



Università degli Studi di Padova
Servizio di Prevenzione e Protezione

IL MICROCLIMA E LA VENTILAZIONE

SOMMARIO

	Pag.
1. PREMESSA.....	3
2. IL MICROCLIMA E L'UOMO.....	3
2.1. CONDIZIONI CLIMATICHE FREDDE	3
2.2. CONDIZIONI CLIMATICHE CALDE ED ESTREMAMENTE CALDE	4
2.3. IL TEMPO DI ESPOSIZIONE	4
2.4. I SINTOMI DELLO STRESS DA CALORE	4
2.5. LA SUDORAZIONE E L'ASSUNZIONE DI CIBI E BEVANDE	4
2.6. IL CONTROLLO MEDICO	5
2.7. IL COMFORT O BENESSERE TERMICO	5
3. LA VALUTAZIONE DEL MICROCLIMA	6
3.1. INDICI PER LA VALUTAZIONE DEL COMFORT	7
3.2. INDICI PER LA VALUTAZIONE DELLO "STRESS DA CALORE"	7
4. L'INDAGINE AMBIENTALE	8
5. MEZZI DI PREVENZIONE E PROTEZIONE	9
6. SISTEMI TECNICI DI CONTROLLO	10
6.1. RISCALDAMENTO	10
6.2. VENTILAZIONE GENERALE	10
6.3. ASPIRAZIONE LOCALIZZATA.....	12
7. NORME DI LEGGE E RACCOMANDAZIONI	13
7.1 - LEGISLAZIONE.....	13
7.2. RACCOMANDAZIONI	13

1. PREMESSA

Per microclima s'intende l'insieme delle caratteristiche climatiche (temperatura, umidità, velocità dell'aria, ecc.) di un ambiente chiuso (in particolare un ambiente di lavoro). Tali caratteristiche hanno importanza, da un lato, per lo stato di salute e di benessere dei lavoratori e, dall'altro, per il regolare andamento del processo tecnologico.

Il controllo delle condizioni microclimatiche, attraverso i sistemi di ventilazione, s'integra di solito anche con l'aspirazione e/o diluizione degli inquinanti atmosferici presenti sul posto di lavoro. Si è quindi ritenuto opportuno inserire in questo capitolo qualche cenno su tale argomento.

2. IL MICROCLIMA E L'UOMO

L'uomo, è un motore termico con un'efficienza di circa il 20 per cento; può essere paragonato ad un motore a quattro tempi da 50 cc con un sistema di raffreddamento piuttosto inefficiente che limita le prestazioni d'elevata potenza ad un periodo molto breve. C'è un'importante differenza: non lo si può fermare.

Anche in stato di riposo, o nel sonno, un uomo continua a "girare al minimo" e sebbene non faccia nessun lavoro evidente continua a generare una notevole quantità di calore, abbastanza da innalzare la sua temperatura corporea di 1°C l'ora, se fosse perfettamente isolato. Il calore metabolico disperso è di circa 70 watt durante il riposo e 700 watt durante un lavoro fisico pesante. La massima produzione di calore metabolico è di circa 1400 watt per esercizi faticosi su breve periodo. La capacità di lavoro di un maschio giovane e in buona salute varia da 400 watt in mezz'ora (competizione ciclistica) a 2000 watt per lo scatto di una corsa di 100 metri.

E' ovvio che il corpo deve eliminare questo calore. In un motore a benzina il calore può essere eliminato dal motore mediante un getto d'aria fredda sul motore o sul radiatore; è questo un raffreddamento per convezione.

Una piccola quantità di calore è perduta attraverso l'irraggiamento. Il motore è abbastanza indifferente alla temperatura a cui lavora: funziona benissimo ad una temperatura di 80-90 °C ma può funzionare ancora quando la temperatura è prossima al punto di congelamento o, nel caso di un motore raffreddato ad aria, anche oltre la temperatura d'ebollizione dell'acqua. In altre parole può funzionare ad una temperatura di oltre 100 °C.

L'uomo, invece, deve funzionare ad una temperatura corporea tra 35,8 e 37,7 °C: un'oscillazione di solo 1,9 °C perché si tratta di una temperatura critica. Il sistema di regolazione della temperatura è assai complesso; la quantità di sangue pompato alla superficie della pelle cresce quando la temperatura aumenta, diminuisce quando la temperatura corporea scende. Il corpo può eliminare calore in vari modi: per conduzione (trascurabile a meno che non ci si trovi su una superficie fredda o immersi in un bagno gelato); per irraggiamento, cioè irraggiando calore verso oggetti più freddi nelle vicinanze, per convezione, quando una corrente d'aria fredda passa sul corpo, e mediante l'evaporazione del sudore prodotto in ambiente molto caldo.

L'effetto raffreddante del sudore è notevole: evaporare 100 cc di sudore ha lo stesso effetto di raffreddamento procurato dall'ingestione di 0,5 kg di ghiaccio o di litri 1,6 d'acqua gelata.

Il calore complessivo generato durante una camminata a 3 km/h può essere eliminato, in estate, evaporando sudore al ritmo di 150 cc l'ora; in condizioni climatiche fredde questo calore sarebbe eliminato per irraggiamento e convezione senza che avvenga alcuna percettibile sudorazione.

2.1. CONDIZIONI CLIMATICHE FREDE

In condizioni climatiche fredde non c'è nessuna difficoltà nel perdere calore; spesso il problema è com'evitare di perderne troppo. Le perdite di calore possono essere ridotte indossando idonei indumenti o riscaldando l'ambiente. Le coperte termiche alluminizzate possono mantenere la temperatura corporea in condizioni di freddo estremo ad un livello accettabile riducendo la perdita di calore dal corpo; infatti, il corpo in condizioni di riposo genera abbastanza calore da innalzare la sua temperatura di 1 °C ogni ora, come già accennato.

Se la temperatura corporea scende al di sotto di un livello minimo accettabile, allora inizia il brivido, azione muscolare che produce calore e quindi riscalda il corpo. Il brivido naturalmente deve essere considerato un segnale di avvertimento e si dovrebbe subito intraprendere un'azione di riscaldamento del corpo che può consistere in esercizi fisici, nell'indossare più indumenti o nello spostarsi in ambiente più caldo.

