



Università degli Studi di Trieste

DIPARTIMENTO UNIVERSITARIO CLINICO DI SCIENZE MEDICHE,
CHIRURGICHE E DELLA SALUTE

Corso di Studi
TECNICHE DELLA PREVENZIONE NELL'AMBIENTE E NEI LUOGHI DI LAVORO

L'IMPATTO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUL MICROCLIMA NELLE ATTIVITÀ PORTUALI

Tesi di laurea triennale

Relatore

Prof. Corrado Negro

Correlatore

Dott.ssa Marina Hager

Laureando

Fabrizio Martari

Indice

INTRODUZIONE.....	4
1. IL PORTO DI TRIESTE.....	6
2. IL CAMBIAMENTO CLIMATICO	8
3. IL MICROCLIMA	11
3.1 INQUADRAMENTO NORMATIVO	11
3.2.1. GLI AMBIENTI TERMICI: “MODERATI” E “SEVERI”	13
3.2.2 GLI AMBIENTI TERMICI: “MODERABILI” E “VINCOLATI”	14
3.3 GLI EFFETTI FISIOLOGICI SULLA SALUTE	16
3.3.1. IL METABOLISMO	19
3.3.2. LA RESISTENZA TERMICA.....	19
3.3.3. PATOLOGIE DA CALDO	19
4. GLI INDICI DESCRITTORI	23
4.1 INDICI DESCRITTORI PER LA VALUTAZIONE DEL COMFORT/DISCOMFORT TERMICO	23
4.2 INDICI DESCRITTORI PER LA VALUTAZIONE DELLO STRESS TERMICO DA CALDO	25
4.2.1. INDICE WBGT.....	25
4.2.2. INDICE PHS	27
5. MATERIALI E METODI.....	32
5.1 LA CENTRALINA MICROCLIMATICA E I SUOI COMPONENTI.....	34
5.2 CRITERI PER LA MISURAZIONE	38
5.3 LE CAMPAGNE DI MISURAZIONE NELLE AZIENDE.....	40
5.3.2 AZIENDA A	41
5.3.3 AZIENDA B	43
5.4 DATI ARPA FVG-OSMER.....	47
6. RISULTATI	48
6.1 AZIENDA 1	48
6.2 AZIENDA 2	49
6.3 DATI ARPA FVG-OSMER.....	51
7. DISCUSSIONE	55
7.1 AZIENDA A e AZIENDA B	55
7.2 DATI ARPA FVG-OSMER, LAVORATORI E CAMBIAMENTO CLIMATICO	55
CONCLUSIONI	64
BIBLIOGRAFIA	65

SITOGRAFIA.....	67
-----------------	----

INTRODUZIONE

Nei luoghi di lavoro le condizioni microclimatiche figurano come delle variabili in grado di influenzare, anche notevolmente, l'attività lavorativa degli occupanti. Il corpo umano reagisce costantemente agli stimoli ambientali mantenendosi, tramite i propri meccanismi fisiologici, nelle condizioni di benessere termico. Quando le condizioni microclimatiche risultano inadeguate è possibile andare incontro a situazioni di discomfort o di stress termico, le quali possono diminuire la produttività del lavoratore oppure aumentare la probabilità del verificarsi di infortuni e malesseri.

La presente tesi si propone di valutare il microclima all'interno di alcune aziende che operano in ambito portuale, in modo da valutarne e quantificarne il rischio, in funzione delle condizioni ambientali a cui i lavoratori sono esposti durante la loro normale giornata lavorativa.

Si vuole porre all'attenzione il microclima durante l'attività lavorativa, tenendo conto del possibile impatto delle nuove normative legate al cambiamento climatico e alle misure di risparmio energetico. Tale problematica porterà a possibili e probabili conseguenze sulla qualità della vita della popolazione odierna e delle generazioni future anche in funzione delle attività lavorative e dei possibili effetti che il cambiamento climatico avrà nei luoghi di lavoro. Nello specifico, ci si intende focalizzare su quelle attività che prevedono l'operatività dei lavoratori in ambienti nei quali l'intervento di prevenzione è limitato per cause riconducibili alle caratteristiche dell'ambiente stesso, come, ad esempio un ambiente outdoor (all'esterno) durante il periodo estivo. È quindi fondamentale gestire il possibile rischio e raggiungere obiettivi di benessere in funzione della tipologia di ambiente considerato: sia appartenente alla tipologia di ambiente indoor (interno) oppure outdoor (esterno).

Un ulteriore aspetto oggetto del presente lavoro è rappresentato dalla complessità relativa al processo di reperimento di dati utili e all'applicazione delle metodologie indicate dalla normativa vigente. Su questo particolare aspetto ci si soffermerà sui limiti della strumentazione adoperata per la misurazione dei parametri ambientali e sulle

criticità relative ad alcuni parametri necessari per stabilire le tipologie di abbigliamento più adatte, sia in funzione della mansione che del microclima presente nel luogo di lavoro.

Le campagne di misurazione sono state effettuate per le aziende in esame nel corso del periodo estivo, tra i mesi di giugno e di agosto del 2022, in modo da valutarne il rischio microclimatico dovuto all'esposizione al calore durante l'attività lavorativa. Tra gli aspetti fondamentali di tali valutazioni si rende necessario far comprendere la portata degli effetti dovuti all'esposizione al calore, in termini di possibile impatto sulla salute. Nella valutazione sono state considerate le condizioni di discomfort e quelle di possibile stress termico in rapporto con l'attività richiesta.

1. IL PORTO DI TRIESTE

Per comprendere al meglio gli obiettivi da raggiungere è importante avere una visione del contesto che si vuole discutere e per questa motivazione è necessario fornire un quadro di insieme che comprenda anche una breve descrizione dell'area in cui sono state effettuate le campagne di misurazione microclimatica presso le aziende.

Il Porto di Trieste è sito nel golfo di Trieste e si tratta di una realtà commerciale, economica e produttiva di grande rilevanza sia storica che contemporanea poiché occupa un ruolo fondamentale per quanto concerne il commercio nel Mar Mediterraneo e l'interscambio terra-mare tra il Mar Adriatico e il Mar Baltico.

È costituito da cinque aree che corrispondono ai cinque Punti Franchi¹ e tre di essi sono finalizzati al commercio. Tra essi, vi sono il Punto Franco Vecchio, il Punto Franco Nuovo e il Terminal del Legname, noto anche come "Scalo Legnami". Le altre due aree sono adoperate per fini industriali e sono il Terminal Industriale e il Terminal Marino Siot necessario a servire l'oleodotto Trieste-Ingolstadt.

Il Porto di Trieste è caratterizzato da numerose aziende che operano al suo interno e si trova ad occupare un importante ruolo, non solo a livello nazionale ed europeo, mediante collegamenti con paesi del nord e dell'est Europa, ma anche a livello internazionale grazie ad un'intensificazione dei rapporti commerciali accorsa negli ultimi anni con Cina, Estremo Oriente, Singapore, Malesia e diversi paesi nel Mar Mediterraneo.

L'attività portuale comprende numerose figure e mansioni che cooperano tra loro e che utilizzano vari tipi di attrezzature e macchinari, nonché di metodologie di lavoro specifiche per ciascuna funzione. Usualmente, all'interno della medesima azienda, una parte delle attività viene eseguita in luoghi di lavoro interni, come gli uffici

¹ Punto Franco: zona economica libera o extra-doganale che gode di determinati benefici tributari.

amministrativi o nei gate, mentre un'altra parte di esse si effettua in luoghi esterni agli edifici.

