

Francesco Chirico, Giuseppina Rulli

La valutazione del rischio per il microclima di tipo “moderato”: strategia e metodi di valutazione

Centro Sanitario Polifunzionale di Milano - State Police Health Service Department- Ministry of Interior - Italy

RIASSUNTO. In questo lavoro viene affrontato il problema della valutazione del comfort termico negli ambienti di lavoro termicamente moderati. Sono state sottoposte a revisione le norme di legge, le norme tecniche e le linee guida esistenti sull'argomento ed è stata definita una strategia di valutazione a diversi livelli che includa sia la valutazione soggettiva degli individui presenti nell'ambiente di lavoro sia le misurazioni strumentali.

Parole chiave: ambiente termico, comfort termico, valutazione soggettiva ed oggettiva.

ABSTRACT. STRATEGY AND METHODS FOR THE RISK ASSESSMENT OF THERMAL COMFORT IN THE WORKPLACE. This paper examines the problem of assessing thermal conditions in moderate working environments. We reviewed all the laws and technical standards on the focus to propose a method of evaluation by steps including a subjective assessment and technical measurements.

Key words: thermal environment, thermal comfort, subjective and objective assessment.

Introduzione

Il crescente interesse per il “comfort termico” negli ambienti di lavoro ha portato il legislatore ad inserire anche il microclima tra gli agenti fisici normati dal D.Lgs 81/08 (8). La valutazione del rischio relativa al microclima “moderato” però, sebbene obbligatoria, viene spesso trascurata, a differenza di quanto avviene per il microclima “severo” (6). Infatti, le indicazioni fornite sono piuttosto generiche (8) e le principali norme tecniche di settore, come gli Standard ISO 7730, ISO 10551 ed ASHRAE 55 (3, 27, 31) approfondiscono soprattutto gli aspetti relativi all'indagine ambientale, spesso erroneamente identificata *tout court* con la valutazione del rischio. La norma tecnica UNI EN ISO 15265:2005 (30), le linee guida del Coordinamento Tecnico in collaborazione con l'ISPESL del 2006 (4) e del 2009 (5), forniscono invece, anche se non in modo completo ed esaustivo, utili riferimenti a disposizione del datore di lavoro per realizzare il percorso valutativo secondo quanto richiesto dalla normativa di legge.

La finalità di questa ricerca è quella di rivedere le indicazioni tecnico-normative e le linee guida di settore, per offrire una visione globale sugli strumenti esistenti per una corretta valutazione del rischio da microclima in ambienti di lavoro di tipo “moderato”.

Il comfort termico

Sviluppando il concetto di “neutralità termica” di Gagge (14), il comfort termico è stato definito dallo Standard ASHRAE 55:2013 come quella “condizione mentale in cui l'individuo esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente termico e la cui valutazione avviene in modo soggettivo”. Il comfort termo-igrometrico comprende il soddisfacimento di due componenti di benessere termico, una “globale” che interessa l'individuo nel suo complesso ed una di tipo “locale” che dipende dall'assenza di fattori di discomfort su singole parti del corpo.

Il microclima “moderato”

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 (temperatura e velocità dell'aria, umidità relativa, temperatura radiante e resistenza termica del vestiario), impediscano il raggiungimento del "comfort termico igrometrico". Gli ambienti "moderati" sono pertanto caratterizzati da un "moderato grado di intervento della termoregolazione corporea": in essi, infatti, si realizza facilmente una condizione di "omeotermia", cioè di mantenimento costante della temperatura interna. Gli ambienti di lavoro "moderati" presentano perciò le seguenti caratteristiche: 1) condizioni ambientali piuttosto omogenee e con ridotta variabilità nel tempo; 2) assenza di scambi termici localizzati fra soggetti ed ambiente che abbiano effetti rilevanti sul bilancio termico complessivo; 3) attività fisica modesta e sostanzialmente analoga per i diversi soggetti; 4) uniformità del vestiario indossato dai diversi lavoratori.

Aspetti normativi

Il Titolo II, art. 63 del D.Lgs 81/08 prescrive che i luoghi di lavoro siano conformi ai requisiti indicati al punto 1.9 dell'Allegato IV per quanto riguarda il microclima, fornendo indicazioni sull'aerazione dei luoghi di lavoro chiusi (punto 1.9.1), sulla temperatura dei locali (punto 1.9.2) e sull'umidità (punto 1.9.3). All'art. 64, comma 1, lettera a), il D.Lgs 81/08 dispone per il datore di lavoro l'obbligo di conformare i luoghi di lavoro ai requisiti richiesti dall'art. 63. Si tratta di indicazioni di carattere generale: il legislatore non indica valori di temperatura o di umidità adeguati, ma rimanda alle prescrizioni contenute nella normativa tecnica specifica. Ciò non toglie però, per quanto riguarda le sanzioni, che la violazione dell'art. 63 in combinato disposto con l'art. 64 -obbligo di conformità ai requisiti- sia punita con l'arresto da due a quattro mesi o con l'ammenda da € 1.000 a € 4.800 a carico del datore di lavoro (art. 68 commi 1 e 2).

Il "microclima" (moderato o severo) è uno degli agenti fisici normati dal titolo VIII del D.Lgs 81/08. Il datore di lavoro deve effettuare la valutazione del rischio finalizzandola all'adozione delle misure di prevenzione e protezione eventualmente necessarie, con particolare riferimento alle norme di buona tecnica ed alle buone prassi e considerando soprattutto i lavoratori particolarmente sensibili; inoltre egli deve informare e formare tutti i lavoratori esposti (artt. 180-184). La valutazione deve essere effettuata con una "cadenza almeno quadriennale", avvalendosi di "personale qualificato nell'ambito del servizio di prevenzione e protezione in possesso di specifiche conoscenze in materia". I principi per l'individuazione del "personale qualificato" vengono ripresi nelle Indicazioni operative del Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e Province Autonome che però rimandano per la definizione dei criteri a provvedimenti ancora da emanarsi. Inoltre la valutazione dei rischi deve essere aggiornata "ogni qual volta si verificano mutamenti che potrebbero renderla obsoleta, ovvero, quando i risultati della sorveglianza sanitaria ne rendano necessaria la revisione. I dati ottenuti dalla valutazione, misurazione e calcolo dei livelli di esposizione costituiscono parte integrante del docu-

mento di valutazione del rischio"; tuttavia, "la valutazione può includere una giustificazione del datore di lavoro secondo cui la natura e l'entità dei rischi non rendono necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata". La struttura del documento di valutazione del rischio e della relazione tecnica per il microclima è indicata al punto 1.08 delle medesime indicazioni operative ed è in comune con quella prevista per gli altri fattori di rischio di tipo fisico.

Di recente, in recepimento della direttiva 2002/91/CE in materia di rendimento energetico degli edifici, è stato emanato il DPR 74/2013 (9) che ha abrogato il precedente DPR n. 412/93. Tale norma di legge prevede per tutti gli edifici, pubblici e privati, dotati di impianto termico per il riscaldamento invernale e/o la climatizzazione estiva, che la temperatura dell'aria indoor, durante il funzionamento di tali impianti, nella stagione invernale non debba superare i 18°C (+ 2°C di tolleranza) negli edifici adibiti ad attività industriali, artigianali o simili ed i 20°C (+ 2°C di tolleranza) in tutti gli altri tipi di edificio; nella stagione estiva, invece, essa non dovrà essere inferiore a 26°C (- 2°C di tolleranza) per tutti i tipi di edificio. La temperatura dell'aria, da misurare secondo le indicazioni della norma UNI 8364-1, corrisponde alla media delle temperature dell'aria ponderata rispetto alle dimensioni volumetriche degli ambienti esaminati. La norma, tuttavia, prevede che possano essere concesse delle deroghe da parte dell'autorità comunale per gli "edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali per specifiche esigenze tecnologiche e/o di produzione" o qualora l'energia termica per il riscaldamento e/o la climatizzazione "derivi da sorgente non convenientemente utilizzabile in altro modo"; gli unici edifici, invece, esonerati dall'obbligo normativo sono quelli utilizzati per ospedali, case di cura ed ambienti simili, strutture protette per tossicodipendenti o adibite ai servizi sociali pubblici, piscine, saune ed ambienti simili e per le sedi delle rappresentanze diplomatiche.