2.2. CONDIZIONI CLIMATICHE CALDE ED ESTREMAMENTE CALDE

Cosa succede quando il corpo si riscalda? Più sangue è pompato in superficie, la pelle diviene più calda e più calore può essere eliminato per convezione o irraggiamento, poi comincia la sudorazione. Un efficace raffreddamento richiede che il sudore evapori sulla pelle, che non goccioli sul corpo e che non sia assorbito dagli indumenti. Se il grado di umidità è elevato, allora è necessaria una maggior velocità dell'aria per evaporare il sudore.

Cosa succede in condizioni estreme? L'ambiente può essere più caldo del corpo, sicché il calore non può essere perduto per irraggiamento e il corpo acquista calore dall'ambiente. Quando la temperatura dell'aria è più elevata di quella del corpo, il calore è acquistato dall'ambiente. Se l'umidità è al cento per cento, allora il sudore non potrà evaporare.

In queste condizioni estreme il calore non può essere assolutamente ceduto dal corpo e il corpo è continuamente riscaldato dall'ambiente. Purtroppo l'organismo non riesce a riconoscere queste condizioni e sempre più sangue è pompato alla pelle (lavoro inutile che riscalda ulteriormente il corpo). La sudorazione diviene abbondante ed inutile. In queste condizioni la temperatura corporea inizia a salire finché, se la persona non è allontanata da queste condizioni estreme, sopravviene la morte. I primi sintomi di pericolo appaiono quando la temperatura corporea raggiunge i 39 °C. Ogni individuo è colpito in modo differente ed i sintomi più frequenti sono: avvertire caldo e sentirsi bruciare, vertigini, svenimenti, sentirsi esausti e incapaci di continuare a lavorare. Se la persona è allontanata dall'ambiente troppo caldo in questo stadio, può rapidamente riprendersi e sentirsi solo affaticata o intorpidita.

Un'ulteriore esposizione è pericolosa dal momento che la temperatura corporea si alzerà rapidamente; delirio e comportamento irrazionale possono verificarsi quando la temperatura corporea raggiunge i 40 °C, in questo stadio la rimozione dall'ambiente caldo e un rapido raffreddamento sono essenziali, altrimenti la temperatura del corpo continuerà ad alzarsi ulteriormente e sopravverrà il coma, seguito dalla morte.

2.3. IL TEMPO DI ESPOSIZIONE

E' ovvio che i tempi di esposizione che possono essere tollerati in condizioni estreme varieranno secondo l'individuo, della temperatura, dell'umidità, dell'attività fisica, del lavoro e degli indumenti indossati. Quando il lavoro è faticoso si genera maggior calore e la temperatura corporea salirà rapidamente. Una precedente esperienza in condizioni climatiche calde può essere importante: alcune persone sono incapaci di lavorare a lungo in condizioni estreme

al primo tentativo e migliorano le loro prestazioni solo con l'allenamento, mentre altre lavorano perfettamente anche alla loro prima esperienza. Se una persona vive in un clima molto caldo o lavora per molte ore il giorno in ambiente caldo, allora si avrà acclimatazione, cioè il corpo si adatterà in modo da poter funzionare più efficacemente in ambienti caldi. Esperienze reali mostrano che i principianti possono lavorare, al primo tentativo, solo la metà del tempo che una persona allenata può tollerare.

Raffreddore, tosse o piccole infezioni potranno causare una rapida ascesa della temperatura corporea e ridurre i tempi di esposizione a condizioni calde e umide di sicurezza.

Sebbene fortunatamente non molto frequente nell'industria, lo stress da calore è un problema da non sottovalutare. D'altra parte esso è comune in estate: un contadino che sta al sole è talvolta obbligato a interrompere il lavoro allorché si manifestano sintomi di nausea o di vertigine; questo utile segnale d'avvertimento è dato di solito quando la temperatura del corpo raggiunge i 39 °C. Un riposo all'ombra, bevande fresche o un bagno freddo ridurranno rapidamente la temperatura e la guarigione sarà rapida.

2.4. I SINTOMI DELLO STRESS DA CALORE

Le differenze individuali sono notevoli. Alcune persone sono colpite molto più precocemente di altre. E' importante riconoscere questo fatto e istruire le persone che lavorano in condizione calde (sia nell'industria sia durante l'estinzione di incendi) a smettere di lavorare quando avvertono i primi sintomi (debolezza, disturbi alla vista, emicrania, nausea, crampi muscolari, respiro affannoso e palpitazioni).

2.5. LA SUDORAZIONE E L'ASSUNZIONE DI CIBI E BEVANDE

Durante una copiosa sudorazione il cloruro di sodio (così come altri sali) viene perso con il sudore dall'organismo. Questa deficienza di sale può causare dolorosi crampi muscolari. Era diffusa, una volta, la pratica di ingerire compresse di sale per recuperare il sale perduto. Questa pratica non è stata più continuata perché le tavolette di sale causavano dolori di stomaco in alcuni soggetti e in qualche caso non si scioglievano passando intatte attraverso il canale digerente. Al posto delle tavolette vengono ora somministrate bevande al gusto di arancia o

limone, arricchite di sale (i cosiddetti reintegratori salini). L'assunzione di sale dà risultati migliori durante i pasti.

Poiché l'assunzione eccessiva di cloruro di sodio può disturbare il bilancio tra i differenti sali nel corpo è necessario rimpiazzare gli altri sali, specialmente il cloruro di potassio, nella stessa quantità di sale aggiunto (i reintegratori salini hanno una composizione bilanciata). Succhi di agrumi e pomodoro (in aggiunta ad altri cibi ricchi di potassio) contribuiscono a controbilanciare gli effetti di una prolungata esposizione al calore.

E' importante che i lavoratori, che perdono notevoli quantità d'acqua sudando, bevano sufficiente acqua per recuperare quella percepita attraverso la sudorazione.

Indubbiamente la pronta disponibilità di acqua fresca aumenta il comfort dei lavoratori, così come - quando necessario - la disponibilità di reintegratori salini. L'alimentazione deve essere costituita prevalentemente da alimenti facilmente assimilabili e ad elevato contenuto calorico e razionalmente distribuita nel corso della giornata; il vino deve essere sconsigliato durante le ore di lavoro perché sovraccarica i processi di termoregolazione.