Quest'ultima condizione risulta essere di particolare interesse poiché in ambienti di questa tipologia è più probabile che i lavoratori siano esposti ad un numero maggiore di rischi.

Consideriamo in questo caso luoghi di lavoro esterni in ambito portuale zone differenti dell'area portuale, come ad esempio, le banchine destinate all'attracco delle imbarcazioni, oppure i piazzali nei quali è presente sia traffico veicolare che personale a piedi. Queste aree sono quindi caratterizzate da una molteplicità elementi e di conseguenza sono anche piuttosto complesse.



Figura 1: Porto di Trieste (Google Maps, ©2023 CNES / Airbus, Maxar Technologies, Dati cartografici ©2023)

2. IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Secondo la World Meteorological Organization o Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) il clima è definito come “la misurazione della media e della variabilità di quantità rilevanti di determinate variabili (come temperatura, precipitazioni o vento) in almeno 30 anni”. (Organizzazione Meteorologica Mondiale).

Per quanto riguarda la definizione di cambiamento climatico, invece, la OMM si riferisce ad esso come “una variazione statisticamente significativa nello stato medio del clima o nella sua variabilità, che persiste per un periodo prolungato (tipicamente decenni o più)”. (OMM)

Più semplicemente può essere indicato come un insieme di variazioni a lungo termine delle temperature e dei modelli meteorologici che avvengono sia per cause naturali che per cause antropiche.

All’art. 1 della United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) o Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici il cambiamento climatico è attribuito, direttamente o indirettamente, alle attività umane e si affianca alla variabilità climatica naturale. La stessa è definita come “le variazioni nello stato medio e altre statistiche del clima su tutte le scale temporali e spaziali, al di là dei singoli eventi meteorologici”. (UNFCCC)

Nonostante il cambiamento climatico sia il frutto di cause sia naturali che antropiche, quest’ultime, dal secolo XIX, hanno contribuito ampiamente a incrementarne il fenomeno e gli effetti che ne sono seguiti possono essere ricondotti per la maggior parte ai processi di combustione dei combustibili fossili e alla conseguente produzione dei cosiddetti gas serra (anidride carbonica e metano), cioè quei gas in grado di trattenere il calore. È importante evidenziare che non sono le sole attività umane a causare l’effetto serra poiché esso rappresenta un effetto naturale e benefico, senza il quale non sarebbe possibile la vita sulla Terra. Tuttavia, le attività antropiche occupano un ruolo fondamentale in questo processo andando ad accrescere tale fenomeno e provocando

quindi condizioni ambientali con un impatto molto negativo. In particolare, negli ultimi anni si è visto sempre più spesso il verificarsi di ondate di calore, periodi di siccità e incendi oppure inondazioni improvvise e ancora molti altri effetti. Questi fenomeni hanno assunto una portata più violenta col passare del tempo e la loro manifestazione ha raggiunto anche una maggior frequenza.

Il tema del cambiamento climatico è sempre più oggetto di riflessione e discussione a tutti i livelli della società. Si tratta di un fenomeno che influisce sulla salute umana nonostante risulti complicato stimare esattamente in quale misura e i rischi associati ad esso. Tra gli aspetti più rilevanti, l'incremento delle temperature occupa un ruolo di grande rilievo. Esso, infatti, rappresenta in ambito lavorativo un ostacolo da non sottovalutare poiché l'esposizione prolungata a temperature superiori rispetto alle normali condizioni di comfort inficia in maniera significativa sull'attività fisiologica e sui sistemi di termoregolazione dell'individuo. Condizioni lavorative di questa tipologia sono potenzialmente molto pericolose per la salute del lavoratore se non vi sono gli opportuni accorgimenti. Le potenziali conseguenze a condizioni climatiche calde o molto calde sono trattate successivamente nel capitolo 2.3 "GLI EFFETTI FISIologici SULLA SALUTE" in modo più approfondito.

Le reti meteorologiche dell'OSMER-ARPA e della Protezione civile del Friuli-Venezia-Giulia (FVG) consentono il monitoraggio del clima della regione.

Secondo lo "Studio condotto sullo stato di fatto concernente la conoscenza d'insieme del territorio fisico regionale per la valutazione degli impatti dovuti ai cambiamenti climatici"², basato sui dati di monitoraggio delle reti meteo in FVG, le modificazioni che comporterebbero il cambiamento climatico sarebbero in linea rispetto alla tendenza globale dell'incremento delle temperature medie dell'atmosfera e delle acque marine. Tuttavia, i dati definiscono uno scenario in cui l'aumento della temperatura annua del FVG è compreso tra 1,5-2,0 °C, ovvero il doppio rispetto a quello globale. Dagli stessi ne

² https://www.regione.fvg.it/rafv/export/sites/default/RAFVG/ambiente-territorio/geologia/FOGLIA22/allegati/Impatti_dei_cambiamenti_climatici_sul_territorio_fisico_regional_e.pdf

deriva che il fenomeno di riscaldamento si è manifestato in misura maggiore nei mesi primaverili ed estivi rispetto a quelli invernali.

3. IL MICROCLIMA

3.1 INQUADRAMENTO NORMATIVO

Il rischio microclimatico appartiene alla categoria degli agenti fisici, definita dal Titolo VIII, Capo I del Decreto Legislativo 81/2008 “Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro”. Questa classe di rischi è rappresentata da fattori governati da leggi fisiche, che per mezzo delle proprie caratteristiche sono in grado di modificare le condizioni ambientali nei luoghi in cui si presentano poiché possono immettere una quantità di energia negli ambienti di lavoro superiore a valori normalmente tollerati e che quindi risultano essere potenzialmente dannosi per la salute dei lavoratori.

Il microclima è definito dall’articolo 180 del D. Lgs. 81/2008 come uno degli agenti di rischio fisico. Non esiste un capo specifico del Titolo VIII dedicato al microclima e per queste motivazioni si applicano le Disposizioni Generali contenute negli articoli 181-186. Come per gli altri rischi sussiste l’obbligo, di cui all’articolo 181, da parte del Datore di Lavoro di valutare e identificare le misure di prevenzione e protezione per minimizzare tale rischio.

Sussiste inoltre l’obbligo, di cui all’articolo 184, di informare e formare i lavoratori ed i loro rappresentanti in funzione dell’esito della valutazione dei rischi. Questo aspetto assume grande rilevanza per i lavoratori sensibili al rischio microclimatico.

Oltre alle Disposizioni Generali, il rischio microclimatico è normato in parte anche dall’Allegato IV del medesimo Decreto Legislativo e richiamato dall’articolo 63 che richiede la conformità dei luoghi lavorativi agli elementi da essi indicati. Gli elementi in questione riguardano la temperatura dei locali e l’umidità. Per quanto concerne il primo aspetto è richiesto che la temperatura all’interno dei locali sia adeguata all’organismo umano nel corso dell’orario di lavoro, in relazione ai metodi di lavoro applicati e degli sforzi fisici dei lavoratori. Deve essere tenuto conto anche dell’influenza che può avere un certo grado di umidità e il movimento dell’aria e si devono risultare conformi anche i locali di riposo, i servizi igienici, le mense, i locali di pronto soccorso ed i locali per il personale di vigilanza. Si deve considerare la tipologia di attività e la natura dei locali, se

essi presentano finestre, lucernari e pareti vetrate, queste devono essere progettate in modo da non causare un soleggiamento eccessivo. Nel caso in cui non sia conveniente modificare la temperatura del locale è necessario intervenire mediante l'utilizzo di misure tecniche localizzate o mezzi di protezione personali.