Gli effetti per la salute del discomfort termico negli ambienti di lavoro di tipo moderato

Il concetto di salute che il D.Lgs 81/08 (art. 2 c. 1 lett. o) ha mutuato dall'OMS ("*stato di completo benessere fisico, mentale e sociale, non consistente solo in un'assenza di malattia o d'infermità*"), è quanto mai adatto a descrivere il potenziale rischio per la salute derivante dalle eventuali criticità presenti in un ambiente microclimatico di tipo "moderato". Infatti il "microclima moderato", anche se non comporta rilevanti effetti patologici tali da richiedere l'attivazione della sorveglianza sanitaria (come invece accade per il microclima di tipo "severo") è uno dei fattori di fondamentale importanza per il "comfort psicofisico" dei lavoratori che trascorrono gran parte del loro tempo negli ambienti di lavoro indoor. Sono numerosi, infatti, gli studi che considerano la temperatura e l'umidità dell'aria indoor come due possibili cause della Sick Building Syndrome (SBS) e delle Building-Related Illnesses (BRI) (10, 11, 25, 26). La SBS è stata descritta dall'Organizzazione Mondiale della Salute (OMS) fin dal 1983 (15) 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" (16). Le cause della SBS sono molteplici, sia di tipo ambientale sia di tipo individuale (18); una delle principali è l'inadeguata ventilazione, tanto da verificarsi soprattutto (ma non esclusivamente) in edifici dotati di un impianto centralizzato per il condizionamento dell'aria. Le BRI, invece, sono malattie che riconoscono un preciso agente eziologico quale per esempio (per citare la più conosciuta) la *Legionellosi* da *Legionella pneumophila* (26). Secondo l'Istituto Superiore di Sanità, in ambienti con un elevato grado di umidità ed una bassa temperatura dell'aria la concentrazione di funghi e microorganismi può raggiungere valori elevati (15,24). Queste condizioni possono portare ad un aumento dei sintomi di carattere respiratorio, ad allergie, asma e a disordini del sistema immunitario (15). Inoltre un elevato tasso di umidità può favorire la propagazione di inquinanti idrosolubili come per esempio la formaldeide e l'ozono. L'umidità troppo bassa, invece, può causare reazioni allergiche a livello cutaneo e respiratorio e, più frequentemente, sensazione di "secchezza" cutanea ed altri sintomi irritativi a carico delle mucose nasali, oculari e delle prime vie aeree; qualche autore ha perfino descritto una forma di "SBS da umidificazione" (23,33). La temperatura e le correnti d'aria, inoltre, influenzano la presenza, il trasporto e la diffusione di molteplici agenti chimici e biologici presenti nell'ambiente indoor. Infatti una temperatura dell'aria troppo elevata può favorire, per esempio, l'evaporazione dei composti organici volatili (VOC) mentre una temperatura troppo bassa può favorire la diffusione di alcuni microrganismi (23). Tuttavia la relazione tra la crescita e diffusione microbica e la temperatura e/o umidità dell'aria indoor non è stata ancora del tutto chiarita, probabilmente per le differenze dovute al clima o alla geografia dei luoghi dove sono state effettuate le ricerche (13). In ogni caso, gli sbalzi termici che si possono verificare nel continuo passaggio tra due ambienti con caratteristiche microclimatiche molto differenti, costringono il nostro corpo alla continua ricerca dell'equilibrio termico e possono creare le condizioni favorevoli per l'insorgenza di malattie infettive virali e batteriche (per es. sindromi da raffreddamento) oltre che di disturbi del distretto muscolo-scheletrico (per es. mialgie da correnti d'aria localizzate). Da non dimenticare, infine, che il microclima, come fattore di "contenuto lavorativo" deve essere specificamente considerato nell'ambito della valutazione per lo "stress lavoro-correlato" (ex art. 28 c. 1 bis D.Lgs 81/08); a tal proposito è stato evidenziato che la temperatura e l'umidità relativa dell'aria se non sono ottimali, possono causare lievi turbe psichiche della sfera cognitiva (soprattutto per la memoria e la concentrazione) ed una diminuzione della performance lavorativa (21,22). Pertanto, la sorveglianza sanitaria, anche se attivata per altri rischi, potrebbe consentire al medico competente di fornire un utile contributo (per es. raccogliendo le eventuali segnalazioni di disagio termico e/o di cattiva qualità dell'aria indoor da parte dei lavoratori) per partecipare attivamente all'attività di "collaborazione, per la parte di sua competenza, alla valutazione del rischio ed alla predisposizione dell'attuazione

delle misure per la tutela della salute e della integrità psico-fisica dei lavoratori..." (art. 25 c. 1 lett. a del D.Lgs 81/08).

La strategia di valutazione per il microclima di tipo "moderato"

In generale, il processo valutativo può essere distinto in due fasi: la fase preliminare di tipo "qualitativo", finalizzata ad individuare la presenza del fattore di rischio e la fase approfondita "quantitativa" mirata a caratterizzare l'esposizione lavorativa attraverso la "stima" o la "misurazione" del rischio. Il processo valutativo deve avere l'obiettivo principale di identificare le misure di prevenzione e protezione necessarie all'eliminazione o alla riduzione del rischio. L'art. 181 c. 3 del D.Lgs 81/08 introduce per gli agenti fisici il principio di "giustificazione", secondo il quale se il rischio è "assente" o "palesamente trascurabile", oppure se è "significativamente" o "ben al di sotto del valore di riferimento", il processo valutativo può fermarsi alla fase preliminare, in quanto "vista la natura e l'entità del rischio non si rende necessaria una valutazione più dettagliata" (9). Il principio di giustificazione non sembrerebbe però applicabile al microclima di tipo moderato, per il quale le norme di legge non prevedono -come per altri agenti fisici- nè valori d'azione nè valori limite. Proprio per questo, nell'ambito del processo valutativo di cui all'art. 181, può essere utile l'applicazione della "Strategia di valutazione del rischio per la prevenzione dello stress o del disagio termico nelle condizioni di lavoro" proposta dalla norma tecnica UNI EN ISO 15265: 2005. La norma UNI EN ISO 15265:2005 descrive una strategia di valutazione e di interpretazione del rischio di "costrizione fisiologica o di disagio che si possono verificare quando si lavora in un certo ambiente climatico". È applicabile in "tutte le situazioni di lavoro, a prescindere dall'eventuale variazione del clima, del metabolismo energetico o dell'abbigliamento". La norma "non descrive una singola procedura ma una strategia a tre livelli crescenti che può essere utilizzata ogniquale volta sia necessario definire il rischio correlato alle condizioni di lavoro ed identificare le misure di controllo e di prevenzione ottimali". L'obiettivo principale del processo valutativo non deve essere la quantificazione del rischio ma la sua eliminazione, o, quando non è possibile, la sua riduzione mediante opportune misure di prevenzione e protezione: alcune, a titolo esemplificativo, sono riportate nell'Appendice A della stessa norma. La strategia prevede un approfondimento del percorso valutativo, in modo graduale e progressivo, in tre differenti fasi. La fase iniziale, di "osservazione", ha lo scopo di caratterizzare le diverse situazioni di lavoro che si determinano nel corso del giornata e nell'intero arco di un anno lavorativo. Questa fase non richiede la presenza di esperti ma il coinvolgimento dei lavoratori (oltre che, a nostro avviso, del servizio di prevenzione e protezione e del medico competente). Nella fase successiva, detta di "analisi", invece, i problemi evidenziati nella fase precedente, se non sono stati risolti, vengono analizzati e stimati nei loro possibili effetti oppure quantificati con misurazioni strumentali. Sono coinvolti oltre alle figure previste nella prima fase anche tecnici specialisti in ergonomia degli ambienti termici e personale tecnico addetto alle mi-

surazioni ambientali: vengono esaminate le situazioni lavorative critiche collegate a circostanze o a situazioni particolari, già identificate durante la prima fase. Se anche la fase di “analisi” non porta alla risoluzione del problema, si passa all’ultimo livello che è quello dell’“analisi approfondita” o “expertise”. Nella fase di “analisi approfondita” i problemi irrisolti dal punto di vista quantitativo possono richiedere opportune e mirate misurazioni strumentali (anche sofisticate o speciali) che richiedono un intervento di tipo specialistico. Nella tabella I riportiamo un prospetto riepilogativo delle tre fasi tratto dalla norma UNI 15265:2005.

Da notare come il modello proposto dalla UNI 15265:2005 riprenda la strategia di prevenzione dei rischi denominata “SOBANE”, realizzata dal Prof. Malchaire dell’Unité Hygiène et Pshysiologie du Travail Università Catholique de Lovain per tutti i rischi (19) ed applicata dallo stesso Prof. Malchaire in uno studio del 2002 anche agli ambienti di lavoro termici (20). Il nome “SOBANE” deriva dall’acronimo rappresentato dalle fasi in cui si esplica tale strategia di valutazione: **S**creening - **O**bservation - **A**nalysis - **E**xpertise (individuazione, osservazione, valutazione, valutazione specialistica). Più precisamente si tratta di un processo di identificazione dei pericoli e di valutazione dei rischi *multifase*, in linea con i più moderni criteri di indagine, secondo i quali è metodologicamente più corretto, oltre che più economico, affrontare le problematiche con livelli di complessità via via crescenti in relazione alle effettive esigenze presenti. Tale metodologia pertanto cerca di ottimizzare sia il tempo sia gli sforzi spesi per rendere accettabile la situazione di lavoro qualunque sia la complessità del problema riscontrato, favo-

rendo lo sviluppo di un piano dinamico di gestione dei rischi ed una cultura di consultazione dell’impresa in cui è necessaria sia la “partecipazione dei lavoratori” sia la “volontarietà della scelta” da parte dell’azienda.