2.6. IL CONTROLLO MEDICO

Si è detto delle differenze individuali nella tolleranza al calore e della necessità di acclimatazione. E' importante prevenire, nei casi di lavoro in ambienti molto caldi ancorché al di sotto dei limiti raccomandati, i rischi che possono correre persone non perfettamente sane. A tale scopo è importante attuare un controllo medico e in particolare la visita medica di idoneità specifica al lavoro in ambiente caldo, in modo da evidenziare eventuali patologie - o predisposizione a patologie - non compatibili con la mansione prevista e visite periodiche comprendenti anche esami specifici dell'apparato cardiocircolatorio e respiratorio. Anche in caso di lavori che si svolgono in ambiente freddo si devono adottare misure preventive che consistono essenzialmente nel periodico controllo dello stato di salute dei lavoratori al fine di evitare l'insorgere o l'aggravamento di patologie a carico dei vari apparati (affezioni respiratorie e artriti in particolare).

2.7. IL COMFORT O BENESSERE TERMICO

Il benessere (o comfort) termico è quella condizione termica in cui il soggetto si trova in equilibrio termico (temperatura interna costante) senza l'intervento attivo del suo sistema termoregolatore interno.

Quindi il comfort è basato su una sensazione prettamente soggettiva:

le esigenze variano da persona a persona e sembrano essere in relazione alla soddisfazione nel lavoro, al rapporto datore di lavoro - dipendente e ad altri fattori psicologici non ben definiti.

Tralasciando i casi estremi, possiamo affermare che più il lavoro è faticoso, più è necessario un'elevata velocità dell'aria e più la temperatura o l'umidità sono alte, più alta è la velocità dell'aria necessaria ad assicurare il comfort. Le variazioni individuali sono tali che non si può affermare con sicurezza in quali condizioni tutti i lavoratori si sentono a proprio agio o solo leggermente a disagio.

Una recente inchiesta ha mostrato che una temperatura dell'aria tra i 21 e i 24 °C era accettabile o solo leggermente disagiata per circa l'80% dei lavoratori in uffici e industrie leggere durante i mesi più caldi. Tra le altre cose, l'inchiesta mostra che molte persone non riescono a distinguere tra l'effetto di un'alta temperatura e quello di una bassa velocità dell'aria.

Secondo l'ASHRAE una temperatura effettiva da 19 a 24 °C sarà accettata in estate da più del 50% delle persone; in inverno si preferisce una temperatura effettiva inferiore di circa 2 °C. L'umidità dovrebbe essere bassa (dal 20 al 60%). La velocità dell'aria dovrebbe variare secondo l'attività del lavoratore. In estate un'attività sedentaria può richiedere da 0,1 a 0,2 m/s mentre un lavoratore in ambiente caldo può preferire 1 m/s o anche più.

La spiegazione è abbastanza semplice: il lavoratore manuale deve sbarazzarsi del calore che è un inutile sottoprodotto della sua attività, sicché un più alto movimento dell'aria e una più bassa umidità sono necessari per evaporare il sudore.

Gli uffici hanno problemi particolari in relazione agli impianti di riscaldamento e di condizionamento:

- riscaldamento da radiatori o simili: occorre evitare un'eccessiva diminuzione dell'umidità relativa installando idonei umidificatori, e laddove non esistano finestre apribili va garantita una ventilazione sufficiente a garantire un sufficiente ricambio dell'aria;

- impianto di condizionamento: deve mantenere i parametri microclimatici ideali per assicurare il benessere dei lavoratori, permettendo il ricambio dell'aria, con molte bocchette per l'immissione, con ripresa dell'aria in basso, e con presa dell'aria esterna lontana da fonti inquinanti; l'aria deve avere i requisiti di purezza come dalla tabella che segue (norma ASHRAE 62-73).

Tabella purezza dell'aria			
Inquinante	Concentrazione ammissibile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P (1) (h)
	Media annua	Livello di punta ⁽²⁾	
Particelle solide	60	150	24
SO ₂	80	400	24
CO	20.000	30.000	8
Ossidanti fotochimici	100	500	1
Idrocarburi (escluso CH ₄)	1.800	4.000	3
NO _x	200	500	24
Odori		⁽³⁾	

(1) periodo di effettuazione della media (ore)

(2) da non superare più di una volta l'anno

(3) giudicato non rilevante da 6 soggetti su un gruppo di 10 (non esperti)

Generalmente si ritiene che il clima ideale deve assicurare una temperatura, un'umidità e un movimento dell'aria costanti.

Recentemente, comunque, si è sviluppata l'opinione secondo cui i cambiamenti nella temperatura, nella velocità dell'aria e anche nell'umidità possono essere desiderabili ai fini di diminuire ciò che è stata definita "la monotonia climatica. E' ovvio che questi cambiamenti non devono essere rapidi.

Nella maggior parte dei luoghi di lavoro industriali non c'è aria condizionata. In inverno una qualche forma di riscaldamento è di solito necessaria o, almeno, aumenterebbe il comfort; in molte fabbriche il problema, d'inverno, non è di

creare un movimento d'aria ma di limitarlo, dato che si verificano lamentele per spifferi e correnti. Di solito ci sono più proteste se l'aria colpisce la schiena o il collo, mentre lo stesso movimento dell'aria sul viso o sul davanti del corpo causa meno proteste. In inverno un movimento dell'aria da 0,08 a 0,15 m/s sembra accettabile.

3. LA VALUTAZIONE DEL MICROCLIMA

Da quanto esposto precedentemente si deduce che la valutazione igienistica del microclima è molto importante al fine di stabilire il grado di comfort e/o di "rischio" di un determinato ambiente.