L'umidità è invece uno di quegli elementi, che in relazione alla temperatura, se questi parametri risultano al di fuori dei limiti di accettabilità, può favorire la formazione della nebbia.

A favorire un quadro più completo del rischio microclima sono state pubblicate dall'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro o INAIL nel 2018, le linee guida denominate, "La Valutazione del Microclima". Ad esse è stato successivamente affiancato un breve aggiornamento nel 2021 riguardante le strategie e tecniche di misura dello stress termico.

Il microclima è inoltre regolato dalle norme ISO dove questo termine è un acronimo che indica "International Organization for Standardization". Nello specifico, a livello nazionale è normato dalle UNI EN ISO. Il seguente elenco tiene conto solo di quelle oggetto di interesse per il caso specifico oggetto di studio. Per questo motivo non sono riportate le norme relative agli ambienti definiti come "severi freddi".

- UNI EN ISO 7726:2002 "Ergonomia degli ambienti termici - Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche";
- UNI EN ISO 9886:2004 "Ergonomia - Valutazione degli effetti termici mediante misurazioni fisiologiche";
- UNI EN ISO 8996:2021 "Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione del metabolismo energetico";
- UNI EN ISO 9920:2009 "Ergonomia dell'ambiente termico - Valutazione dell'isolamento termico e della resistenza evaporativa dell'abbigliamento";
- UNI EN ISO 12894:2002 "Ergonomia degli ambienti termici - Supervisione medica per persone esposte ad ambienti "molto caldi" o "molto freddi";
- UNI EN ISO 7730:2006 "Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici

PMV (voto medio previsto) e il PPD (percentuale di soggetti insoddisfatti prevista) e dei criteri di benessere termico locale”;

- UNI EN ISO 7933:2005 “Ergonomia dell’ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile”;
- UNI EN ISO 7243:2017 “Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dello stress da calore utilizzando l’indice WBGT (temperatura globo del bulbo bagnato)”;

La pubblicazione dell’INAIL “La Valutazione del Microclima 2018” riporta la definizione di microclima come “il complesso dei parametri climatici dell’ambiente nel quale un individuo vive o lavora. L’interazione dell’individuo con l’ambiente termico che lo circonda può dar luogo ad una serie di effetti estremamente varia che spazia da aspetti di tipo percettivo (comfort/discomfort) ad aspetti di tipo prestazionale fino ad aspetti che coinvolgono elementi fisiologici e finanche le funzioni vitali dell’individuo stesso”. (Parsons, 2003)

3.2.1. GLI AMBIENTI TERMICI: “MODERATI” E “SEVERI”

L’ambiente termico assume una prima distinzione sulla base degli scambi termici che si verificano tra l’ambiente e il soggetto occupante. Secondo questo criterio sono individuati gli ambienti “moderati”, per i quali lo scambio energetico tra soggetto e ambiente consente il raggiungimento delle condizioni di comfort o equilibrio termico ed è caratterizzato da scostamenti di temperatura moderati rispetto alle condizioni di comfort termico ideali. In particolare, in questa categoria di ambienti, l’organismo è in grado di mantenere l’equilibrio termico senza sollecitare in maniera intensiva il sistema di termoregolazione.

Gli ambienti “severi” invece, le cui condizioni ambientali non consentono il raggiungimento di una condizione termica di comfort, possono causare uno squilibrio termico nel soggetto esposto costituendo un fattore di rischio per la salute di quest’ultimo. L’aspetto fondamentale nei luoghi che prevedono un clima severo è rappresentato dalla forte sollecitazione a cui è sottoposto il sistema di termoregolazione

affinché sia mantenuta la temperatura del core intorno ai 37 °C. In caso contrario possono manifestarsi effetti temporanei, ma anche permanenti a danno dell'organismo. È inoltre conveniente stabilire, per fini pratici che un ambiente termico sia definito "severo" se provoca tali effetti in un tempo inferiore alle 8 ore della convenzionale giornata lavorativa ad un individuo esposto.

Come precedentemente esposto, il microclima viene trattato in maniera differente a seconda della tipologia di ambiente termico. Infatti, all'interno dello stesso D. Lgs 81/2008 viene affrontato sia nel Titolo VIII, Capo I, sia nell'Allegato IV. Nel primo caso è considerato come un agente fisico in grado di causare un rischio per la salute e la sicurezza che comporta la necessità di minimizzare e se possibile, eliminare il rischio. All'interno dell'Allegato IV è invece trattato come un requisito di salute e sicurezza, per il quale è necessario adeguare diversi parametri microclimatici, quali la temperatura, l'umidità e la velocità dell'aria e la relazione tra essi, ma anche i metodi di lavoro applicati e gli sforzi fisici imposti ai lavoratori al fine di massimizzare le condizioni comfort.

3.2.2 GLI AMBIENTI TERMICI: "MODERABILI" E "VINCOLATI"

Secondo un'ulteriore classificazione degli ambienti termici, essi possono essere distinti in due categorie: gli ambienti termicamente "moderabili" e gli ambienti termicamente "vincolati". I primi sono caratterizzati dall'assenza di vincoli che possono pregiudicare il raggiungimento del comfort termico. I secondi, invece, presentano uno o più elementi vincolanti, tra cui i parametri ambientali, principalmente la temperatura, ma anche l'attività metabolica ed il vestiario. Tutti questi elementi possono impedire il raggiungimento delle condizioni di comfort.

Di conseguenza, risulta necessario una valutazione a monte per determinare la presenza di vincoli legati alle condizioni termo-igrometriche ambientali o alle condizioni correlate all'abbigliamento e al metabolismo del soggetto.

Di seguito, si riporta in "Figura 2" uno schema esemplificativo delle linee guida INAIL "La Valutazione del Microclima" relativa alla distinzione principale tra gli ambienti "moderabili" e quelli "vincolati".