La valutazione preliminare

La valutazione preliminare corrisponde alla fase di “osservazione” della ISO 15265:2005. In tale fase è richiesto l’intervento del RSPP, la collaborazione del medico competente ma soprattutto è necessario il coinvolgimento dei preposti e dei lavoratori che occupano gli ambienti di lavoro oggetto della valutazione. La valutazione preliminare non prevede l’utilizzo di misurazioni strumentali, ma di altri strumenti di screening, facili da somministrare e a basso costo, finalizzati all’individuazione di eventuali situazioni critiche: check lists osservazionali e questionari per la valutazione soggettiva dei lavoratori.

Strumenti di valutazione 1: le check list osservazionali

L’ISPESL (2006) propone l’uso di una check list osservazionale (vedi tabella II) da applicare in sede di valutazione preliminare, per “*accertare l’assenza di pericolo... oppure prendere atto che per decidere servono ulteriori approfondimenti tecnici che normalmente consistono in valutazioni strumentali*”.

Un’altra check list osservazionale potrebbe essere realizzata facendo riferimento all’allegato IV del D.Lgs 81/08 nei punti applicabili ai luoghi di lavoro di tipo “moderato” (vedi tabella III).

Tabella I. Caratteristiche delle tre fasi della strategia valutativa (tratto dalla norma UNI EN ISO 15265:2005)

Modalità	Fase 1 “Osservazione”	Fase 2 “Analisi”	Fase 3 “Analisi approfondita”
Quando?	Quando un problema viene riconosciuto	Casi più complicati	Casi veramente complessi
Come?	Osservazioni qualitative	Misurazioni ordinarie	Valutazione e misurazioni specialistiche
Costi	Bassi	Medi	Alti
Durata (rispetto alla magnitudo del problema)	2 h	1 giorno	Pochi giorni
Da chi viene condotta?	Lavoratori – management	Gli stessi della fase 1 + specialisti	Gli stessi della fase 1 + specialisti + esperti
Tipo di competenza: – sulla situazione lavorativa – esperienza ergonomica	Alta Media	Media Alta	Bassa Specialistica

Tabella II. Check list osservazionale per la fase di valutazione preliminare (tratto dalle Linee Guida ISPESL per microclima, aereazione ed illuminazione nei luoghi di lavoro, 2006)

N	QUESITO	Modalità di intervento (in caso di risposta negativa)
1	Esistono in azienda locali nei quali non è garantito il controllo delle temperature secondo i requisiti o gli standard del tipo d’ambiente?	Installare sistemi di climatizzazione del tipo adatto agli ambienti
2	Il RLS ha segnalato (o ci sono addetti che segnalano) problemi connessi al microclima quali correnti d’aria fastidiose, ambienti troppo caldi o freddi, con alta o bassa umidità relativa (es: aria troppo secca)?	Verificare l’attendibilità della segnalazione, identificarne le cause ed intervenire

Tabella III. Check list per la verifica del rispetto dei criteri previsti dall'allegato IV del D.Lgs 81/08 applicabile per gli ambienti microclimatici di tipo "moderato"

N°	Requisito richiesto dalla normativa specifica (il riferimento del punto specifico dell'Allegato IV del D.Lgs 81/08 è riportato tra parentesi)	SI	NO	NA (non applicabile)
A1	Nell'ambiente esaminato sono presenti finestre apribili? (punto 1.9.1.1.). Se SI indicare il numero ed il tipo			
A2	(rispondere SOLO se la risposta al punto A1 è NO) Sono in funzione impianti di aereazione artificiali installati per la mancanza di aereazione naturale? (punto 1.9.1.1.)			
A3	(rispondere SOLO se la risposta al punto A2 è SI) L'impianto di aereazione artificiale è mantenuto sempre in funzione durante l'intero turno di lavoro? (punto 1.9.1.2.)			
A4	(rispondere SOLO se la risposta al punto A3 è SI) L'impianto di aereazione artificiale possiede un sistema di controllo e di allarme che si attiva automaticamente in caso di guasto? (punto 1.9.1.2.)			
B1	Nell'ambiente esaminato sono installati e funzionanti impianti di condizionamento centralizzato dell'aria?			
B2	Nell'ambiente esaminato sono installati e funzionanti sistemi di condizionamento non centralizzato? (per es. climatizzatori split, portatili...)			
B3	(rispondere SOLO se la risposta al punto B1 o B2 è SI) Il sistema di condizionamento centralizzato e/o non centralizzato espone i lavoratori presenti a correnti d'aria fastidiose in relazione alla posizione delle postazioni di lavoro rispetto ai terminali di condizionamento? (punto 1.9.1.3.)			
B4	(rispondere SOLO se la risposta al punto B1 è SI) L'impianto di condizionamento è periodicamente sottoposto a manutenzione ordinaria? (punto 1.9.1.4.)			
B5	(rispondere SOLO se la risposta al punto B4 è SI) Gli interventi di manutenzione ordinaria sono riportati nel "registro degli interventi effettuati sull'impianto"? (vedi la procedura operativa per la valutazione e gestione dei rischi correlati all'igiene degli impianti di trattamento aria del Ministero del Lavoro). Se SI indica anche la data del prossimo intervento programmato			
B6	(rispondere SOLO se la risposta al punto B2 è SI) Il sistema "localizzato" di condizionamento è periodicamente sottoposto a manutenzione ordinaria? (punto 1.9.1.4.)			
C1	Nell'ambiente esaminato (rispondere solo se è stata effettuata di recente una misurazione strumentale, anche puntuale) la temperatura operativa rispetta i criteri della ISO 7730:2006 (in inverno 22 ± 3 C°, in estate $24,5 \pm 3$ C°)? (punto 1.9.2.1.)			
C2	Nell'ambiente esaminato (rispondere solo se è stata effettuata di recente una misurazione strumentale, anche puntuale) la velocità dell'aria rispetta i criteri della normativa tecnica ISO 7730:2006 ed ASHRAE 55.2004 (in inverno non deve superare 0,20 m/s, in estate 0,24 m/s)? (punto 1.9.2.2.)			
C3	Nell'ambiente esaminato (rispondere solo se è stata effettuata di recente una misurazione strumentale, anche puntuale) l'umidità relativa rispetta i criteri della normativa tecnica ISO 7730:2006 ed ASHRAE 55.2004 (> 30 < 70% sia in inverno sia in estate)? (punto 1.9.2.2.)			
D1	Nell'ambiente esaminato vi sono segni di possibile eccessiva umidità (muffe, infiltrazioni d'acqua...)? (punto 1.9.2.2)			
E1	È presente un impianto di riscaldamento per l'inverno ed un sistema di condizionamento estivo nella sala relax? (punto 1.9.2.3.)			
E2	È presente un impianto di riscaldamento per l'inverno ed un sistema di condizionamento estivo nei servizi igienici? (punto 1.9.2.3.)			
E3	È presente un impianto di riscaldamento per l'inverno ed un sistema di condizionamento estivo nella mensa? (punto 1.9.2.3.)			
E4	È presente un impianto di riscaldamento per l'inverno ed un sistema di condizionamento estivo nell'infermeria/ambulatorio medico? (punto 1.9.2.3.)			
E5	È presente un impianto di riscaldamento per l'inverno ed un sistema di condizionamento estivo nei locali per la videosorveglianza? (punto 1.9.2.3.)			
F1	Nell'ambiente esaminato sono presenti finestre o lucernari o pareti vetrate che, anche in base all'opinione dei presenti, possono comportano un disagio termico? (punto 1.9.2.4.) Se la risposta è SI indica il tipo di disagio termico: <input type="checkbox"/> globale <input type="checkbox"/> localizzato Se il disagio termico è di tipo "localizzato" indica la o le postazione/i di lavoro interessate			

Strumenti di valutazione 2. I questionari

L'“intervista” del lavoratore attraverso la somministrazione di un questionario è un mezzo di analisi di tipo soggettivo. Il principio su cui si basa è che il comfort termico è un fenomeno soggettivo legato alle sensazioni termiche degli individui presenti in un determinato ambiente. Infatti, il classico modello basato sul PMV/PPD è di tipo “previsionale” (12) e pertanto non può considerare alcuni fattori individuali imprevedibili, di tipo organico (età, sesso, caratteristiche fisio-patologiche), psicologico, comportamentale e perfino culturale, che possono portare a diversi gradi di accettazione di situazioni non confortevoli o di non accettazione di situazioni ritenute confortevoli. Tali fattori però possono essere valutati attraverso questionari da somministrare direttamente ai lavoratori e la norma tecnica che fornisce le indicazioni per costruire un questionario ad hoc è la UNI EN ISO 10551: 2002.

Il questionario: struttura e tipologie

La norma UNI EN ISO 10551:2002 propone questionari strutturati in forma di “scale di valutazione di tipo soggettivo”. Tali scale possono essere costruite attraverso la combinazione di molteplici fattori:

- 1) “tipologia” di giudizio (scala “percettiva”, “affettiva”, “preferenziale”, di “accettabilità” o di “tolleranza”);
- 2) “parte del corpo” interessata dal giudizio (analisi sul comfort “globale” o “locale”)
- 3) “aspetto temporale” legato al giudizio (analisi di una situazione presente o passata, istantanea o estesa ad un certo arco temporale);
- 4) “oggetto” del giudizio (analisi dell'ambiente o della persona, della globalità dei parametri termici o soltanto di alcuni di essi quali temperatura, umidità, movimento dell'aria, stato termico del corpo, umidità della pelle, respirazione).