Il microclima può essere valutato in termini soggettivi attraverso meccanismi psicofisici che danno la sensazione di benessere o di disagio termico (si pensi alle sensazioni che si hanno per esposizione ad una corrente di aria calda o fredda, oppure per la vicinanza a sorgenti di calore radiante) e in termini fisici con alcuni indici, dedotti dalla elaborazione di dati di strumenti di misura, che esprimono il grado di disagio di un determinato ambiente di lavoro. Bisogna comunque tenere presente che la valutazione microclimatica è ancora oggi di difficile attuazione per il fatto che di solito le rilevazioni strumentali vengono effettuate in un determinato periodo stagionale (influenza del macroclima sul microclima) e soprattutto per il fatto che spesso non vi è coincidenza tra valutazione soggettiva e valutazione fisica per cui, in sede di conclusione, è in ogni caso necessario integrare le risultanze dell'indagine ambientale coi dati soggettivi.

In molte lavorazioni l'esposizione al calore è connessa ad operazioni particolari di durata limitata. Finora non è disponibile una metodologia semplice che consenta di valutare istante per istante l'esposizione al calore, e questo è un altro caso in cui gli indici risultano inadeguati a descrivere l'effetto del microclima sull'uomo.

Basti pensare al disagio (cui possono seguire affezioni di vari organi) connesso al rapido passaggio da zone calde a zone fredde e al caso in cui vi siano fonti di calore radiante localizzate che surriscaldano un solo lato del corpo.

Negli ambienti freddi poi gli indici più usuali non sono utilizzabili e diventa assai difficile scegliere dei riferimenti validi.

Mediante l'uso di semplici apparecchiature si possono comunque rilevare una serie di "temperature" aventi ciascuna un proprio significato e per mezzo delle quali si possono determinare i parametri dell'equazione del bilancio termico e ricavare gli indici microclimatici di

un determinato ambiente di lavoro per la valutazione delle "condizioni di benessere" e per la prevenzione dello "stress calorico".

3.1. INDICI PER LA VALUTAZIONE DEL COMFORT

Per una corretta definizione delle condizioni di benessere è necessario riferirsi a diversi parametri microclimatici (quali la temperatura, l'umidità e la velocità dell'aria) nonché al tipo di attività lavorativa svolta da soggetti che operano nell'ambiente.

Una serie di studi sperimentali condotti nei laboratori di ricerche dell'ASHRAE (American Society of Heating and Air Conditioning Engineers) ha messo in evidenza l'azione combinata di vari parametri microclimatici sulla sensazione di caldo o di freddo prodotta su gruppi di individui, ed ha consentito di definire una scala delle condizioni termiche equivalenti: la scala delle temperature effettive.

La "temperatura effettiva" (TE) è un indice che riassume le sensazioni di benessere o di disagio prodotte in un ambiente dall'interferenza dei diversi parametri microclimatici.

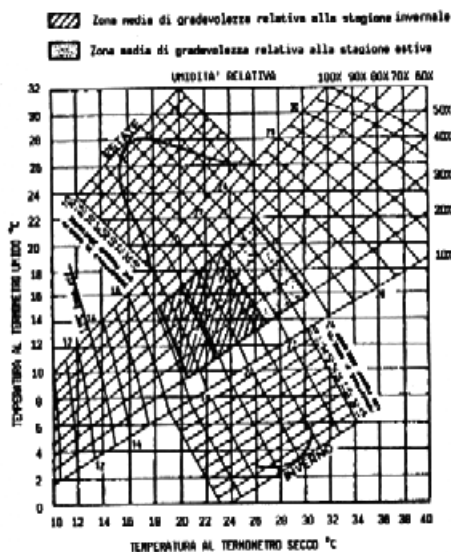


Fig. 1 - Diagramma del benessere termico; il diagramma vale per una velocità dell'aria compresa fra 0,07 e 0,13 m/sec.

La TE è determinabile mediante misure della temperatura del "bulbo umido", della temperatura del "bulbo secco" e della ventilazione, attraverso un particolare grafico. Sulla base di una sperimentazione assai accurata è stato costruito (ASHRAE) il diagramma del benessere (v. fig. 1) che consente di determinare, ad una data velocità dell'aria e per ogni valore della temperatura effettiva, la percentuale di persone che identificano quella condizione con l'optimum di benessere sia durante la stagione estiva sia durante la stagione invernale.

Le curve riportate nella parte superiore ed inferiore del diagramma indicano che la massima percentuale di persone considera confortevole, in estate, una temperatura effettiva (TE) di 21,5 °C ed in inverno una temperatura effettiva (TE) di 19,5 °C.

Vediamo in breve un esempio di calcolo:

supponiamo di aver misurato una temperatura al termometro umido di 14 °C e una temperatura al termometro secco di 20 °C. Dal grafico si nota che la temperatura effettiva corrispondente è di 8 °C con umidità relativa del 50%. Il punto di intersezione si trova nella zona di media gradevolezza relativa alla stagione invernale.

3.2. INDICI PER LA VALUTAZIONE DELLO "STRESS DA CALORE"

Nella valutazione dei seguenti indici di uso più comune va tenuto presente che, data la diversa suscettibilità individuale, è possibile che, in alcuni individui, l'esposizione a valori di carico termico uguali al valore limite di soglia od anche a valori inferiori, causi disturbi, aggravamenti di condizioni patologiche preesistenti o danni fisici.

WGBT (Wet Bulb-Globe Temperature Index)

Si basa sulla ponderazione biofisica dei valori di temperatura ottenuti con l'ausilio del termometro a bulbo umido naturalmente ventilato (t_{un}) e del globotermometro (t_g), secondo la

formula (valida per interni) $WBGT = 0,7 t_{un} + 3t_g$

Secondo l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) i limiti entro i quali si suppone che la temperatura interna di uomini normali, abituati al lavoro, normalmente vestiti, con normale apporto calorico e liquido, non possa salire oltre i 38°C (limiti perciò di termoregolazione efficiente) sono esposti nella seguente tabella:

Lavoro	Riposo	Carico di lavoro		
		Leggero	Medio	Pesante
Continuo	=	30,0	26,7	25,0
75%	25%	30,6	28,0	25,9
50%	50%	31,4	29,4	27,9
25%	75%	32,2	31,1	30,0

In questa tabella si fa riferimento ad un orario di 8 ore giornaliere per 5 giorni la settimana, con pause trascorse in ambiente avente le stesse caratteristiche del posto di lavoro, possibilmente a temperatura inferiore a 24°C. Esposizioni a calore più alto di quello mostrato nella tabella sono permesse se gli operai sono sotto diretto controllo medico ma devono comunque essere sospese qualora la temperatura corporea degli operai superi i 38 °C. E' da notare che brevi esposizioni a WBGT superiori a 32,2 °C sono ammissibili purché il tempo di riposo sia sufficientemente lungo ed in ambiente meno caldo (ad esempio a 35 °C WBGT è ammesso il lavoro pesante per 1 minuto ogni ora se nei rimanenti 59 minuti la persona riposa in ambiente ove WBGT = 30 °C). Questo indice si presta abbastanza bene per calcolare l'esposizione della mansione in diversi ambienti e con diversi carichi metabolici (cfr. la pubblicazione TLV ACGIH 1981).