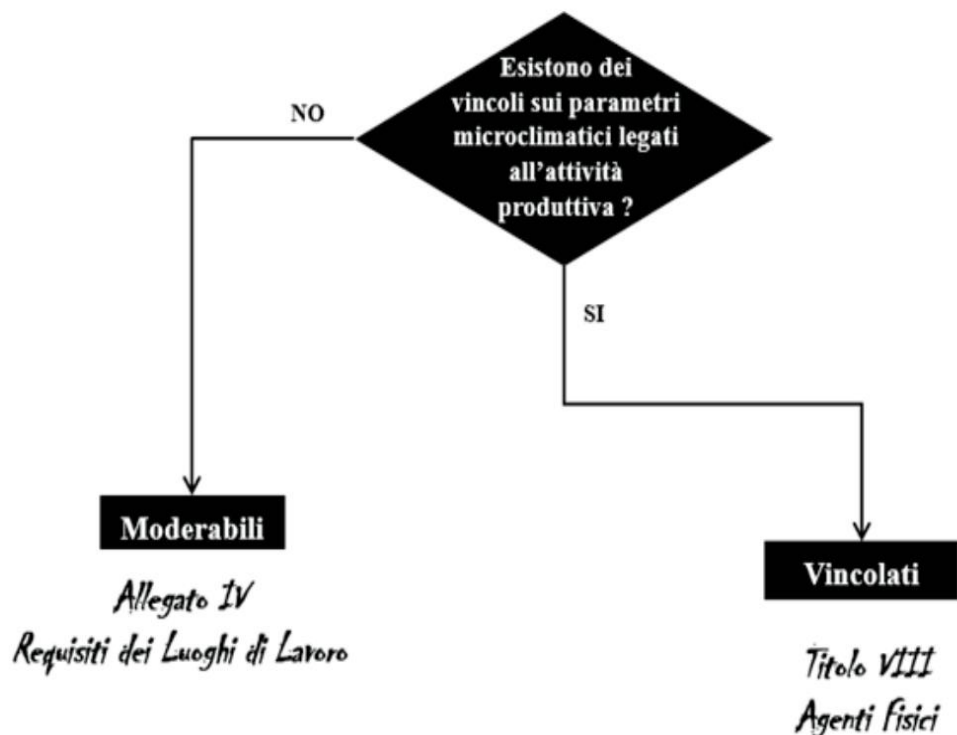


Figura 2: Discriminazione radicale fra ambienti ad obiettivo comfort (Moderabili) ed ambienti ad obiettivo tutela della salute (Vincolati).

Esso dimostra il processo secondo cui un ambiente, in cui vi è l'assenza di vincoli, è valutato in un'ottica di perseguimento delle condizioni di comfort ai sensi del punto 1.9.2. dell'Allegato IV del D. Lgs 81/2008. Nel caso in cui siano presenti dei vincoli che possono pregiudicare il raggiungimento delle condizioni di comfort, la valutazione deve essere effettuata secondo il criterio di tutela della salute ai sensi del Titolo VIII del medesimo decreto.

Seppur l'Allegato IV del D. Lgs 81/2008 esponga determinati parametri fisici da tenere in considerazione per la valutazione di un'eventuale condizione di discomfort termico, esso non contiene le indicazioni riguardanti gli indici sintetici né i valori limite di accettabilità. Per far fronte a questa situazione sono infatti necessarie le norme di buona tecnica poiché le sole indicazioni sarebbero altrimenti di carattere generale e risulterebbero quindi limitate.

Gli ambienti “moderabili” sono caratterizzati dal raggiungimento delle condizioni di comfort e la base per la valutazione del benessere termo-igrometrico è rappresentata dalla norma tecnica UNI EN ISO 7730, la quale quantifica il discomfort secondo l’indice PMV. Esso, infatti, rappresenta il miglior compendio delle disposizioni presenti nell’Allegato IV poiché combina parametri di natura fisica e di natura individuale del soggetto. Tale indice rappresenta “il giudizio medio potenzialmente espresso da un campione definito di soggetti e diversa età, genere, etnia, relativo al complesso delle variabili microclimatiche e dei parametri individuali che caratterizzano l’ambiente”. (“Valutazione del Microclima 2018”, INAIL)

I parametri fisici sono:

- La temperatura dell’aria ($^{\circ}\text{C}$ o K);
- La temperatura media radiante ($^{\circ}\text{C}$ o K);
- La pressione parziale del vapore acqueo (Pa);
- La velocità relativa dell’aria (m/s).

I parametri individuali sono:

- Attività metabolica: Watt/m^2 o met ($1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$) pari a $104,8 \text{ Watt}$ per la superficie corporea standard di un individuo energetico adulto ($1,8 \text{ m}^2$);
- Isolamento termico del vestiario: $\text{m}^2 \text{ Kelvin/Watt}$ o clo ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$).

I parametri fisici sono misurabili mediante la centralina microclimatica per caratterizzare l’ambiente in esame. I parametri individuali non sono misurabili tramite la centralina; di conseguenza la loro valutazione viene effettuata sulla base delle norme tecniche.

3.3 GLI EFFETTI FISIologici SULLA SALUTE

L’uomo è un organismo omeotermo, cioè è in grado di mantenere costante la propria temperatura corporea o per lo meno entro certi limiti. Tale processo viene eseguito in maniera indipendente rispetto alle variazioni termiche dell’ambiente ed alle variazioni quantitative di calore generate dall’organismo attraverso i processi metabolici attivati dai meccanismi interni di termoregolazione. Quest’ultimi non sono altro che meccanismi fisiologici che tendono a mantenere costante la temperatura del soggetto mediante il

bilanciamento dei processi di produzione e di dispersione del calore, rispetto alle variazioni di temperatura. Questo processo è reso possibile dai continui scambi termici che si manifestano tra soggetto e ambiente mediante processi di convezione, evaporazione, irraggiamento ed in parte minore per conduzione a livello cutaneo e per convezione ed evaporazione tramite l'attività respiratoria. Di fatto, l'organismo umano è un sistema termico interessato da flussi di energia entrante e uscente e dalla generazione di energia al suo interno. Se l'effetto complessivo di questi flussi non è nullo, ci sarà conseguentemente un aumento o una diminuzione del contenuto termico del sistema, corrispondenti ad un incremento o ad un abbassamento della temperatura propria.

Nello specifico è la regione anteriore e l'area preottica dell'ipotalamo che garantiscono l'equilibrio termico. Infatti, le informazioni necessarie ad esse arrivano dai termocettori profondi centrali, sensibili alle variazioni della temperatura della zona centrale del corpo o core, e dai termocettori periferici o cutanei, sensibili alle variazioni della temperatura esterna al caldo e al freddo. In seguito alla ricezione di tali informazioni, l'ipotalamo attiva gli effettori periferici per modulare la risposta relativa alla dissipazione o alla produzione di calore mediante un meccanismo a feed-back.

I parametri che influenzano gli scambi energetici individuo-ambiente sono quelli ambientali, ovvero la temperatura, l'umidità relativa, la temperatura media radiante e la velocità dell'aria, e quelli individuali del soggetto, cioè l'attività svolta che influenza il metabolismo energetico e l'isolamento termico dell'abbigliamento.

Il bilancio energetico è definito dalla seguente formula:

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

nella quale:

- S: è la differenza termica acquisita e dissipata dal corpo umano;
- M: è la potenza termica prodotta dai processi metabolici o metabolismo energetico;
- W: è la potenza meccanica impegnata per compiere lavoro meccanico;

- C_{RES} : è la potenza termica scambiata nella respirazione per convezione;
- E_{RES} : è la potenza termica scambiata nella respirazione per evaporazione;
- K : è la potenza termica scambiata per conduzione;
- C : è la potenza termica scambiata per convezione;
- R : è la potenza termica scambiata per irraggiamento;³ (riferimento nella formula e non qua)
- E : è la potenza termica ceduta per evaporazione (traspirazione e sudorazione).

In funzione del valore che assume S si può definire lo stato termico dell'organismo.

BILANCIO TERMICO	STATO TERMICO DELL'ORGANISMO
$S = 0$	OMEOTERMIA
$S > 0$	SENSAZIONE DI CALDO
$S < 0$	SENSAZIONE DI FREDDO

Tabella 1: definizione dello stato termico dell'organismo in base al valore del bilancio termico (S)

Il bilancio termico (S) del corpo umano è sottoposto ad una condizione costante di scambi energetici con l'ambiente circostante. Il valore assunto da S è fondamentale poiché l'organismo lavora per il raggiungimento dell'equilibrio termico (omeotermia), nel quale la potenza ceduta all'ambiente risulta quantitativamente uguale a quella generata dai processi metabolici.