Le scale valutative proposte dalla ISO 10551 sono cinque, di cui tre si riferiscono allo stato termico individuale (scala “percettiva”, “affettiva”, “preferenziale”) e due a quello ambientale (scala di “accettabilità” e di “tolleranza”). In linea generale il giudizio dato sullo stato termico individuale ha un valore maggiore di quello dato sull'ambiente di lavoro. Comunque, in condizioni climatiche stazionarie, in una condizione di lavoro sedentario e con un vestiario standard, dopo almeno 30 minuti di permanenza nell'ambiente oggetto di valutazione, i due giudizi generalmente coincidono. La norma indica, inoltre, le procedure e le modalità di somministrazione delle scale (periodi, frequenza ed intervalli di somministrazione; metodi per l'analisi finale). Per esempio viene richiesta l'applicazione delle scale secondo una precisa sequenzialità: scala

percettiva, scala affettiva e scala preferenziale, per la valutazione dello stato termico individuale; scala di accettabilità e poi di tolleranza per la valutazione dello stato termico ambientale.

Riportiamo le tipologie di scale indicate dalla norma adattate agli ambienti termicamente moderati.

La scala di “**percezione**” termica prevede la domanda “Che cosa senti adesso?” Il lavoratore indica una risposta in una scala bipolare che va da -3 a + 3 (molto freddo/caldo, freddo/caldo, leggermente freddo/caldo) con 0 che corrisponde all'indifferenza (“né caldo né freddo”). L'applicazione della scala sopramenzionata determina un voto medio che può essere confrontato con l'indice PMV (voto medio previsto) così come determinato secondo l'ISO 7730.

La scala di valutazione termica “**affettiva**” prevede la domanda “Che cosa provi?...” Il lavoratore indica una risposta in una scala a 4 gradi che va da 0 (“comfort”) a + 3 (leggero, medio o molto discomfort). Dalla raccolta dei giudizi che esprimono discomfort si ottiene una percentuale di persone insoddisfatte che può essere confrontata con l'indice PPD (percentuale prevista di insoddisfatti) così come determinato in base alla ISO 7730.

La scala di **preferenza termica** prevede la domanda “Indica lo stato termico che ti piacerebbe avere in questo momento” Il lavoratore indica una risposta in una scala a 5 gradi che va da 0 (“non vorrei avere né più caldo né più freddo”) a ± 2 (“un pò più freddo/ caldo o più freddo/caldo”).

La scala di **accettabilità termica** prevede la domanda “Come giudichi l'ambiente termico in cui lavori da un punto di vista personale?” Il lavoratore indica una risposta in una scala a 2 risposte che può essere “accettabile più che inaccettabile”, oppure “inaccettabile più che accettabile” oppure una risposta in una scala continua del tipo: “Chiaramente accettabile”- “Appena accettabile”- “Appena inaccettabile”- “Chiaramente inaccettabile”.

La scala di **tolleranza termica** prevede la domanda “L'ambiente dal punto di vista termico è...?”. Il lavoratore indica una risposta in una scala a 4 gradi che va da 0 (“perfettamente tollerabile/sopportabile”) a 4 (“1 leggermente, 2 abbastanza 3 molto difficile da sopportare/tollerare 4 intollerabile/insopportabile”).

Lo Standard ASHRAE 55 stabilisce i criteri relativi alla numerosità del campione di lavoratori da intervistare, che deve essere statisticamente significativo per evitare che limitate osservazioni riferite da pochi lavoratori portino a conclusioni generalizzate (vedi tabella IV). La norma ISO 15265: 2005 propone, per la fase di “osservazione”, un questionario (vedi tabella V) che naturalmente può essere adattato alla specifica situazione dell'ambiente da esaminare. I risultati devono essere registrati in una

Tabella IV. Criteri per la selezione di un campione di lavoratori statisticamente significativo per l'intervista (Tratto dallo Standard ASHRAE 55:2013)

Numero di lavoratori a cui viene chiesto di partecipare	Numero minimo di lavoratori che devono rispondere
> 45 lavoratori	$\geq 35\%$ (dei lavoratori a cui è stato chiesto di rispondere)
> 20 < 45 lavoratori	≥ 15 lavoratori
< 20 lavoratori	$\geq 80\%$ (dei lavoratori a cui è stato chiesto di rispondere)

**Tabella V. Questionario da somministrare ai lavoratori nella fase di "osservazione".
Scale di punteggio tratte dalla norma ISO 15265:2005**

Punteggio	Condizione
Temperatura dell'aria	
- 3	Generalmente da "congelamento"
- 2	Generalmente tra ≥ 0 °C e < 10 °C
- 1	Generalmente tra ≥ 10 °C e < 18 °C
0	Generalmente tra ≥ 18 °C e < 25 °C
+ 1	Generalmente tra ≥ 25 °C e < 32 °C
+ 2	Generalmente tra ≥ 32 °C e < 40 °C
+ 3	Generalmente ≥ 40 °C
Umidità	
- 1	Gola e occhi asciutti dopo 2-3 h
0	Normale
1	Pelle umida
2	Pelle completamente bagnata
Radiazione termica	
-1	Freddo sul volto dopo 2-3 minuti
0	Nessuna radiazione riconoscibile
1	Caldo sul volto dopo 2-3 minuti
2	Caldo insopportabile sul volto dopo appena 2 minuti
3	Sensazione immediata di "caldo bruciante"
Movimento dell'aria	
- 2	Ventilazione molto fredda
- 1	Ventilazione leggermente fredda (fresca)
0	Nessun movimento dell'aria
1	Ventilazione leggermente calda
2	Ventilazione molto calda
Carico di lavoro fisico	
0	Lavoro di ufficio: leggero, a bassa richiesta muscolare. Movimenti occasionali a velocità normale
1	Lavoro moderato con braccia o gambe: uso di macchine pesanti, andatura costante
2	Lavoro intenso con braccia e tronco: maneggiare oggetti pesanti, spalare, tagliare legna, camminare rapidamente o mentre si trasporta un carico pesante.
3	Lavoro molto intenso ad alta velocità: (per es. andando su e giù dalle scale)
Vestiario	
0	Leggero, flessibile, nessun interferenza con il lavoro
1	Lungo, più pesante, leggera interferenza con il lavoro
2	Vestiario ingombrante e pesante, speciale per radiazioni, umidità e basse temperature
3	Speciale anche per guanti, cappe, scarpe
Opinioni dei lavoratori	
- 3	Brividi, forte discomfort in tutto il corpo
- 2	Forte discomfort localizzato, sensazione generale di freddo
- 1	Leggero discomfort locale da freddo
0	Nessun discomfort
+ 1	Leggera sudorazione e discomfort; sete
+ 2	Intensa sudorazione, sete intensa, ritmo di lavoro modificato
+ 3	Sudorazione eccessiva, lavoro molto stancante, vestiario speciale

scheda specifica (vedi tabella VI) per essere trattati in forma statistica ed ottenere quindi un punteggio che rappresenti l'opinione "media" dei lavoratori intervistati. La situazione ottimale corrisponda al punteggio "0" per tutte le voci indicate. Quando uno o più parametri deviano da questo range ottimale, le misure di prevenzione dovrebbero essere attuate con un grado di urgenza direttamente proporzionale all'entità di tale deviazione.

Lo Standard ASHRAE 55:2013 propone, infine, dei questionari congegnati per la valutazione di tipo "adattivo" che possono però essere utilizzati anche per la costruzione di un questionario ad hoc da somministrare durante la fase di valutazione preliminare (vedi tabella VII).

La valutazione approfondita

La valutazione approfondita corrisponde alle fasi che la ISO 15265:2005 definisce "analisi" ed "analisi approfondita" e può prevedere l'esecuzione di misure strumentali. È finalizzata all'individuazione delle misure di prevenzione e protezione necessarie alla risoluzione dei problemi individuati nella fase preliminare. Le misurazioni strumentali servono al calcolo degli indici di comfort da confrontare con i limiti e/o i range raccomandati dalle varie norme tecniche. L'indice di comfort costituisce uno strumento che, sulla base di specifiche ipotesi ed all'interno di un determinato campo di applicabilità, permette di interpretare in maniera semplice una situazione che, spesso, è fisicamente complessa. Sono stati suggeriti da vari Autori diversi indici che l'ASHRAE ha classificato in *indicatori diretti* (ottenibili mediante operazioni di misura), *indicatori derivati razionalmente* (ottenuti con relazioni tra grandezze direttamente misurate e con un campo di applicazione più rigido rispetto agli altri tipi di indice) ed *indici empirici* (che stabiliscono una correlazione tra parametri ambientali e sensazioni). Riportiamo nella tabella VIII gli indicatori sintetici più utilizzati per la valutazione degli ambienti termici moderati.