TEC (temperatura effettiva corretta)

E' un numero in °C che esprime una condizione microclimatica ambientale tenendo conto della temperatura dell'aria, della umidità e della ventilazione.

In pratica permette di confrontare tra loro situazioni in cui i tre parametri microclimatici variano contemporaneamente. In ambienti ad uguale TEC (ma a diversa umidità, ventilazione e temperatura dell'aria) si ha la stessa "sensazione di caldo".

Tra 24 e 27° TEC, in qualche caso, è stata osservata riduzione della efficienza psicomotoria. A 27° TEC può essere ridotta la capacità di vigilanza ed attenzione e 27° rappresenta anche il limite oltre il quale un lavoro continuo e pesante provocherebbe aumento della temperatura interna superiore a 1,2 °C.

I limiti secondo la raccomandazione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (Rapport Technique n. 412, Geneve, 1969), per individui non acclimati (lavoro continuo), sono:

lavoro leggero (sedentario)	30,0° TEC
lavoro moderato	28,0° TEC
lavoro pesante	26,1° TEC

Questi limiti, secondo l'OMS, sono aumentabili di 2 °C per soggetti allenati e acclimati.

Per il calcolo di tale indice si fa ricorso al nomogramma riportato in fig. 2 che dà gli stessi risultati di quelli della fig. 1 con velocità dell'aria uguale a 0,10 m/sec e componente radiante trascurabile (temperatura del globotermometro uguale alla temperatura dell'aria). In questo caso la Temperatura Effettiva (TE) coincide con la Temperatura Effettiva Corretta (TEC).

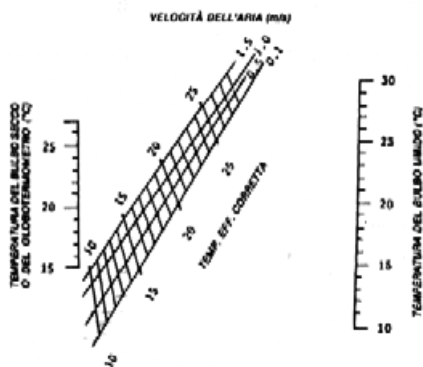


Fig. 2 - Nomogramma per il calcolo della temperatura effettiva (TE) o temperatura effettiva corretta (TEC) a seconda che sulla scala di sinistra si riporti il valore della temperatura dell'aria o del globotermometro.

4. L'INDAGINE AMBIENTALE

Per la completa caratterizzazione del microclima si

devono determinare, al fine di calcolare gli indici microclimatici, i seguenti parametri microclimatici: la temperatura dell'aria (t_s); la temperatura del bulbo umido (t_u); la temperatura del globo termometro (t_g); la temperatura del bulbo umido naturalmente ventilato (t_{un}); la velocità dell'aria (V).

Naturalmente non tutti i parametri sono richiesti per il calcolo di tutti gli indici per cui, in alcuni casi, certe determinazioni risultano inutili (ad esempio, se l'ambiente è freddo, bastano t_s , t_u e V).

Per la determinazione di tali parametri si utilizzano i seguenti strumenti:

- **Psicrometro:** è costituita da due termometri (opportunosamente schermati dalle radiazioni termiche) l'uno detto a "bulbo asciutto" che determina la temperatura dell'aria (t_s), l'altro a "bulbo umido" - rivestito da una guaina di stoffa tenuta costantemente bagnata e sottoposta, tramite ventola, a ventilazione forzata che determina la temperatura "umida" dell'aria (t_u). La differenza tra la " t_s " e la " t_u " esprime il potere raffreddante dell'evaporazione e permette di calcolare l'umidità relativa (U.R.) attraverso apposite tavole psicrometriche.

- **Globotermometro:** è costituito da un termometro a bulbo di mercurio inserito all'interno di un pallone di metallo la cui superficie è interamente colorata in nero. Si ha così un indice di "calore radiante".

Tutti gli indici impiegano la temperatura del globotermometro (t_g) per valutare appunto la componente "irraggiamento". In assenza di irraggiamento " t_g " uguale alla temperatura dell'aria.

- **Bulbo umido naturalmente ventilato:** si tratta di un termometro il cui bulbo viene mantenuto umido da una guaina di stoffa mantenuta bagnata. La ventilazione dell'ambiente fa evaporare l'acqua della guaina e si instaura un equilibrio che è funzione della temperatura dell'aria, dell'umidità e della ventilazione. E' impiegato per il calcolo dell'indice WBGT.

- **Anemometro:** misura la velocità dell'aria in m/s. Si può impiegare il catatermometro o il più moderno anemometro a filo caldo (gli anemometri a palette per le loro caratteristiche di direzionalità non sono adatti).

Le esecuzioni di corrette indagini ambientali richiede sia la conoscenza del ciclo di lavorazione sia una preparazione tecnica sui metodi di indagine. Tale duplice campo di conoscenze ed esperienze richiede che la programmazione e l'esecuzione dell'indagine sia svolta in collaborazione tra diverse funzioni aziendali. Anche la partecipazione dei lavoratori contribuisce a far sì che i risultati dell'indagine siano reali e corrispondenti alle effettive condizioni in cui lavorano gli addetti. Solo un metodo partecipativo che preveda l'intervento del reparto, del servizio sicurezza, del servizio sanitario e dei lavoratori stessi (inoltre, se necessario, di specialisti esterni) può portare ai migliori risultati.