Conseguentemente a quanto detto, si possono manifestare diverse condizioni termiche nell'individuo. Se il bilancio termico viene mantenuto con il minimo sforzo mediante l'attività dei sistemi di termoregolazione, si può dire che l'organismo si trova in una condizione di benessere termico. Nel caso in cui i sistemi di termoregolazione siano attivati a causa di un disagio termico, l'organismo risulterebbe in uno stato di discomfort termico. Se invece, S è minore o maggiore di 0, si evidenzerebbe una condizione di stress termico a carico dell'organismo.

³ I termini C_{RES} , E_{RES} , K , C , R compaiono con il segno + se nello scambio termico si ha guadagno netto di energia, e viceversa sono preceduti dal segno - se si ha perdita netta di energia.

La temperatura corporea può variare in base alla parte del corpo. L'organismo umano è distinto in due regioni: la parte centrale o core è costituita dall'area addominale, toracica e dalle cavità craniche, mentre la seconda parte (periferia) comprende il resto del corpo. A distinguere queste due aree è la variazione di temperatura in quanto la fascia di variazione della temperatura nel core è molto più ristretta rispetto a quella che può verificarsi nella periferia.

3.3.1. IL METABOLISMO

Il metabolismo energetico rappresenta un elemento caratterizzante il processo di raggiungimento del comfort termico. È l'energia chimica contenuta negli alimenti, trasformata in calore e lavoro, mediante processi di ossidazione, detti anche processi metabolici. La quantità di calore che viene generata da essi, dipende dall'attività e dal lavoro. Il simbolo del metabolismo è indicato con la lettera M e l'unità di misura è rappresentata dal "met". Esso è il calore prodotto per unità di tempo per unità di superficie da un individuo seduto a riposo.

$$1 \text{ met} = 58,2 \text{ Wm}^{-2}$$

3.3.2. LA RESISTENZA TERMICA

Un ulteriore elemento in grado di influire fortemente sul comfort termico percepito dal lavoratore è rappresentato dalla resistenza termica del vestiario. A seconda della situazione, esso può costituire una protezione oppure un vincolo a danni del soggetto che fatica a raggiungere il comfort termico. L'unità di misura della resistenza termica è indicata in Clo mediante il simbolo I_{cl} , dove 1 Clo equivale a $0,155 \text{ m}^2 \text{ K W}^{-1}$.

Un elemento importante è rappresentato dalla norma UNI EN ISO 9920 che descrive come l'isolamento termico totale sia il risultato della somma tra l'isolamento intrinseco garantito dal tessuto adoperato e dello strato di aria tra l'indumento e il corpo, e dell'isolamento fornito dallo strato di aria trascinato dal tessuto durante il suo movimento.

3.3.3. PATOLOGIE DA CALDO

Alcune delle principali problematiche relative ad un microclima inadeguato sono legate alle patologie da caldo. Operare in ambienti caldi comporta un maggior carico di lavoro

al sistema cardiovascolare, anche se, risultano impattanti pure l'attività fisica svolta dal soggetto e le caratteristiche individuali di quest'ultimo.

Uno dei principali effetti che può manifestarsi è la vasodilatazione periferica dei vasi. Un processo che comporta un aumento del flusso sanguigno verso la superficie corporea facendo incrementare la temperatura centrale. Un altro effetto è causato dall'attività fisica stessa del soggetto che provoca un ulteriore incremento del flusso di sangue verso i muscoli interessati dallo sforzo fisico.

Per quanto concerne il lavoro intenso svolto in ambienti "severi caldi", la capacità cardiaca rappresenta un limite importante per il soggetto sottoposto a sforzo intenso. Questo aspetto inficia sul sistema cardiovascolare ponendolo in una condizione di sovraccarico tale da non adempiere entrambe le richieste in maniera adeguata.

Il lavoro in ambienti caldi può comportare diversi tipi di patologie; una di queste è la sincope da calore, la cui causa è riconducibile alla vasodilatazione eccessiva che provoca stasi venosa periferica, ipotensione e anche insufficiente flusso sanguigno cerebrale. Una situazione di questo tipo può includere sintomi quali pallore, senso di stordimento e vertigini, fino alla completa perdita di coscienza del soggetto.

Un caso particolare di interesse è rappresentato dai lavoratori non acclimatati⁴. Per questa tipologia di soggetti è frequente la manifestazione di una ipertermia fino a 39 °C che, tuttavia, non comporta né l'abolizione della sudorazione e né agitazione motoria.

Un'ulteriore condizione possibile è l'esaurimento della termoregolazione. Questo effetto risulta più grave rispetto agli altri e può presentarsi sotto forma di due condizioni: iperpiressia e colpo di calore. In entrambi i casi si ha l'aumento della temperatura centrale oltre la soglia dei 40,5 °C, nonché l'arresto della sudorazione. Ciò è dovuto all'inibizione dei meccanismi centrali della termoregolazione e in base all'intensità dei sintomi nervosi si possono distinguere due scenari.

⁴ Non acclimatati: l'acclimatazione è un processo di adattamento dell'organismo a un clima differente da quello di origine risultato della risposta alle variazioni dell'ambiente in cui si trova.

In caso di iperpiressia il soggetto può manifestare agitazione oppure delirio, con sintomi quali tachicardia, polipnea, cute secca e ardente, mancanza di coordinazione motoria, prostrazione e grave ipotonia muscolare. Nel caso del colpo di calore, invece, possono verificarsi convulsioni epilettiformi o coma. Questa situazione rappresenta un peggioramento della condizione precedente e può portare alla morte dell'individuo se non prontamente trattato.

Un ulteriore sintomo in grado di verificarsi sono i cosiddetti crampi da calore. Essi rappresentano una condizione patologica di probabile manifestazione se i soggetti sono sottoposti a lavori intensi o in condizioni caldo umide rilevanti. Sono caratterizzati da spasmi che si manifestano a livello muscolare e che provocano dolore. Generalmente hanno una durata variabile da 1 a 3 minuti a carico di varie zone del corpo: polpaccio, addome o colonna vertebrale. Spesso sono anticipati da diversi elementi: astenia o senso di debolezza ingravescente, cute arrossata, calda e umida e ipotensione. La principale misura di prevenzione è rappresentata da un'adeguata idratazione e dall'assunzione di soluzioni isotoniche di cloruro di sodio. In caso contrario, secondo le condizioni prima descritte, si può manifestare nell'arco di poche ore un deficit idrico.

I primi segnali della disidratazione si manifestano mediante sete marcata, sudorazione ridotta o abolita, elevata densità urinaria e sodio plasmatico aumentato quando le perdite raggiungono circa il 5% del volume di acqua totale. Il deficit di sodio è causato dal ripristino inadeguato di quello perso tramite la sudorazione e si manifesta almeno dai 3 ai 5 giorni successivi all'esposizione mediante una sete discreta, polso lento, vertigini frequenti, fatica intensa, crampi, vomito, emoconcentrazione precoce e pronunciata, marcata diminuzione di sodio e cloro urinari, riduzione del sodio plasmatico.

Le patologie associabili allo svolgimento di attività in ambienti "severi caldi" comprendono anche quelle a carico delle ghiandole sudoripare e della pelle come le ustioni per contatto con solido o liquido caldi e per irradiazione. Tra le manifestazioni cutanee di entità minore c'è l'eritema da calore, il quale è caratterizzato da un'eruzione papulo-vescicolosa che provoca eritema e prurito a causa della presenza sia eccessiva

che prolungata di sudore sulla pelle. Da questo disturbo ne può conseguire l'anidrosi o arresto della secrezione del sudore. Essa è causata dall'ostruzione ad opera di tappi di cheratina dei canali escretori delle ghiandole sudoripare.