Tabella VI. Tabella per la registrazione dei punteggi attribuiti dai lavoratori sulla situazione termica attuale (Tratto dalla ISO 15256:2005)

Parametri	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+2	+3
Temperatura dell'aria							
Umidità	—	—					—
Radiazione termica	—	—					
Ventilazione	—						—
Carico di lavoro fisico	—	—	—				
Vestiario	—	—	—				
Opinione dei lavoratori							

Tabella VII. Questionario proposto dallo Standard ASHRAE 55:2013 (modificato)

1) Registra la temperatura dell'aria esterna approssimativa.....e segna la stagione in corso:
 inverno primavera estate autunno

2) Indica con una "x" la tua postazione di lavoro (deve essere inserito il grafico dell'ambiente di lavoro specifico)

3) In quale piano dell'edificio si trova il tuo ambiente di lavoro?
 piano terra primo piano secondo piano terzo piano altro.....

4) La tua postazione di lavoro è a meno di 4,5 metri da un muro esterno?
 si no

5) La tua postazione di lavoro è a meno di 4,5 metri da una finestra?
 si no

6) Usando la lista seguente, segna per favore ogni componente del vestiario che adesso stai indossando.
 mutande (0,03 clo) mutande lunghe (0,1 clo) maglietta (0,09 clo) camicia (maniche corte (0,15 clo) camicia leggera a maniche lunghe (0,2 clo) camicia normale a maniche lunghe (0,25 clo) camicia di flanella a maniche lunghe (0,3 clo) golfino leggero a maniche lunghe (0,15 clo) pantaloni leggeri (0,2 clo) pantaloni normali (0,25 clo) pantaloni di flanella (0,28 clo) gonna leggera estiva (0,15 clo) gonna pesante invernale (0,25 clo) gilet (0,12 clo) maglione leggero (0,2 clo) maglione (0,28 clo) maglione pesante (0,35 clo) giacca leggera estiva (0,25 clo) giacca (0,35 clo) calze di nylon (0,03 clo) calzini corti pesanti (0,05 clo) calzini lunghi pesanti (0,1 clo) scarpe con soles sottili (0,02 clo) scarpe con soles pesanti (0,04 clo)

7) Qual è il tipo di attività che adesso stai effettuando?
 lavoro sedentario da seduto In piedi rilassato leggera attività svolta in piedi attività media svolta in piedi attività pesante sdraiato altro (non compreso nelle voci precedenti).....

8) Su quale dei seguenti riesci ad avere un controllo diretto?
 climatizzatore a parete split climatizzatore portatile termoconvettore portatile termosifone portatile porta interna porta di ingresso (esterna) prese d'aria al muro o al soffitto regolabili ventilatore a soffitto ventilatore (diffusore) a pavimento regolabile ventilatore portatile termostato dell'impianto centralizzato finestra apribile nessuno di questi altro.....

Per favore rispondi alle domande seguenti basandoti sulla tua esperienza relativa agli ultimi 6 mesi (fai una media e dai un punteggio complessivo):

9) Qual è la tua sensazione termica generale?
 molto caldo caldo leggermente caldo neutrale leggermente freddo freddo molto freddo

10) Quanto sei soddisfatto della temperatura nel tuo ambiente di lavoro?
 Molto soddisfatto molto insoddisfatto

11) Se sei insoddisfatto della temperatura nel tuo ambiente, specifica nelle risposte seguenti le ulteriori informazioni sulla tua insoddisfazione:
 sempre troppo caldo spesso troppo caldo occasionalmente troppo caldo occasionalmente troppo freddo spesso troppo freddo sempre troppo freddo

12) Se fuori fa fresco/freddo la temperatura nel mio ambiente di lavoro è:
 sempre troppo caldo spesso troppo caldo occasionalmente troppo caldo occasionalmente troppo freddo spesso troppo freddo sempre troppo freddo

13) Quando il problema è più frequente?
 mattina (prima delle 11) tarda mattinata (dalle 11 alle 14) pomeriggio (dalle 14 alle 17) tardo pomeriggio (dopo le 17) nei weekend/periodi di vacanze il lunedì mattina non c'è un momento particolare sempre altro

14) Quale di queste potrebbe essere la causa del tuo discomfort termico? (puoi segnare più di una causa) umidità troppo elevata umidità troppo bassa elevata movimentazione dell'aria bassa movimentazione dell'aria calore solare che entra nell'ambiente calore generato dall'attrezzatura dell'ufficio correnti d'aria fredda provenienti dalle finestre correnti d'aria fredda provenienti dai diffusori area di lavoro più calda o fredda delle altre termostato inaccessibile termostato controllato da altre persone tipo di vestiario non o poco adattabile sistema di condizionamento/riscaldamento che non risponde bene al termostato superfici dell'ambiente di lavoro calde/fredde (pavimento, tetto, muri o finestre) mancanze di finestre (apribili) altro

15) Per favore descrivi ogni altro eventuale aspetto correlato alla sensazione termica di "provare troppo caldo o troppo freddo" nel tuo ambiente di lavoro

Tabella VIII. *Classificazione degli indicatori di comfort termico*

Categoria di indicatore	Tipo di indicatore
Indicatori diretti	Temperatura dell'aria (Ta) in °C
	Velocità dell'aria (Va) in m/s
	Umidità dell'aria (RH) in %
Indicatori derivati razionalmente	Temperatura operativa (To) in °C
Indicatori empirici	PMV/PPD

Gli indicatori diretti e gli indicatori derivati

Gli indicatori diretti principali sono la temperatura dell'aria, la velocità dell'aria e l'umidità relativa. Uno degli indicatori più utilizzati, invece, è la temperatura operativa, che è un indicatore derivato: esso, in caso di lavoro sedentario e senza esposizione diretta ai raggi solari, con una velocità media dell'aria inferiore a 0,20 m/s, corrisponde all'incirca alla media tra la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante. Sia gli indicatori diretti sia quelli derivati possono dare informazioni utili in fase di progettazione e di controllo del funzionamento degli impianti di condizionamento. A tal proposito, mentre i rigidi valori indicati dal DPR n. 74/2013 si riferiscono specificamente alla temperatura dell'aria (34), la norma tecnica UNI EN 15251 (32) specifica che in presenza di ambienti nei quali siano presenti vaste superfici la cui temperatura differisce sensibilmente da quella dell'aria, come temperatura di progetto dovrebbe essere utilizzata la temperatura operativa. Secondo tale norma negli edifici dotati di impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria ("HVAC") la temperatura operativa di progetto dovrebbe essere scelta in base alla qualità termica dell'edificio (classi di qualità decrescente da 1 a 3). La norma UNI EN ISO 7730 descrive i valori di temperatura operativa ottimali per tipologia di attività e categoria di comfort (vedi tabella IX) considerando anche le eventuali modifiche legate al vestiario con una tabella di calcolo specifica; inoltre, viene riportata una tabella per il calcolo del PMV attraverso la combinazione della temperatura operativa, dell'indice di isolamento termico relativo al vestiario indossato e della velocità dell'aria misurata.

Gli indicatori empirici di comfort globale: il metodo PMV/PPD

Il metodo più conosciuto per la valutazione di un ambiente termico moderato è comunque quello basato sugli indici di Fanger "PMV/PPD". Tale metodo, standardizzato

sia dalla ISO 7730 sia dall'ASHRAE 55 (che nel 2004 abbandona gli indici ET e CET), è finalizzato alla valutazione del "comfort termico di tipo globale" attraverso una previsione basata su parametri ambientali misurati con una stazione microclimatica (temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria ed umidità relativa) e parametri individuali stimati dal valutatore (isolamento termico del vestiario ed attività metabolica legata all'attività lavorativa). Secondo quanto riportato dalla ISO 7730:2006 tale metodo è applicabile "sia a uomini sia a donne in buona salute esposti ad ambienti indoor dove il comfort termico sia desiderabile, limitatamente a situazioni nelle quali esistono moderate deviazioni dalle condizioni di comfort termico". Inoltre può essere usato "solo per valori di PMV compresi tra -2 e +2 e quando i sei parametri che intervengono nella sua determinazione sono compresi all'interno di opportuni intervalli" definiti dalla stessa norma.