In concreto si dovrà tendere ad ottenere, per ogni gruppo omogeneo di lavoratori, una precisa definizione delle condizioni microclimatiche e del rischio reale di esposizione alla situazione ambientale.

Affinché siano facilmente utilizzabili, è bene riportare i risultati dei rilevamenti su schede e mappe.

5. MEZZI DI PREVENZIONE E PROTEZIONE

Al fine di evitare o ridurre i rischi connessi al lavoro in ambiente caldo e quindi danni alla salute e riduzione della capacità lavorativa, si possono adottare misure sia di carattere tecnico sia di carattere organizzativo.

Tra gli interventi di carattere tecnico ricordiamo la soppressione delle inutili fonti di produzione di calore mediante segregazione o spostamento di macchine e impianti; la riduzione o schermatura delle superfici radianti con lamiere di alluminio termoriflettenti e applicazione di isolanti termici sulle parti che disperdono calore nell'ambiente; la corretta ventilazione degli ambienti di lavoro; la riduzione, ove possibile, dell'umidità relativa e della temperatura mediante impianti di condizionamento correttamente progettati; l'allestimento di ambienti a temperatura confortevole nei quali i lavoratori possano trascorrere le pause di ristoro (queste dovranno essere di durata e numero adeguati all'intensità di lavoro ed al carico termico ambientale); l'adozione di adeguati mezzi personali di protezione in rapporto ai livelli della temperatura ambientale ed alla eventuale presenza di fonti di calore radiante.

Le misure di carattere organizzativo tendono, modificando le modalità di svolgimento del lavoro o riducendo il carico, a diminuire il calore metabolico prodotto dall'organismo ed a ridurre il

tempo di permanenza nelle posizioni più esposte al calore. L'uso di locali (stanze di ristoro) a microclima controllato e la rotazione del personale nelle mansioni che comportano esposizioni a condizioni estremamente calde o fredde, rientrano tra queste.

I mezzi personali di protezione contro il freddo dell'ambiente di lavoro disponibili sul mercato sono vari e si rifanno ai tipo di indumenti utilizzati negli sport invernali. Pur essendo leggeri e poco ingombranti sono utilmente impiegati solo nei lavori che non richiedono l'uso delle mani in lavori minuti.

Contro le fonti di calore radiante sono utili gli indumenti in tessuto alluminizzato (purché il loro uso non sia eccessivamente prolungato nel tempo: in tal caso ottengono l'effetto opposto perché impediscono l'eliminazione del calore attraverso l'evaporazione del sudore) e le visiere trattate in modo da essere termoriflettenti.

6. SISTEMI TECNICI DI CONTROLLO

Il metodo migliore per evitare i rischi e i disagi del calore consiste nello schermare la fonte e nei portarla, quando possibile, lontano dai posti di lavoro. La disposizione di caldaie ed apparecchi che generano calore in locali separati migliora il microclima consentendo comunque il recupero del calore nella stagione invernale.

Solo se ciò non è praticabile ha senso condizionare o ventilare l'ambiente.

D'inverno è meglio impedire al calore di disperdersi all'esterno piuttosto che riscaldare. L'isolamento dei tetti e delle pareti, particolarmente negli edifici a pareti e copertura metalliche, oltre che far risparmiare energia migliora il comfort in quanto buona parte della sensazione di caldo e di freddo dipende dalla temperatura delle pareti. D'estate le grandi vetrature forniscono luce ed anche calore (effetto serra); uno strato di calce o, meglio, un trattamento superficiale riflettente ne riducono di molto gli effetti negativi.

Il controllo climatico dell'ambiente di lavoro attraverso impianti di riscaldamento (o raffrescamento) e di ventilazione è necessario quando le condizioni climatiche esterne o processi produttivi che sviluppino calore esporrebbero i lavoratori a condizioni di disagio o a rischi di stress da calore. Di solito l'impianto di ventilazione risponde anche all'esigenza di allontanare dall'ambiente le sostanze tossiche o pericolose che sviluppino particolari lavorazioni.

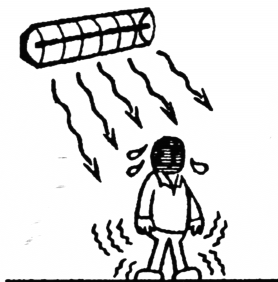
Tralasciando il condizionamento d'aria che nei nostri climi è adottato nell'industria solo in casi molto particolari, si riportano nel seguito alcuni criteri generali ed alcuni esempi relativi al riscaldamento, alla ventilazione generale e particolare dell'ambiente di lavoro.

6.1. RISCALDAMENTO

I sistemi di riscaldamento a circolazione d'aria calda, collegati a un sistema generale di ventilazione o installati nell'ambiente di lavoro stesso (generatori autonomi d'aria calda), sono tra i più diffusi per l'elevato rendimento e per la semplicità; se il flusso d'aria calda è correttamente distribuito e non genera correnti fastidiose o differenze di temperatura notevoli tra aree contigue, consentono di realizzare accettabili condizioni microclimatiche in quasi tutti gli edifici industriali. I risultati sono ovviamente meno soddisfacenti quanto più elevata è la quota del soffitto, per la minore densità dell'aria calda rispetto all'aria fredda. In tali casi i migliori risultati si ottengono distribuendo l'aria calda da bocche a quota pavimento.

Il riscaldamento a pannelli (elettrici, a gas, a piastre riscaldate a vapore od a acqua) radianti dall'alto ha il difetto di riscaldare la testa del lavoratore lasciando al freddo il resto del corpo. I pannelli posti sulle pareti irraggianti il calore ad altezza d'uomo riscaldano solo la superficie rivolta verso di essi (è lo stesso effetto del caminetto domestico): il lavoratore si trova con la parte dorsale calda e quella ventrale fredda o viceversa.

Fig. 3 - Effetto dei pannelli radianti in posizione sopraelevata



il sistema di aerotermi è equiparabile a un sistema ad aria calda: la bontà dei risultati dipende solo dal dimensionamento dell'impianto e dalla corretta localizzazione dei diffusori. Abbastanza diffuso è l'uso di diffusori posti sotto la copertura con ventilatore ad asse verticale: per evitare fastidiose correnti d'aria (ancorché calda) il posizionamento e la velocità dell'aria devono essere attentamente definiti in sede progettuale.