4. GLI INDICI DESCRITTORI

4.1 INDICI DESCRITTORI PER LA VALUTAZIONE DEL COMFORT/DISCOMFORT TERMICO

Ai fini della valutazione del comfort o discomfort termico viene utilizzato l'indice PMV. Esso serve per la valutazione degli ambienti di tipo "moderato" e rappresenta il voto medio previsto che sarebbe espresso da un gruppo di persone di età, genere ed etnia diversa, se queste fossero esposte alle condizioni microclimatiche oggetto della valutazione.

Viene espresso mediante una "scala di sensazione termica" a 7 punti; da -3 (molto freddo) a +3 (molto caldo) ed il valore 0 indica la neutralità.

VALORE	SENSAZIONE
+3	Molto caldo
+2	Caldo
+1	Leggermente caldo
0	Neutro
-1	Leggermente freddo
-2	Freddo
-3	Molto freddo

Tabella 2: scala dei valori termici ASHRAE a 7 punti che indica la corrispondenza tra PMV e sensazione termica

È necessario però evidenziare che si tratta di un giudizio medio. Questo aspetto implica la presenza di una certa variabilità in base alla risposta individuale, anche nel caso in cui i soggetti siano esposti alle medesime condizioni microclimatiche e che effettuino la stessa attività adoperando lo stesso vestiario. Di conseguenza non è plausibile individuare una condizione ideale per tutti gli individui.

Per sopperire a questa criticità viene introdotto un altro indice: il Predicted Percentage of Dissatisfied o PPD. Esso indica la percentuale prevista di soggetti insoddisfatti nei confronti delle condizioni microclimatiche dell'ambiente termico oggetto della

valutazione valido per quei voti che il giudizio termico assume in valore assoluto maggiori o uguali a 2.

I due indici possono essere così relazionati dalla seguente formula:

$$PPD = 100 - 95 \times \exp - (0,03353 \times PMV^4 + 0,2179 \times PMV^2)$$

da essa ne consegue che, in corrispondenza di un PMV di valore 0, il valore minimo assunto dal PPD è invece pari al 5%. È inoltre da specificare che l'indice PPD è funzione dell'indice PMV e nient'altro e di conseguenza non contiene ulteriori informazioni relative all'ambiente.

Il calcolo del PMV e del PPD si basa sulla misurazione dei parametri fisici ed individuali che caratterizzano il rapporto individuo-ambiente e generalmente vengono calcolati mediante opportuni software.

Affinché l'indice PMV sia applicabile è necessario che siano soddisfatti determinati requisiti ambientali. In primo luogo, l'ambiente deve appartenere alla categoria del tipo "moderato" e di conseguenza il valore del PMV deve risultare inferiore a 2 in termini di valore assoluto secondo la scala ASHRAE. È poi fondamentale che siano soddisfatti i parametri ambientali: fisici e individuali. Essi devono essere compresi entro i limiti stabiliti dalla norma.

Parametri	Quantità	Simbolo	Unità di misura
FISICI	t_a	°C	+10 ÷ +30
	t_r	°C	+10 ÷ +40
	p_a	Pa	0 ÷ 2700
	v_a	m/s	0 ÷ 1
INDIVIDUALI	M	met	0,8 ÷ 4
	I_{cl}	clo	0 ÷ 2

Figura 3: tabella INAIL "Valutazione Microclima 2018" degli intervalli di applicabilità degli indici fisici e individuali dell'indice PMV

Di seguito si propone il percorso logico di valutazione degli ambienti di tipo “moderato” mediante il metodo PMV, di tipo “non moderato” e quelli appartenenti alla categoria “moderabile”.

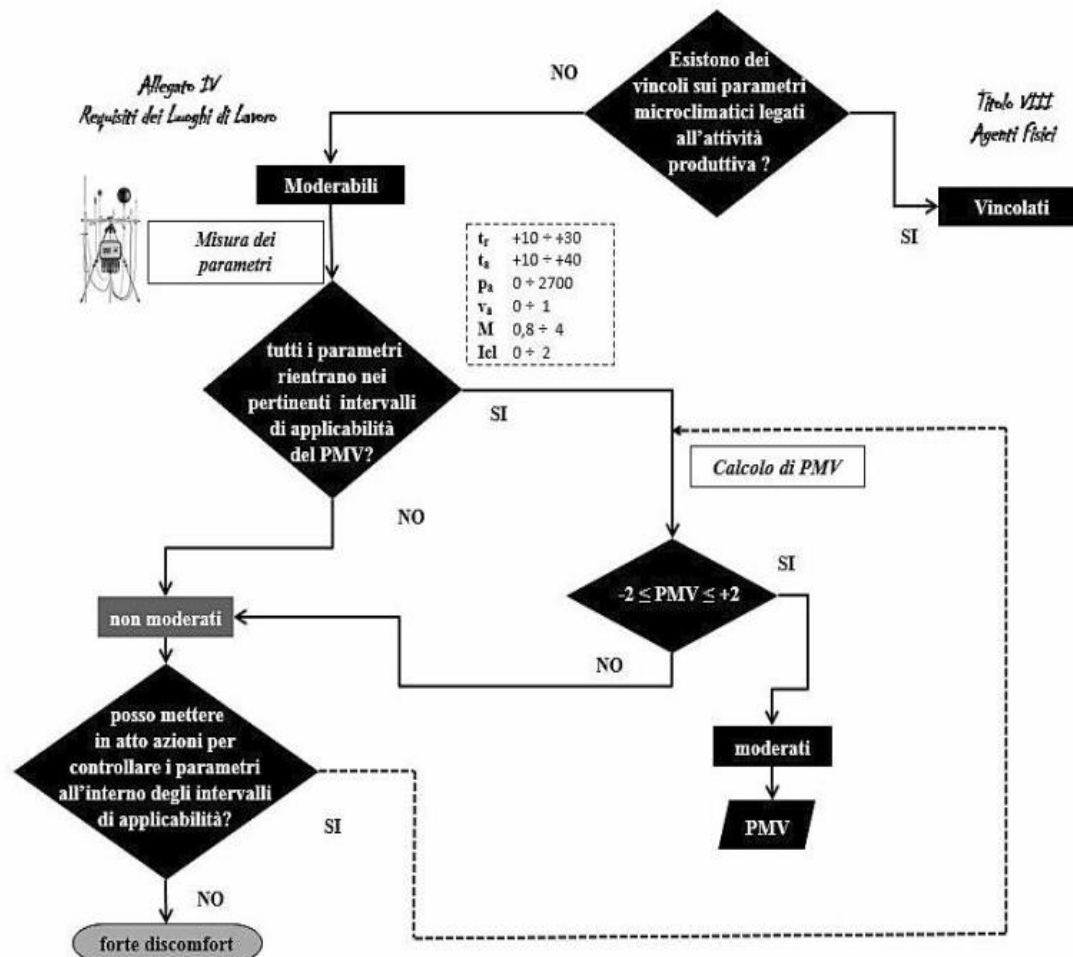


Figura 4: processo di valutazione degli ambienti; INAIL “Valutazione Microclima 2018”

4.2 INDICI DESCRITTORI PER LA VALUTAZIONE DELLO STRESS TERMICO DA CALDO

Ai fini della valutazione dello stress termico da ambiente caldo possono essere adoperati due indici a seconda dei casi: l'indice WBGT e l'indice PHS.