L'indice PMV (Predicted Mean Vote - voto medio previsto) rispecchia, pertanto, l'influenza delle variabili fisiche e fisiologiche sul comfort termico. Esso deriva dall'equazione del bilancio termico il cui risultato viene rapportato ad una scala di sensazione termica a 7 punti, che va da -3 "molto freddo" a +3 "molto caldo" (vedi tabella X) ed esprime il parere medio previsto ("voto medio previsto") delle sensazioni termiche di un campione di soggetti allocati nel medesimo ambiente. Un secondo indice denominato PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied-Percentuale prevista di insoddisfatti) quantifica percentualmente i soggetti "insoddisfatti" ed è correlato all'indice PMV secondo una caratteristica curva (vedi figura 1). Secondo la ISO 7730:2006 affinché vi sia una situazione di "accettabilità termica" da parte della maggior parte dei presenti, il limite massimo di PMV calcolato deve essere $\pm 0,7$ per corrispondere ad una percentuale di insoddisfatti (PPD) $\leq 15\%$. Significa in altre parole che anche nella si-

Tabella IX. *Valori ottimali di temperatura operativa per il raggiungimento del comfort termico negli uffici. (Tratto dalla ISO 7730:2006)*

Categoria	Inverno	Estate
	To (°C)	To (°C)
A	22 ± 1	24,5 ± 1
B	22 ± 2	24,5 ± 1,5
C	22 ± 3	24,5 ± 3

Tabella X. *Scala di sensazione termica a sette punti (Tratto dalla ISO 7730:2006)*

+ 3	Molto caldo
+ 2	Caldo
+ 1	Abbastanza caldo
0	Né caldo né freddo
- 1	Abbastanza freddo
- 2	Freddo
- 3	Molto freddo

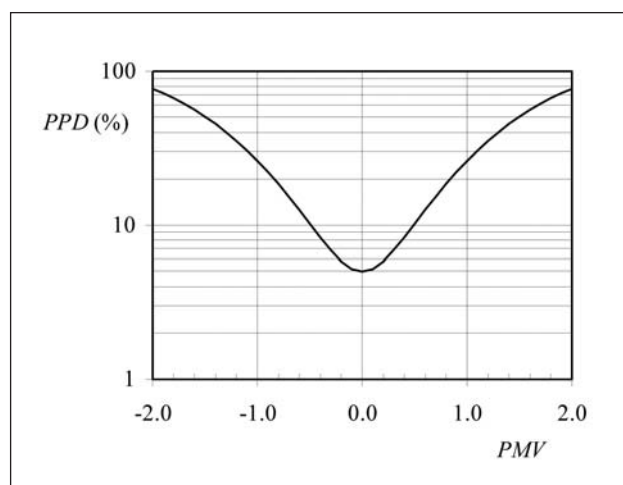


Figura 1. Correlazione tra PMV e PPD secondo il modello di Fanger

tuazione migliore, vi sarà sempre un certo numero di persone insoddisfatte: con un PMV pari a 0, infatti, il PPD sarà pari al 5%. La norma individua, infine, tre categorie di ambienti di lavoro a qualità termica decrescente da “A” a “C” (vedi tabella XI).

Gli indicatori empirici di comfort locale: gli indici DR/PD

La norma ISO 7730: 2006 descrive anche quattro specifici fattori di discomfort di tipo “locale”, la cui assenza è indispensabile per garantire il comfort termico dell’individuo: 1) correnti d’aria; 2) elevata asimmetria media radiante; 3) pavimento troppo caldo o troppo freddo; 4) elevata differenza verticale di temperatura.

Correnti d’aria (la percentuale di persone insoddisfatte per tale fattore di discomfort è espressa come DR%)

La corrente d’aria è definita dalla norma tecnica come “un indesiderato raffreddamento locale del corpo umano, causato dal movimento dell’aria”. È un problema delicato soprattutto negli ambienti provvisti di impianti di climatizzazione. La sensazione di discomfort è determinata dal valore medio della velocità dell’aria, dalla sua intensità di turbolenza (misurata come il rapporto tra il valore della deviazione standard ed il valore della velocità media dell’aria), dalla sua temperatura (il discomfort aumenta con il diminuire della temperatura dell’aria), dalla zona del corpo investita (le zone più sensibili sono testa, collo,

spalle e caviglie) e dall’attività del soggetto (la sensibilità delle persone diminuisce con l’intensificarsi dell’attività).

Elevata asimmetria media radiante (la percentuale di persone insoddisfatte per tale fattore di discomfort è espressa come PD %)

L’elevata asimmetria media radiante corrisponde alla differenza tra temperature piane radianti e può essere di tipo orizzontale (parete verticale calda o fredda) o verticale (soffitto caldo o freddo). Tale tipologia di discomfort si verifica soprattutto in inverno e la causa è data, di solito, dalla presenza di una o più superfici esterne vetrate o di un impianto di riscaldamento a soffitto.

Pavimento troppo caldo o troppo freddo (la percentuale di persone insoddisfatte per tale fattore di discomfort è espressa come PD %)

Tale tipologia di discomfort è influenzata soprattutto dal tipo di scarpe e di calze indossate dalla persona.

Elevata differenza verticale di temperatura (la percentuale di persone insoddisfatte per tale fattore di discomfort è espressa come PD %)

Generalmente, poiché l’aria calda tende a salire, negli ambienti chiusi si può verificare una differenza (“gradiente”) verticale della temperatura dell’aria che può comportare fastidio soprattutto quando i soggetti avvertono più caldo alla testa e più freddo ai piedi.

La norma ISO 7730 tratta gli indici DR/PD, ne definisce i limiti, individuando anche per essi tre categorie a qualità termica decrescente da A a C (vedi tabella XI).

I metodi di valutazione secondo lo Standard ASHRAE 55:2013

Lo Standard americano 55:2013 introduce un elemento di novità rispetto alla ISO 7730: esso prevede l’utilizzo di differenti metodi di valutazione del comfort termico la cui scelta dipende dal tipo di “condizionamento” presente nell’ambiente oggetto di valutazione (vedi tabella XII). Infatti, se l’edificio è provvisto di sistemi meccanici di condizionamento (HVAC systems) si deve utilizzare il metodo PMV/PPD, se invece l’edificio non è dotato di tali sistemi ed il condizionamento avviene in maniera “naturale” attraverso l’apertura delle finestre “sotto il diretto controllo delle persone presenti”, allora si applica il metodo di valutazione di tipo “adattivo”, basato sul principio di “adattività” che oggi è uno dei temi di punta della ricerca sul comfort termico.

Tabella XI. Categorie di “qualità termica” per la valutazione del comfort globale o locale (Tratto dalla ISO 7730:2006)

Categoria	Stato termico del corpo nel suo complesso		Disagio locale			
	PPD %	PMV	DR (correnti d’aria) %	PD % causato da		
				Differenza verticale di temperatura dell’aria	Pavimento caldo o freddo	Asimmetria radiante
A	< 6	$-0,2 < PMV < + 0,2$	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	$-0,5 < PMV < + 0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	$-0,7 < PMV < + 0,7$	< 30	< 10	< 15	< 10

NB: i valori di DR e PD raccomandati dallo Standard ASHRAE 55:2013 corrispondono invece a quelli indicati nella “categoria B” nella ISO 7730:2006.

Tabella XII. *Classificazione delle metodologie di valutazione in base al tipo di edificio*

Tipo di edificio	Metodo di valutazione per il comfort termico
EDIFICI CONDIZIONATI CON SISTEMI MECCANICI HVAC	METODO "COMFORT ZONE": GRAFICO O ANALITICO (incluso nel software "ASHRAE Thermal Tool")
EDIFICI PRIVI DI SISTEMI MECCANICI HVAC (EDIFICI "NATURALMENTE CONDIZIONATI")	METODO ADATTIVO (incluso nel software "ASHRAE Thermal Tool")
EDIFICI CON MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO MISTO (DAL PUNTO DI VISTA SPAZIALE E/O TEMPORALE)	NESSUNA CHIARA INDICAZIONE*

* Secondo lo Standard Europeo EN 15251 (13) in caso di edificio con modalità di funzionamento misto è consigliabile l'utilizzo del metodo adattivo.

La valutazione del comfort in edifici dotati di "HVAC systems"

Lo Standard ASHRAE 55 prevede due metodi di valutazione finalizzati all'individuazione di una "fascia o zona di comfort" corrispondente ad un PMV pari a $\pm 0,5$ e ad una PPD pari all'80% della popolazione presente. Infatti tale Standard include comunque la "previsione" di un 10% di insoddisfatti per i fattori di discomfort di tipo localizzato per cui un PMV pari a $\pm 0,5$ corrisponderà ad un PPD pari all'80% dei presenti e non al 90% previsto invece dalla ISO 7730. Per la valutazione di edifici forniti di "HVAC systems", lo Standard propone due metodi specifici: il "comfort zone method" di tipo grafico e quello di tipo analitico. Per applicare il "comfort zone method" di tipo grafico è necessario che gli individui che occupano l'ambiente abbiano un indice metabolico per il lavoro svolto $> 1 < 1,3$ met ed un isolamento termico del vestiario $> 0,5 < 1$ clo. Inoltre la velocità dell'aria deve essere inferiore a 0,20 m/s e non devono essere superati determinati tassi di umidità. Se i suddetti criteri sono rispettati si possono individuare in un grafico due aree di benessere, una per la stagione invernale ed una per quella estiva (con la possibilità di situazioni intermedie in base al vestiario utilizzato). Ogni "fascia" prevede un determinato range di temperatura operativa necessario a garantire il comfort termico per l'80% dei presenti. Per applicare il "comfort zone method" di tipo analitico, invece, gli individui presenti devono avere un indice metabolico per l'attività svolta $> 1 < 2$ met ed un isolamento termico del vestiario $< 1,5$ clo. Inoltre la velocità dell'aria deve essere $< 0,20$ m/s e non devono essere superati determinati tassi di umidità. Se tali criteri sono

rispettati si utilizzano gli indici PMV/PPD con un modello di calcolo fornito dall'ASHRAE ("ASHARE Thermal Comfort Tool"), simile a quello della ISO 7730. Nel caso in cui gli ambienti presentino una velocità dell'aria $> 0,20$ m/s, inoltre, è prevista l'applicazione di un modello supplementare ("Set Model") da integrare sia al "metodo grafico" sia a quello "analitico": ad ogni aumento della velocità dell'aria corrisponderà una variazione del range ottimale di temperatura operativa (Top). Nell'applicazione del "Set Model" possono essere inoltre individuati due percorsi differenti in base alla possibilità che i presenti hanno o meno di controllare la velocità dell'aria (vedi figura 2). Infine, secondo lo Standard ASHRAE 55: 2013, per garantire il comfort termico dell'individuo devono essere evitati gli sbalzi termici. Perciò è necessario il monitoraggio delle fluttuazioni temporali della temperatura operativa: per periodi < 15 minuti non ci devono essere tra i picchi massimi differenze $> 1,1$ °C; per variazioni non cicliche della Top o per variazioni cicliche che avvengono in periodi di tempo > 15 minuti devono essere rispettati altri specifici requisiti (vedi tabella XIII).

