine, né italiane né internazionali, che esaminano il problema del comfort termico e della qualità dell'aria indoor. La nostra indagine, inoltre, ha un importante valore esplorativo e può rappresentare un modello di studio per ulteriori indagini e per applicare nuovi modelli di valutazione del rischio da estendere a tutte le caserme ed agli altri ambienti di lavoro "indoor" in cui si svolgono le attività di ufficio degli operatori della Polizia di Stato. Il nostro studio, inoltre, si è basato sulle misurazioni realizzate nell'ambito di una vasta campagna di indagini microclimatiche di tipo "moderato" (628 misurazioni in 77 edifici) in ambienti di lavoro sottoposti ad una fase preliminare di valutazione del rischio ed in un ampio periodo di tempo, ovvero nell'arco di quasi un quinquennio (2012-2016). Un importante implicazione della nostra ricerca, infine, è correlata al potenziale risparmio di risorse economiche derivante per l'Amministrazione della Pubblica Sicurezza, che può essere ottenuta mediante l'ottimizzazione e l'utilizzo razionale delle risorse umane e strumentali a disposizione della Direzione Centrale di Sanità. I rilievi strumentali, infatti, dovrebbero essere mirati soltanto alle reali e/o potenziali criticità microclimatiche evidenziate dopo la fase di valutazione preliminare che dovrebbe comprendere il sopralluogo ed un'analisi di tipo soggettivo condotta da parte degli occupanti l'edificio con le figure della sicurezza aziendale. I rilievi strumentali dovrebbero essere effettuati, pertanto, solo quando necessari e nell'ambito di una più ampia strategia di valutazione del rischio. Come infatti evidenziato dalle norme tecniche, dalle linee guida di settore e dalla letteratura di riferimento (37, 51-54, 64-69) l'indagine tecnica ambientale, dovrebbe essere adottata solo come strumento specialistico di approfondimento e non come indagine di routine (49). Il rilievo strumentale, pertanto, non dovrebbe essere identificato né confuso con la valutazione del rischio *tout court* (53). Si dovrebbe ricorrere all'indagine tecnica ambientale solo quando, nell'ambito di un più articolato processo valutativo, risulti utile analizzare e/o approfondire particolari e specifiche criticità emerse nel corso della fase di valutazione preliminare (cosiddetta fase

di "osservazione"), durante la quale sarebbe, invece, più utile utilizzare strumenti di screening poco costosi quali, per esempio, questionari soggettivi e/o check list osservazionali. In conclusione, la campagna di rilievi effettuati dal CSP di Milano ha evidenziato in alcuni ambienti di lavoro "indoor" della Polizia di Stato delle possibili criticità termiche "da caldo" in estate e delle possibili criticità riguardanti la qualità dell'aria in inverno, quest'ultima in considerazione dei risultati indicanti una bassa umidità relativa ed insufficienti ricambi d'aria in alcuni degli ambienti di lavoro esaminati. Tuttavia, nella fase di valutazione preliminare, l'attuazione di semplici misure di prevenzione e protezione quali, per esempio, l'installazione di climatizzatori split (ove possibile), la corretta regolazione della temperatura in ufficio, un'attenta programmazione della manutenzione dell'impianto termico e di climatizzazione, la fornitura, ove necessario, di umidificatori e l'attuazione di procedure atte a favorire il ricambio d'aria (soprattutto negli uffici affollati ed aperti al pubblico) potrebbero essere misure utili, poco costose e già da sole sufficienti per "fermare" il processo di valutazione del rischio allo step valutativo iniziale. Solo nel caso in cui gli interventi necessari si rivelassero inefficaci, molto costosi o difficilmente realizzabili, oppure nel caso in cui persistessero delle criticità riferite dagli occupanti l'edificio nonostante l'attuazione delle misure previste, l'indagine tecnica ambientale potrebbe costituire un valore aggiunto al processo di valutazione del rischio.

Ringraziamenti

Gli autori vogliono ringraziare l'Ass. Capo della Polizia di Stato Sig. Francesco Toscano, in servizio presso il Centro Sanitario Polifunzionale di Milano, per il supporto e l'assistenza tecnica prestata nell'esecuzione dei rilievi strumentali.