6.2. VENTILAZIONE GENERALE

Le aperture presenti nell'ambiente di lavoro creano, in funzione della esposizione ai venti dominanti e alla produzione di calore (originata sia dal processo sia dal metabolismo delle persone), un movimento dell'aria ed in definitiva un suo ricambio. Talvolta le aperture creano correnti fastidiose e devono quindi essere schermate o protette con barriere ad aria calda.

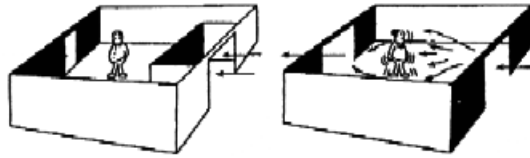


Fig. 4 - Le porte che devono rimanere aperte creano correnti d'aria fastidiose. Una schermatura posta davanti all'ingresso migliora il comfort.

Il ricambio dell'aria ambiente è realizzabile sfruttando le correnti convettive, particolarmente sensibili quando nel locale sono installate macchine che sviluppano calore riscaldando l'aria circostante. Si crea in tal modo una corrente d'aria ascensionale che sfugge dalle aperture superiori (lucernari) e richiama aria fresca dalle aperture a quota inferiore. Perché la ventilazione per convezione risulti efficace, il profilo del locale deve essere adeguatamente progettato: i migliori risultati si ottengono nei locali alti e stretti (differenza di quota tra entrate e uscite dell'aria di 9-18 metri) e con configurazioni che evitano la formazione di vortici. Spesso tuttavia (e soprattutto quando la ventilazione ha lo scopo di diluire e allontanare inquinanti atmosferici) è necessario ricorrere ad un sistema generale meccanico di ventilazione, la cui progettazione e calcolo devono tenere conto non solo del volume di aria da evacuare (o da immettere) ma anche della distribuzione che si viene a creare. Non è raro il caso di impianti che non ricircolano l'aria in tutte le zone o che provocano correnti d'aria fastidiose nei posti di lavoro.



Fig. 5 - Circolazione dell'aria non corretta derivante da errato posizionamento dei ventilatori d'immissione ed estrazione.

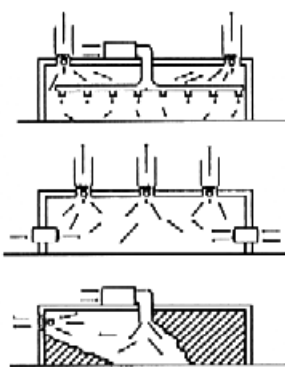


Fig. 6 - Sistema meccanico di ventilazione generale. In basso la disposizione delle bocche di immissione ed estrazione non ricambia l'aria nelle zone tratteggiate. Al centro una disposizione accettabile che tuttavia favorisce il ricambio alle testate del locale. In alto il sistema più efficiente.

Se tutte le pareti sono a tenuta, ad eccezione di un'unica apertura, l'aria entra solo attraverso quest'ultima fluendo verso l'area di bassa pressione creata dall'estrattore d'aria. La presenza di altre entrate d'area invece crea flussi parziali (by-pass) che conducono ad un ridotto rinnovo d'aria in altre zone del locale limitando quindi l'efficacia della ventilazione complessiva.

Da tenere in attenta considerazione è anche il percorso dell'aria tra le entrate e le bocche di estrazione forzata. In prossimità di fonti d'inquinamento la qualità dell'aria può facilmente degradarsi e quindi attraversare tutto il locale di lavoro prima di essere estratta. Per questo motivo risulta indispensabile, affinché l'aria fresca arrivi in ogni punto del locale, evitare che la distanza tra le bocche di entrata e le bocche di uscita sia eccessiva.

Nel caso in cui esista la possibilità che l'aria in entrata sia inquinata è da prevedere un impianto di depurazione dell'aria immessa nell'ambiente.

6.3. ASPIRAZIONE LOCALIZZATA

Per eliminare radicalmente odori, fumi e polveri la soluzione migliore è certamente quella di intervenire direttamente alla fonte. In pratica si devono applicare cappe aspiranti localizzate sulla fonte di inquinamento adeguatamente dimensionate. E' di fondamentale importanza, per evitare la diffusione dell'inquinante, che la bocca di aspirazione sia il più vicino possibile alla fonte e che la velocità dell'aria nel punto di sviluppo dell'inquinamento sia sufficiente per trasportarne le particelle.

La tabella riporta la velocità dell'aria minima per il trasporto di alcuni materiali particolari.

MATERIALE	VELOCITÀ m/sec
Cascame tessile	7,5
Polvere di grano	10
Polvere di gomma	10
Farina	15
Segatura	15
Polveri di metalli (da rettifica)	15
Trucioli e schegge di legno	18
Trucioli fini d'ottone (da tornitura)	20
Carbone fine	20
Polveri di piombo	25

Si sottolinea che le velocità riportate in tabella devono essere tali nel punto d'origine dell'inquinante, non alla bocca della cappa di aspirazione. La diminuzione di velocità allontanandosi dalla bocca d'aspirazione è, come mostra la fig. 7, molto rapida: ad una distanza sull'asse della bocca aspirante pari al suo diametro si riduce di oltre 10 volte.

A seconda delle esigenze di lavorazione e dei tipo di inquinante da aspirare le caratteristiche geometriche e la portata dell'impianto variano notevolmente. Nel caso di una mola abrasiva, ad esempio, è possibile adottare la configurazione di fig. 8 o di fig. 9: naturalmente nel primo caso la velocità dell'aria alla bocca deve essere molto maggiore.

In alcuni casi può essere utile adottare particolari tipi di cappe che permettano di operare sulla vasca anche dall'alto. In questi casi le portate d'aria dovranno essere adeguatamente sovradimensionate (v. fig. 10).

Se non è necessario accedere superiormente alla zona di sviluppo dei fumi le cappe potranno essere installate sopra tale zona, ma dovranno evitare che la bocca ed il naso dell'operatore si vengano a trovare nella colonna di fumo ascendente (v. fig. 11).