4.2.1. INDICE WBGT

Il WBGT è un indice sperimentale descritto nella norma UNI EN ISO 7243 che consente di escludere la presenza di un rischio da caldo in un determinato ambiente termico. La

sua principale utilità è quella di rappresentare uno screening⁵ per valutare presenza di stress termico, senza che sia effettivamente quantificato; pertanto, questo metodo viene utilizzato a monte del processo di valutazione. Affinché sia calcolato è necessario prendere in considerazione i valori dalle sonde della centralina microclimatica relativi alla temperatura del globotermometro, alla temperatura di bulbo umido a ventilazione naturale e alla temperatura dell'aria (solo all'esterno). Di seguito si riporta la formula per il calcolo dell'indice WBGT:

- In assenza di carico di calore: $WBGT = 0,7 \times t_{nw} + 0,3 \times t_g$
- In presenza di carico di calore: $WBGT = 0,7 \times t_{nw} + 0,2 \times t_g + 0,1 \times t_a$

dove:

- t_{nw} è la temperatura di bulbo umido a ventilazione naturale
- t_g è temperatura del globotermometro
- t_a è la temperatura dell'aria

ai fini dell'ottenimento di un valore più rappresentativo viene considerato il fattore di correzione Clothing Adjustment Value o CAV se vestiario utilizzato è diverso dal vestiario di riferimento. Successivamente viene confrontato tale valore dell'indice WBGT con uno di riferimento ($WBGT_{ref}$), il quale dipende esclusivamente dal metabolismo energetico dell'individuo e dal suo acclimatemento. In seguito a questo confronto si possono distinguere due scenari.

Il primo si presenta se il valore dell'indice WBGT è maggiore rispetto al $WBGT_{ref}$; ne consegue una valutazione più approfondita mediante il metodo PHS.

Il secondo scenario si manifesta se il valore dell'indice WBGT risulta inferiore rispetto al $WBGT_{ref}$; in questo caso, invece, i soggetti non sono esposti a stress termico e quindi non è necessaria una valutazione più approfondita secondo il metodo PHS.

L'indice $WBGT_{ref}$ può essere determinato mediante due espressioni in funzione della condizione nella quale si trova il soggetto, se acclimatato o non acclimatato:

⁵ Screening: indagine su campione

- $WBGT_{ref} = 56,7 - 11,5 \times \log_{10} (M)$
- $WBGT_{ref} = 59,9 - 14,1 \times \log_{10} (M)$

dove M è espresso in Watt (W).

Di seguito si riporta l'andamento delle due espressioni del $WBGT_{ref}$ in relazione al metabolismo.

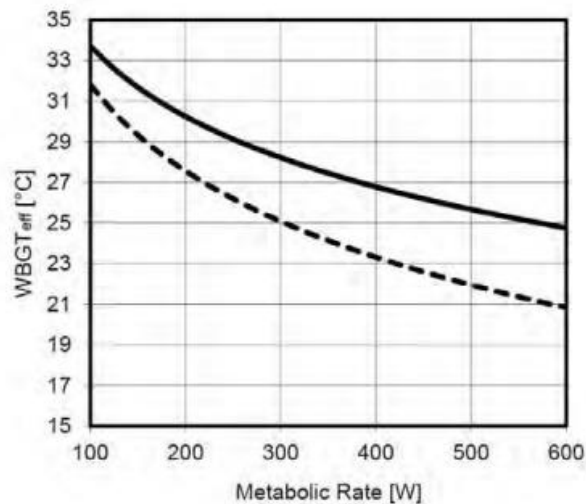


Figura 5: grafico INAIL "Valutazione del Microclima 2018" andamento del $WBGT_{ref}$ in funzione del metabolismo per soggetto acclimatato (linea a tratto pieno) e non acclimatato (linea tratteggiata).

4.2.2. INDICE PHS

Il metodo Predicted Heat Strain o PHS prevede che siano conosciuti determinati parametri: fisici e individuali. Essi sono riassunti nella seguente tabella:

Parametri	Quantità	Simbolo	Unità di misura
FISICI	temperatura dell'aria	t_a	°C o K
	temperatura media radiante	t_r	°C o K
	pressione parziale del vapore acqueo	p_a	Pa (1 Pa = 1 N/m ²)
	velocità relativa dell'aria	v_a	m/s
INDIVIDUALI	attività metabolica (ovvero dispendio metabolico ovvero metabolismo energetico)	M	W/m ² o met (1 met = 58,2 W/m ²) pari a 104,8 W per la superficie corporea standard di un individuo adulto (1,8 m ²)
	isolamento termico del vestiario	I_{cl}	m ² K/W o clo (1 clo = 0,155 m ² K/W)

Figura 6: tabella INAIL "Valutazione Microclima 2018" dei parametri fisici e individuali per il calcolo dell'indice PHS

Affinché il PHS possa essere applicato condizione necessaria è che i seguenti parametri ricadano entro determinati limiti di accettabilità.

QUANTITÀ	INTERVALLO DI ACCETTABILITÀ
Temperatura dell'aria	+ 15 °C....+ 50 °C
Temperatura media radiante	0.... + 60 °C
Pressione parziale di vapore	0.... 4500 Pa
Velocità dell'aria	0.... 3 m/s
Attività metabolica	0,8.... 4,5 met
Isolamento termico del vestiario	0,1.... 1 clo

Tabella 3: limiti di accettabilità dei parametri fisici ed ambientali dell'indice PHS

Classi metaboliche (v. descrizione in tabella 15)	Classe metabolic a (Watt)	WBGT Limiti di riferimento persone acclimatate °C	WBGT Limiti di riferimento persone non acclimatate °C
Classe 0 Classe metabolica riposo	115	33	32
Classe 1 Classe metabolica bassa	180	30	29
Classe 2 Classe metabolica moderata	300	28	26
Classe 3 Classe metabolica moderata alta	415	26	23

Classe 4			
Classe metabolica molto alta	520	25	20
I valori per WBGT _{eff} qui forniti dovrebbero essere armonizzati con gli standard nazionali esistenti. Alcuni standard sono rivisitati in futuro, i valori possono essere considerati rispetto alle relative equazioni. I nuovi valori generalmente differiscono di $\pm 1^{\circ}\text{C}$.			

Tabella 4: Classificazione metabolismo energetico con i limiti WBGT per persone acclimatate e non acclimatate

CLASSE	LIVELLO METABOLICO	ESEMPIO
Classe 0 Classe metabolica a riposo	115 (da 100 a 125)	Riposo, seduto a proprio agio
Classe 1 Classe metabolica bassa	180 (da 125 a 235)	Lavoro manuale leggero (scrittura, dattilografia, disegno, cucito, tenuta di libri); mano e braccio (strumenti da banco, ispezione, assemblaggio o smistamento materiali); lavoro a braccia e gambe (guidare il veicolo in condizioni normali, interruttore a pedale o pedale funzionante). Foratura in piedi (piccole parti); fresatrice (minuteria); avvolgimento della bobina; Avvolgimento di piccole armature; lavorazione con utensili a bassa potenza;

CLASSE	LIVELLO METABOLICO	ESEMPIO
		Camminata casuale su una superficie piana (velocità fino a 2,5 km/h).
Classe 2 Classe metabolica moderata	300 (da 235 a 360)	Mantenimento delle mani e delle braccia (martellatura delle unghie, limatura); lavoro a braccia e gambe (funzionamento fuoristrada di camion, trattori o macchine movimento terra); braccio e tronco lavoro (lavoro con martello pneumatico, assemblaggio trattore, intonacatura, movimentazione intermittente di materiale moderatamente pesante, diserbo, zappare, raccogliere frutta e verdura, spingere o tirare carrelli leggeri o carriole, camminare ad una velocità compresa tra 2,5 e 5,5 km/h su una superficie piana).
Classe 3 Classe metabolica moderata alta	415 (da 360 a 465)	Braccio intenso e lavoro sul tronco; trasportare materiale pesante; spalare; diserbare, lavoro al martello; segatura; progettare o scalpellare il legno duro; falciatura a mano; scavare; camminare ad una velocità compresa tra 5,5 e 7 km/h su una superficie piana. Spingere o tirare carrelli a mano o carriole carichi pesantemente; scalpellare, levigatura; posa in blocchi di calcestruzzo.