Bibliografia

- Rupp RF, Vásquez NG, Lamberts R. A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy Build* 2015; 105: 178-205. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.07.047.
- Dahlan ND, Gital YY. Thermal sensations and comfort investigations in transient conditions in tropical office. *Appl Ergon* 2016 May; 54: 169-76. doi: 10.1016/j.apergo.2015.12.008.
- Erlanson T, Cena K, De Dear R, et al. Environmental and human factors influencing thermal comfort of office occupants in hot - humid and hot - arid climates. *Ergonomics* 2003 May 15; 46(6): 616-28.
- Fang L, Wyon DP, Clausen G, et al. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. *Indoor Air* 2004; 14 Suppl 7: 74-81.
- Melikov A, Pitchurov G, Naydenov K, et al. Field study on occupant comfort and the office thermal environment in rooms with displacement ventilation. *Indoor Air* 2005 Jun; 15(3): 205-14.
- Mendell MJ, Mirer AG. Indoor thermal factors and symptoms in office workers: findings from the US EPA BASE study. *Indoor Air* 2009 Aug; 19(4): 291-302. doi: 10.1111/j.1600-0668.2009.00592.x.
- Yang W, Zhang G. Thermal comfort in naturally ventilated and air-conditioned buildings in humid subtropical climate zone in China. *Int J Biometeorol* 2008 May; 52(5): 385-98.
- Azmoon H, Dehghan H, Akbari J, et al. The relationship between thermal comfort and light intensity with sleep quality and eye tiredness in shift work nurses. *J Environ Public Health* 2013; 2013: 639184. doi: 10.1155/2013/639184.
- Dehghan H, Azmoon H, Soury S, et al. The effects of state anxiety and thermal comfort on sleep quality and eye fatigue in shift work nurses. *J Educ Health Promot* 2014 Jun 23; 3: 72. doi: 10.4103/2277-9531.134870.
- Hashiguchi N, Hirakawa M, Tochihara Y, et al. Thermal environment and subjective responses of patients and staff in a hospital during winter. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 2005 Jan; 24(1): 111-5.
- Pourshaghagh A, Omidvari M. Examination of thermal comfort in a hospital using PMV-PPD model. *Appl Ergon* 2012 Nov; 43(6): 1089-95. doi: 10.1016/j.apergo.2012.03.010.
- Rodrigues NJ, Oliveira RF, Teixeira SF, et al. Thermal comfort assessment of a surgical room through computational fluid dynamics using local PMV index. *Work* 2015; 51(3): 445-56. doi: 10.3233/WOR-141882.
- Yau YH, Chew BT, Yau YH, et al. Thermal comfort study of hospital workers in Malaysia. *Indoor Air* 2009 Dec; 19(6): 500-10. doi: 10.1111/j.1600-0668.2009.00617.x.
- Zwolińska M, Bogdan A. Thermal sensations of surgeons during work in surgical gowns. *Int J Occup Saf Ergon*. 2013; 19(3): 443-53.
- Loupa G. Case study. Health hazards of automotive repair mechanics: thermal and lighting comfort, particulate matter and noise. *J Occup Environ Hyg* 2013; 10(10): D135-46. doi: 10.1080/15459624.2013.818222.
- Mendes A, Pereira C, Mendes D, et al. Indoor air quality and thermal comfort-results of a pilot study in elderly care centers in Portugal. *J Toxicol Environ Health* 2013; 76(4-5): 333-44. doi: 10.1080/15287394.2013.757213.
- Fong ML, Lin Z, Fong KF, et al. Evaluation of thermal comfort conditions in a classroom with three ventilation methods. *Indoor Air* 2011 Jun; 21(3): 231-9. doi: 10.1111/j.1600-0668.2010.00693.x.
- Shek KW, Chan WT. Combined comfort model of thermal comfort and air quality on buses in Hong Kong. *Sci Total Environ* 2008 Jan 25; 389(2-3): 277-82.
- Berardi BM, Giusti M, Leoni E, et al. Evaluation of working conditions at the work place with video terminals: a survey conducted in 6 business offices. *G Ital Med Lav* 1988 Mar; 10(2): 57-63.
- Salamone F, Belussi L, Danza L, et al. An open source "Smart Lamp" for the optimization of plant systems and thermal comfort of offices. *Sensors (Basel)* 2016 Mar 7; 16(3). pii: E338. doi: 10.3390/s16030338.
- De Giuli V, Zecchin R, Corain L, et al. Measured and perceived environmental comfort: field monitoring in an Italian school. *Appl Ergon* 2014 Jul; 45(4): 1035-47. doi: 10.1016/j.apergo.2014.01.004.
- Langiano E, Lanni L, Atrei P, et al. Indoor air quality in school facilities in Cassino (Italy). *Ig Sanita Pubbl* 2008 Jan; 64(1): 53-66.
- Buratti C, Paladino D, Ricciardi P. Application of a new 13-value thermal comfort scale to moderate environments. *Applied Energy* 2016; 180: 859-866.
- Nico MA, Liuzzi S, Stefanizzi P. Evaluation of thermal comfort in university classrooms through objective approach and subjective preference analysis. *Appl Ergon* 2015 May; 48: 111-20. doi: 10.1016/j.apergo.2014.11.013.
- Martellotta F, Della Crociata S, Simone A, et al. Working conditions for supermarket employees: from experimental data to best practices. *Med Lav* 2014 Jul 15; 105(5): 323-36.
- Del Ferraro S, Iavicoli S, Russo S, et al. A field study on thermal comfort in an Italian hospital considering differences in gender and age. *Appl Ergon* 2015 Sep; 50: 177-84. doi: 10.1016/j.apergo.2015.03.014.
- Masia MD, Dettori M, Liperi G, et al. Thermal comfort in perioperative risk's evaluation. *Ann Ig* 2009 May-Jun; 21(3): 251-8.
- Sabbadini M, Verga M, Boglioni R, et al. New operating rooms: problems related with ventilation and air quality. *G Ital Med Lav Ergon* 2002 Oct-Dec; 24(4): 416-9.
- Ricciardi P, Ziletti A, Buratti C. Evaluation of thermal comfort in an historical Italian opera theatre by the calculation of the neutral comfort temperature. *Building and Environment* 2016; 102: 116-127.
- Giaconia C, Orioli A, Di Gangi A. A correlation linking the predicted mean vote and the mean thermal vote based on an investigation on the human thermal comfort in short-haul domestic flights. *Appl Ergon* 2015 May; 48: 202-13. doi: 10.1016/j.apergo.2014.12.003.