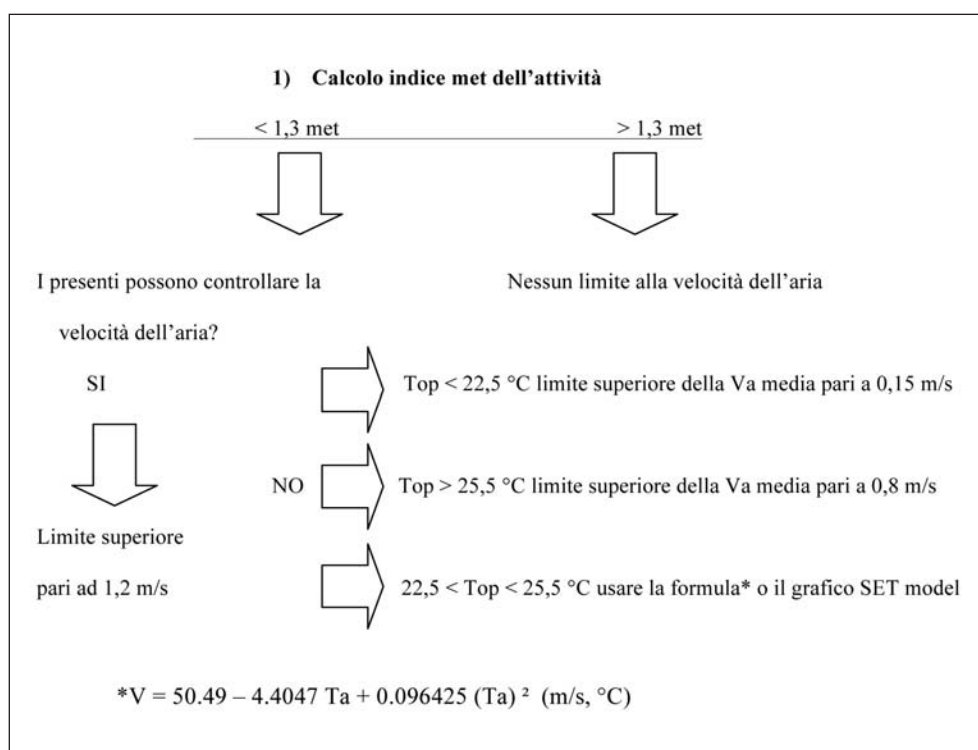


Figura 2. Flow chart del Set Model (Tratto dallo Standard ASHRAE 55:2013)

Tabella XIII. Limiti previsti per le variazioni non cicliche della Top o per le variazioni cicliche superiori a 15 minuti

Periodo temporale	15 minuti	30 minuti	1 ora	2 ore	4 ore
Variazione di Top massima consentita espressa in °C	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3

La valutazione del comfort in edifici “condizionati in modo naturale”

Secondo lo Standard ASHRAE 55, per valutare il comfort termico in edifici “condizionati in modo naturale” deve essere applicato il modello di tipo “adattivo”. Tale metodo si basa sul principio dell’adattamento grazie al quale gli individui possono agire in modo attivo sul proprio ambiente termico modificandolo con modalità di tipo “adattivo”. Secondo tale modello, infatti, il comfort termico dipende in parte dalle condizioni climatiche 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 è stato definito come quel processo di graduale diminuzione delle reazioni individuali agli stimoli ambientali determinato dalla convinzione consapevole o inconscia da parte del soggetto di poter svolgere un ruolo attivo nella creazione delle condizioni termiche ottimali intervenendo sull’ambiente. Sono stati descritti tre “tipologie di adattamento” che si basano comunque su variabili soggettive dell’individuo: 1) *comportamentale* (consapevole o meno e può essere suddiviso in personale, tecnologico e culturale); 2) *fisiologico*; 3) *psicologico* (le esperienze pregresse e le aspettative modificano la percezione degli stimoli sensoriali e la conseguente reazione dell’individuo). Conterebbero anche le differenze 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). Perciò possono essere applicate condizioni più ampie di accettabilità termica agli ambienti caldi in spazi controllati dagli occupanti, naturalmente condizionati, in regioni climatiche calde o durante i periodi caldi, dove le condizioni termiche nello spazio sono regolate essenzialmente dagli occupanti mediante l’apertura e chiusura delle finestre” (7).

Il modello adattivo realizzato dallo Standard ASHRAE 55:2013 può essere applicato quando nell’ambiente esaminato non sono presenti sistemi meccanici di condizionamento (HVAC systems): è comunque ammessa la presenza di sistemi di ventilazione meccanica purchè non associati al “condizionamento” dell’aria. L’impianto di riscaldamento non deve essere in funzione nel momento in cui si effettua la valutazione col metodo adattivo; inoltre l’indice metabolico degli individui presenti deve essere $> 1 < 1,3$ met, gli individui devono essere liberi di modificare il proprio vestiario (purchè l’indice di isolamento termico si mantenga $> 0,5 < 1$ clo); infine la temperatura esterna media prevalente deve essere $> 10 < 33,5$ °C e la velocità dell’aria deve essere $< 0,2$ m/s (se superiore si applica il “Set Model”). Se i suddetti criteri di applicabilità sono rispettati, devono essere misurate/calcolate la temperatura operativa indoor e la temperatura esterna media prevalente per essere elaborate attraverso un’equazione rappresentabile in un grafico (vedi figura 3) che serve ad individuare, in base alla temperatura media esterna prevalente “Tmda (out)”, un range di temperatura operativa “Top” indoor ottimale che garantisce l’accettabilità termica per almeno l’80% dei presenti. L’equazione descritta è la seguente:

$$\text{Limite di Top superiore} = 0,31 \times T_{mda}(\text{out}) + 21,3$$

$$\text{Limite di Top inferiore} = 0,31 \times T_{mda}(\text{out}) + 14,3$$

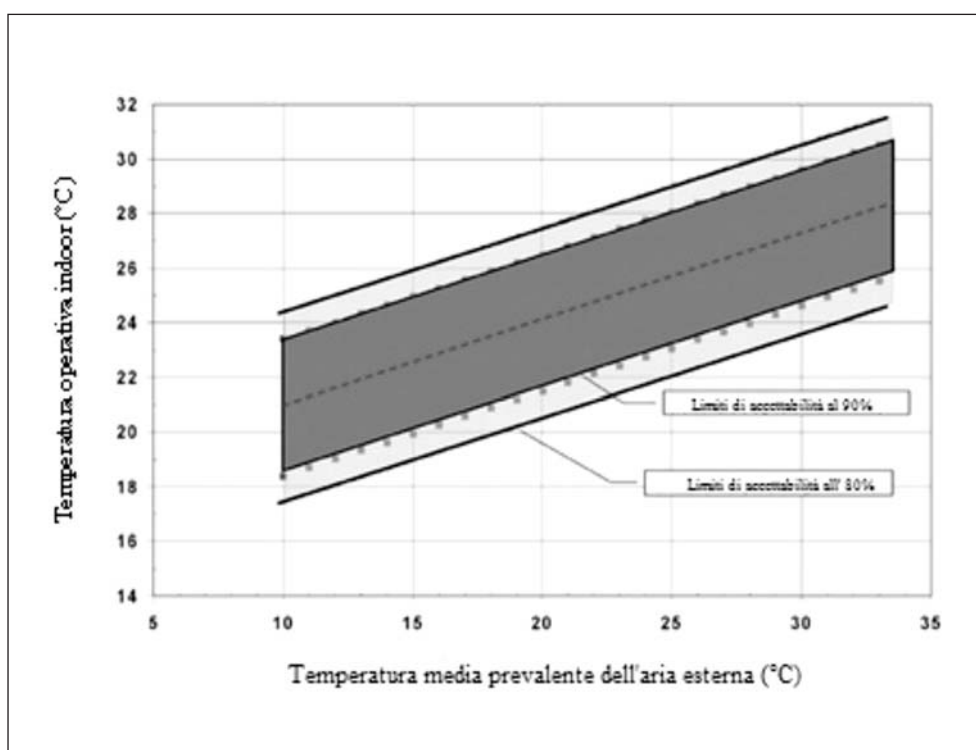


Figura 3. Grafico del Metodo Adattivo (Tratto dallo Standard ASHRAE 55:2013)

Se si applica la metodologia di comfort adattivo inoltre non è necessaria la valutazione specifica dei quattro fattori di discomfort di tipo “localizzato”.