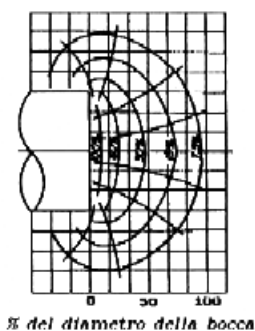


Fig. 7 - Curve di eguale velocità dell'aria aspirata da una bocca di sezione circolare.

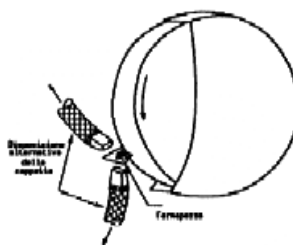


Fig. 8 - Aspirazione delle polveri su una mola con sistema a bassa portata ed alta velocità dell'aria.

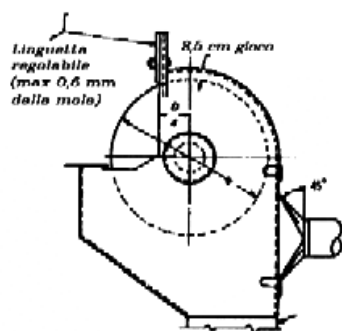


Fig. 9 - Aspirazione delle polveri su una mola con sistema ad elevata portata e bassa velocità dell'aria

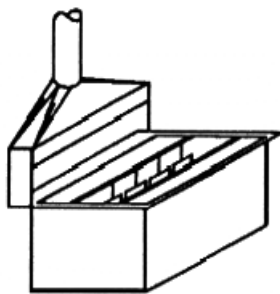


Fig. 10 - Cappa aspirante a flusso laminare per vasca aperta superiormente.

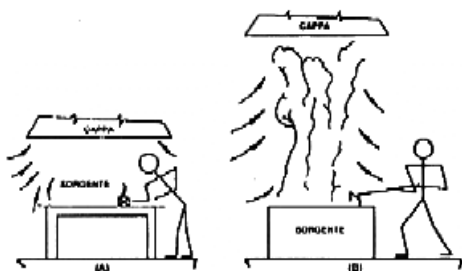


Fig. 11 - Impiego scorretto (A) e corretto (B) di cappe

7. NORME DI LEGGE E RACCOMANDAZIONI

7.1 - LEGISLAZIONE

Per quel che riguarda la temperatura il legislatore non ha fissato dei limiti precisi; infatti l'art. 11 del D.P.R. n. 303 del 19 marzo 1956 impone genericamente:

"La temperatura dei locali chiusi di lavoro deve essere mantenuta entro i limiti convenienti alla buona esecuzione dei lavori e ad evitare pregiudizio alla salute dei lavoratori. Quando non sia conveniente modificare la temperatura di tutto l'ambiente, si deve provvedere alla difesa dei lavoratori contro le temperature troppo alte o troppo basse mediante misure tecniche localizzate o mezzi personali di protezione.

Nel giudizio sulla temperatura conveniente per i lavoratori si deve tenere conto dell'influenza che possono esercitare sopra di essa il grado di umidità ed il movimento dell'aria concomitanti".

L'art. 13 dello stesso D.P.R. 303 precisa:

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

La legge 833 del 23 dicembre 1978, sulla "riforma sanitaria" lascia a un successivo decreto la fissazione e periodica revisione dei limiti massimi di accettabilità ed esposizione agli inquinanti fisici, microclima quindi compreso, e delega il governo ad emanare un testo unico in materia di sicurezza del lavoro che, tra l'altro, dovrà stabilire le modalità per la determinazione e l'aggiornamento di tali limiti.

A tutt'oggi tali norme non sono ancora state emanate.

7.2. RACCOMANDAZIONI

Al di là della normativa di legge, perciò, è d'uso riferirsi a raccomandazioni formulate, in campo internazionale, da vari enti che definiscono i limiti di esposizione alle varie condizioni microclimatiche in funzione del lavoro svolto. In particolare - tra gli indici attualmente più usati - è da citare il WBGT (Wet Bulbe Globe Thermometer index) proposto dalla ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) relativo ai "valori limite dello stress calorico". Tale indice si riferisce ai rischi connessi alle sole "alte" temperature, mentre per le "basse" temperature non è stata ancora formulata una precisa normativa di riferimento.

E' da tener presente che la maggior parte degli indici sono stati definiti per prevenire lo "stress

calorico", in altre parole stabiliscono le condizioni a cui si ritiene che quasi tutti i lavoratori possano essere sottoposti senza reazioni dannose per la salute. Tali indici si riferiscono ai lavoratori sani, acclimati, completamente vestiti e, in conformità ai rapporti tecnico n. 412 della O.M.S. (Organizzazione Mondiale della Sanità) prevengono innalzamenti della temperatura interna del corpo al di sopra dei 38 °C.

Diversa applicazione hanno invece gli indici del benessere, i quali forniscono le regole per le quali la maggior parte delle persone si trova in condizioni confortevoli. L'indice ritenuto oggi più rispondente all'effettiva confortevolezza dell'ambiente, definito dalla ASHRAE (American Society of Heating and Air Conditioning Engineers), è la temperatura effettiva (TE).

In tal senso il Tribunale Amministrativo Regionale del Piemonte (sez. II, 24.5.1986 n. 276, in TAR 1986, I, 2175) ha affermato che, ex art. 11 DPR

303/1956, la temperatura dei locali chiusi di lavoro, deve essere mantenuta entro i limiti convenienti alla buona esecuzione dei lavori e ad evitare pregiudizio alla salute dei lavoratori: quindi in assenza di una norma vigente che indichi con precisione i livelli microtermici minimi e massimi che debbono essere rispettati nelle differenti circostanze di lavoro, deve ritenersi idoneo a giustificare le scelte dell'amministrazione vigilante in materia d'igiene e sicurezza del lavoro, il rinvio ai livelli definiti annualmente in materia dall'ACGIH in quanto ritenuti i più vicini alle concezioni sanitarie ed alle esigenze produttive della società italiana.

A cura dell'Ing. Amerigo Lovato

Igienista Industriale Certificato IIC n° 068

Ingegneria Sicurezza Ambiente