- 31) Majchrzycka K, Brochocka A, Luczak A, et al. Ergonomics assessment of composite ballistic inserts for bullet- and fragment-proof vests. *Int J Occup Saf Ergon* 2013; 19(3): 387-96.
- 32) Zimmermann C, Uedelhoven WH, Kurz B, et al. Thermal comfort range of a military cold protection glove: database by thermophysiological simulation. *Eur J Appl Physiol* 2008 Sep; 104(2): 229-36. doi: 10.1007/s00421-007-0660-z.
- 33) Lan L, Wargocki P, Wyon DP, et al. Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. *Indoor Air* 2011 Oct; 21(5): 376-90. doi: 10.1111/j.1600-0668.2011.00714.x.
- 34) Magnavita N. Influence of work climate on the sick building syndrome. *G Ital Med Lav Erg* 2007; 29(3 Suppl): 658-660.
- 35) Tsai DH, Lin JS, Chan CC. Office workers' sick building syndrome and indoor carbon dioxide concentrations. *J Occup Environ Hyg* 2012; 9(5): 345-51. doi: 10.1080/15459624.2012.675291.
- 36) UNI EN ISO 7730: 2006. Ergonomia degli ambienti termici Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale.
- 37) Istituto Superiore di Sanità. (2013). Strategie di monitoraggio dell'inquinamento di origine biologica dell'aria in ambiente indoor. Rapporti IstiSan 13/37. Accessibile all'indirizzo web: www.iss.it/binary/publ/cont/ (ultimo accesso il 12-08-2015).
- 38) Bono R, Piccioni P, Traversi D, et al. Urban air quality and carboxyhemoglobin levels in a group of traffic policemen. *Sci Total Environ* 2007 Apr 15; 376(1-3): 109-15.
- 39) Mirbod SM, Inaba R, Iwata H. Subjective symptoms among motorcycling traffic policemen. *Scand J Work Environ Health* 1997 Feb; 23(1): 60-3.
- 40) Priante E, Schiavon I, Boschi G, et al. Urban air pollutant exposure among traffic policemen. *Med Lav* 1996 Jul-Aug; 87(4): 314-22.
- 41) Proietti L, Mastruzzo C, Palermo F, et al. Prevalence of respiratory symptoms, reduction in lung function and allergic sensitization in a group of traffic police officers exposed to urban pollution. *Med Lav* 2005 Jan-Feb; 96(1): 24-32.
- 42) Pilidis GA, Karakitsios SP, Kassomenos PA, et al. Measurements of benzene and formaldehyde in a medium sized urban environment. Indoor/outdoor health risk implications on special population groups. *Environ Monit Assess* 2009 Mar; 150(1-4): 285-94. doi: 10.1007/s10661-008-0230-9.
- 43) Redman T, Hamilton P, Malloch H, et al. Working here makes me sick! The consequences of sick building syndrome. *Human Resource Management Journal* 2011; 21(1): 14-27.
- 44) Di Lorenzo L, Borraccia V, Corfiati M, et al. Lead exposure in firearms instructors of the Italian State Police. *Med Lav* 2010 Jan-Feb; 101(1): 30-7.
- 45) Rocha ED, Sarkis JE, Carvalho Mde F, et al. Occupational exposure to airborne lead in Brazilian police officers. *Int J Hyg Environ Health* 2014 Jul; 217(6): 702-4. doi: 10.1016/j.ijheh.2013.12.004.
- 46) Martyny JW, Serrano KA, Schaeffer JW, et al. Potential exposures associated with indoor marijuana growing operations. *J Occup Environ Hyg* 2013; 10(11): 622-39. doi: 10.1080/15459624.2013.831986.
- 47) Witter RZ, Martyny JW, Mueller K, et al. Symptoms experienced by law enforcement personnel during methamphetamine lab investigations. *J Occup Environ Hyg* 2007 Dec; 4(12): 895-902.
- 48) Song MH, Chang BU, Kim Y, et al. Radon exposure assessment for underground workers: a case of Seoul Subway Police officers in Korea. *Radiat Prot Dosimetry* 2011 Nov; 147(3): 401-5. doi: 10.1093/rpd/ncq461.
- 49) Chirico F. Il comfort termico negli ambienti di lavoro. Milano: Edizioni FS; 2016.