Lo Standard indica inoltre la possibilità di incrementare il limite superiore della Top in caso di aumento della velocità dell’aria e specifica le formule per calcolare la temperatura media esterna prevalente che viene definita come la media aritmetica delle temperature medie esterne misurate o registrate in un arco temporale di “x” giorni antecedenti al giorno in cui si effettua la valutazione. Gli “x” giorni da considerare vanno da un minimo di 7 ad un massimo di 30, mentre non è previsto alcun limite massimo quando si utilizza un fattore di ponderazione da applicare alle temperature esterne compreso tra 0,9 e 0,6, finalizzato a dare “meno peso” ai giorni più distanti ed a tener conto delle differenze di escursione termica tra i climi temperati e quelli equatoriali.

Proposta di un modello strategico per la valutazione del rischio e conclusioni

La valutazione del “comfort termico” negli ambienti di lavoro di tipo “moderato” è un tema fino ad oggi poco approfondito, nonostante il D.Lgs 81/08 abbia normato il “microclima” come fattore di rischio tra gli agenti fisici, anche in considerazione del recepimento del nuovo concetto di salute dato dall’OMS (art. 2 c. 1 lettera o del D.Lgs 81/08: la salute è “uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale, non consistente solo in un’assenza di malattia o d’infermità”). Nell’attesa che Commissione Consultiva Permanente validi, come auspicato dal Coordinamento Tecnico Interregionale, delle buone prassi finalizzate alla valutazione degli ambienti microclimatici di tipo “moderato”, con questo studio abbiamo elaborato una strategia di valutazione del rischio partendo dalla normativa vigente, dalle norme tecniche e dalle linee guida esistenti sull’argomento. Crediamo, infatti, che essa possa costituire uno strumento utile per il datore di lavoro e le altre figure interessate alla sicurezza nei luoghi di lavoro, in considerazione della frammentarietà della normativa tecnica e della genericità delle indicazioni provenienti dalla normativa vigente. Tale strategia valutativa dovrebbe prevedere una fase di valutazione preliminare, sempre necessaria, che consiste nella semplice “osservazione” degli ambienti di lavoro attraverso l’uso di check lists osservative e/o questionari da somministrare ai lavoratori. Ove da tale fase emergessero criticità che non possono essere risolte con semplici misure correttive, si passerebbe alla valutazione approfondita per l’“analisi” del problema che prevede l’utilizzo di misurazioni strumentali da finalizzare all’individuazione degli interventi correttivi necessari. Le misurazioni strumentali consistono nella misurazione e nel calcolo degli indici di comfort che devono essere confrontati con i vari limiti o range raccomandati dalle norme tecniche. Gli indici di comfort più comuni sono quelli basati sugli indici di Fanger (PMV/PPD) da utilizzare nella valutazione di ambienti forniti di impianti di condizionamento (HVAC systems) mentre il modello di tipo “adattivo” sarebbe da ap-

plicare alla valutazione del comfort termico in “edifici naturalmente condizionati”. A tal proposito l’ASHRAE ha realizzato un software per l’utilizzo pratico del metodo “adattivo”: viene graficamente individuata una “fascia o area di benessere termico”, mediante un’equazione che correla la temperatura operativa indoor alla temperatura media dell’aria esterna del luogo in cui l’edificio è stato costruito. Naturalmente questionari di tipo “soggettivo” e misure strumentali possono essere utilizzati anche in combinazione tra di loro, non solo come strumento di analisi ma anche di ricerca.

Bibliografia

- 1) Alfano G, Cirillo E, d’Ambrosio FR, et al. Proposta di questionario per la valutazione soggettiva del benessere termoigrometrico. Atti del V Congresso Nazionale S.I.E, 1993, D2, Palermo.
- 2) Alfano G, D’Ambrosio FR, Riccio G. La valutazione delle condizioni termoigrometriche negli ambienti di lavoro: comfort e sicurezza, Cuen editore, Napoli, 1997.
- 3) ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- 4) 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.
- 5) Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e Province Autonome in collaborazione con l’ISPESL e l’Istituto Superiore di Sanità. (2009). Documento n.1/2009. Indicazioni operative sul 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.
- 6) D’Ambrosio Alfano FR, Liotti F. La qualità degli ambienti confinati non industriali: il discomfort termo igrometrico. G Ital Med Lav Erg 2004; 26,4: 401-415.
- 7) de Dear R, Brager G. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. ASHRAE Transactions 1998; 104 (1): 145-67.
- 8) D.Lgs 81/08. Titolo II, Titolo VIII Capo I ed Allegato IV.
- 9) D.P.R. n. 74/2013 pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 149 del 27/6/2013.
- 10) Engvall K, Norrby C, Norbäck D. Ocular, airway, and dermal symptoms related to building dampness and odors in dwellings. Arch Environ Health 2002; 57, 4: 304-10.
- 11) 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.
- 12) Fanger PO, Robert E. Krieger, Malabar, FL. Thermal Comfort, 1982.
- 13) Frankel M, Bekó G, Timm M, et al. Seasonal variations of indoor microbial exposures and their relation to temperature, relative humidity, and air exchange rate. Appl Environ Microbiol 2012; 78, 23: 8289-97.
- 14) Gagge AP, Nevins RG. 1976. Effect of energy conservation guidelines on comfort, acceptability and health. Final Report of Contract, Federal Energy Administration.
- 15) Istituto Superiore di Sanità. (2013). Strategie di monitoraggio dell’inquinamento di origine biologica dell’aria in ambiente indoor. Rapporti IstiSan 13/37 disponibile all’indirizzo www.iss.it/binary/publ/cont/ (ultimo accesso il 12-08-2015).
- 16) Jurado SR, Bankoff ADP, Sanchez A. Indoor Air Quality in Brazilian Universities. Int J Environ Res Public Health 2014; 11: 7081-7093.
- 17) Lenzuni P, Freda D, Del Gaudio M. Classification of thermal environments for comfort assessment. Ann Occup Hyg 2009; 53, 4: 325-32.
- 18) Magnavita N. Sorveglianza sanitaria dei lavoratori che operano in ambienti confinati. Applicazione della versione italiana del questionario MM040/IAQ. Med Lav 2014; 105, 2: 174-186.

- 19) Malchaire JB. The SOBANE risk management and the Dèparis method for the participatory screening of the risks, accessibile all'indirizzo <http://www.deparisnet.be/> (ultimo accesso il 12-08-2015).
- 20) Malchaire JB. Stratégie générale de gestion des risques professionnels. Illustration dans le cas des ambiances thermiques au travail-Hygiène et sécurité du travail. N 186, 1 trimestre 2002.
- 21) Maula H, Hongisto V, Östman L, et al. The effect of slightly warm temperature on work performance and comfort in open-plan offices-a laboratory study. *Indoor Air* 2015 Apr 10. DOI: 10.1111/ina.12209
- 22) Melikov AK, Skwarczynski MA, Kaczmarczyk J, et al. Use of personalized ventilation for improving health, comfort, and performance at high room temperature and humidity. *Indoor Air* 2013; 23, 3: 250-63.
- 23) Nordstrom K, Norback D, Akseleson R. Effect of air humidification on the sick building syndrome and perceived indoor air quality in hospitals: a four month longitudinal study. *Occup Environ Med* 1994; 51: 683-688.
- 24) Noti JD, Blachere FM, McMillen CM, et al. High umidity leads to loss of infectious influenza virus from simulated coughs. *PLOS* 2013; 8, 2: 1-8.
- 25) Reinikainen LM, Jaakkola JJ. Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. *Indoor Air* 2003; 13, 4: 344-52.
- 26) Sumedha MJ. The Sick Building Syndrome. *Indian J Occup Environ Med* 2008; 12, 2: 61-64.
- 27) UNI EN ISO 10551. (2002). Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dell'influenza dell'ambiente termico mediante scale di giudizio soggettivo.
- 28) UNI EN ISO 7726. (2002). Ergonomia degli ambienti termici - Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche.
- 29) UNI EN ISO 13731. (2004). Ergonomia degli ambienti termici - Vocabolario e simboli.
- 30) UNI EN ISO 15265. (2005). Ergonomia dell'ambiente termico - Strategia di valutazione del rischio per la prevenzione dello stress o del disagio termico in condizioni di lavoro.
- 31) 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.
- 32) 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.
- 33) Wyon P. Sick building and the experimental approach. *Environ Technol* 1992; 13: 313-322.
- 34) Chirico F. What's new about thermal comfort in the Italian law? A comparison of the Dpr n. 74/2013 and the technical standards Uni En Iso. *Med Lav* 2015; 106, 6: 472-474.

Corrispondenza: Dott. Francesco Chirico, Centro Sanitario Polifunzionale Milano, Health Service of State Police, Ministry of Interior (Italy) - Via Umberto Cagni 21, 20162 Milano, Italy, Tel. 3346904194, E-mail: medlavchirico@gmail.com