- 50) Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e Province Autonome in collaborazione con l'ISPESL. (2006). Linee Guida su microclima, areazione ed illuminazione nei luoghi di lavoro. Requisiti standard. Indicazioni operative e progettuali.
- 51) Malchaire JB. The SOBANE risk management and the Déparis method for the participatory screening of the risks, accessibile all'indirizzo <http://www.deparisnet.be/> (ultimo accesso il 12-08-2015).
- 52) Malchaire J, Mairiaux P. Strategy of analysis and interpretation of thermal working conditions. *Ann Occup Hyg* 1991 Jun; 35(3): 261-72.
- 53) Chirico F, Rulli G. Strategy and methods for the risk assessment of thermal comfort in the workplace. *G Ital Med Lav Ergon* 2015 Oct-Dec; 37(4): 220-33.
- 54) ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- 55) Satish U, Mendell MJ, Shekhar K, et al. Is CO2 an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO2 Concentrations on Human Decision-Making Performance. *Environmental Health Perspectives* 2012; 120(12): 1671-1677.
- 56) Settimo G, Brini S, Baldassarri LT, et al. Presenza di CO2 e H2S in ambienti indoor-residenziali: analisi critica delle conoscenze di letteratura. Accessibile all'indirizzo web: www.iss.it/binary/iasa/cont/CO2_H2S_FINALE.pdf. (ultimo accesso il 19 aprile 2016).
- 57) CDC. Carbon Monoxide Poisoning. Accessibile al sito web: www.cdc.gov/co/ (ultimo accesso il 19 aprile 2016).
- 58) UNI EN 15251: 2008. Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.
- 59) UNI EN 13779: 2008. Ventilazione degli edifici non residenziali. Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di climatizzazione.
- 60) Margani G. L'edificio passivo nel clima mediterraneo. Costruire in laterizio. 2010; 141: 46-49.
- 61) Chirico F. What's new about the thermal comfort in the Italian law? A comparison of the Dpr n. 74/2013 and the technical standards Uni En Iso. *Med Lav* 2015 Nov 22; 106(6): 472-4.
- 62) de Dear R, Brager G. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions* 1998; 104(1): 145-67.
- 63) Freda D, Del Gaudio M, Lenzuni P. Indoor air quality in environments with anthropogenic pollution-descriptor and limit values. *Ital J Occup Environ Hyg* 2010; 1(1): 33-39.
- 64) Alfano G, D'Ambrosio FR, Riccio G. La valutazione delle condizioni termoigrometriche negli ambienti di lavoro: comfort e sicurezza. Napoli: Cuen editore; 1997.
- 65) Cavallo DM, Carrer P, Liotti F, et al. Qualità dell'aria degli ambienti confinati non industriali: indicazioni per la valutazione del rischio e la sorveglianza sanitaria. *G Ital Med Lav Erg* 2004; 26(4): 416-428.
- 66) D'Ambrosio FR, Alfano G, Liotti F. La qualità degli ambienti confinati non industriali: il discomfort termo igrometrico. *G Ital Med Lav Erg* 2004; 26(4): 401-415.
- 67) Lenzuni P, Freda D, Del Gaudio M. Classification of thermal environments for comfort assessment. *Ann Occup Hyg* 2009; 53(4): 325-32.
- 68) Chirico F, Taino G, Malagò G, et al. Studio preliminare sul comfort termico e l'Indoor Air Quality in un ufficio "sigillato" di tipo "open space". *G Ital Med Lav Erg* 2017 Sep; 39(3 Suppl): 139.
- 69) Chirico F, Ferrari G, Taino G, et al. Prevalence and risk factors for Sick Building Syndrome among Italian correctional officers: A pilot study. *J Health Soc Sci* 2017; 2(1): 31-46. doi: 10.19204/2017/prv13.

Corrispondenza: Dr. Francesco Chirico, Via Umberto Cagni 21, 20162 Milano, Italy, E-mail: medlavchirico@gmail.com