CLASSE	LIVELLO METABOLICO	ESEMPIO
Classe 4 Classe metabolica molto alta	520 (>465)	Attività molto intensa a velocità veloce e massima; lavorare con un'ascia; spalancare o scavare intensamente; salire le scale, rampe o scalette; camminare velocemente con piccoli passi; correre su una superficie piana; camminare ad una velocità maggiore di 7 km/h su una superficie piana

Tabella 5: Classificazione dei livelli di metabolismo secondo ISO 8996 - esempi di attività associate alle differenti classi di attività metabolica

5. MATERIALI E METODI

All'interno del presente capitolo si è voluto fornire una rappresentazione completa della struttura del lavoro effettuato. È stato però deciso di assegnare una sezione più ampia e dettagliata ai metodi e agli strumenti utilizzati per la campagna di misurazione, comprendendo la fase di pianificazione, che deve essere effettuata precedentemente rispetto alla fase di campo e che deve considerare le differenti tipologie di ambienti, di lavoratori, delle mansioni svolte e anche del tempo impiegato per svolgerle, fino alla raccolta dei dati presso le diverse aziende e la loro successiva elaborazione.

Inoltre, viene fornita una descrizione accurata della centralina microclimatica utilizzata per lo svolgimento della campagna di misurazione circa il funzionamento dei suoi componenti, dei parametri adoperati nonché dei differenti indici specifici di riferimento per effettuare una valutazione microclimatica corretta degli ambienti lavorativi.

È stato scelto di esporre il lavoro sulla base di sette capitoli in modo da fornire un inserimento graduale circa gli argomenti principali, dedicati al microclima e quelli di contorno relativi, invece, alla caratterizzazione dei luoghi interessati e delle realtà aziendali.

È stato quindi descritto il contesto lavorativo oggetto di studio che è rappresentato dal Porto di Trieste. L'intenzione mediante esso era di fornire una descrizione generica della realtà commerciale, produttiva ed economica quale è il Porto di Trieste.

Considerando le numerose aziende che ne fanno parte e le differenti attività effettuate al suo interno è stato necessario soffermarsi sul rischio microclimatico in ambito occupazionale a cui sono esposti i lavoratori.

In funzione di quest'ultimo aspetto si è deciso di dedicare una certa parte del lavoro al tema del cambiamento climatico e al suo effettivo peso nei luoghi di lavoro e sui soggetti che li occupano. In particolar modo ci si è soffermato sulle attività che prevedono il proprio svolgimento in luoghi all'aperto, nei quali gli interventi di prevenzione risultano

essere più limitati poiché trattasi di ambienti soggetti a maggiori vincoli rispetto alle zone di lavoro interne, nelle quali, invece, le soluzioni di intervento risultano maggiori.

Nel capitolo successivo è stato introdotto e definito il cambiamento climatico nonché le principali cause che hanno prodotto questo fenomeno e le dirette conseguenze.

All'interno del terzo capitolo è stato dapprima fornito un inquadramento del microclima dal punto di vista normativo e di seguito, dal punto di vista degli effetti fisiologici sulla salute del lavoratore. In funzione di quest'ultimo è stato trattato, nella sua specificità, il microclima negli ambienti lavorativi ed il rischio che vi è associato.

Per la struttura della sezione successiva si è voluto porre l'attenzione sugli indici descrittori del microclima necessari per valutare il comfort e il discomfort termico, quali il PMV e il PPD, ma si è inoltre voluto approfondire la valutazione dello stress termico da caldo. In questo caso sono stati utilizzati indici differenti, quali l'indice WBGT e l'indice PHS, nonché metodi e processi diversi rispetto a quelli adoperati per il PMV e il PPD.

Infine, negli ultimi capitoli si è scelto di fornire spazio relativi ai risultati ottenuti dalle campagne di misurazione, dall'elaborazione dei dati raccolti dall'archivio dell'Osmer Arpa FVG e alle conclusioni.

Più specificatamente, il sesto capitolo comprende l'esposizione dei dati raccolti dalla centralina durante le campagne di misurazione presso le aziende e la relativa rielaborazione, analisi ed esposizione dei risultati, in seguito all'utilizzo di software dedicati al calcolo degli indici specifici e dei parametri di interesse. Questo processo è essenziale al fine di definire le tipologie di ambienti e di conseguenza, le condizioni microclimatiche in cui operano i lavoratori. L'operazione di rielaborazione dei dati si rende indispensabile per quantificare effettivamente il rischio e quindi per poter agire con successo per quanto concerne la prevenzione della salute e della sicurezza dei lavoratori.

Nella parte conclusiva, l'intenzione è di voler fornire dapprima una risposta a come, in un contesto lavorativo rappresentato da lavoratori che operano in ambito portuale, le condizioni ambientali influenzino il loro stato di salute, nonché la loro sicurezza e

produttività. Successivamente si vogliono anche fornire delle soluzioni che siano sostenibili al fine di mitigare la possibile insorgenza di effetti negativi causati dall'esposizione a condizioni termiche ritenute sfavorevoli nei luoghi di lavoro.

5.1 LA CENTRALINA MICROCLIMATICA E I SUOI COMPONENTI

Nel presente capitolo vengono definiti, nonché descritti gli strumenti ed i metodi adoperati per la valutazione del microclima e i parametri di riferimento.

Ai fini della valutazione del microclima si utilizza la centralina microclimatica dotata di sonde e il relativo software per la misurazione dei differenti parametri ambientali. Nello specifico è stata adoperata una centralina collegata allo strumento di ricezione dei dati ALMEMO 2690-8 dotata di un proprio software, ovvero l'ADA ALMEMO-DATA-ANALYZER.

Il sistema di misura è costituito dai seguenti elementi:

- Strumento di misura e memorizzazione ALMEMO
- Sonde per la misurazione dei parametri microclimatici: anemometro a filo caldo, globotermometro, psicrometro, bulbo umido a ventilazione naturale
- Treppiede
- Supporto per le sonde

I dati raccolti dalla centralina durante i rilevamenti ambientali sono successivamente elaborati mediante il software di analisi per il calcolo degli indici microclimatici secondo la normativa vigente.

La strumentazione consente di raccogliere mediante le proprie sonde, praticamente la totalità dei parametri di interesse come ad esempio la temperatura, l'umidità, la velocità dell'aria, le pressioni o gli spostamenti. Queste sonde sono normate dalla ISO 7243 e dalla ISO 27727 e dalla UNI EN 27243.



*Figura 7: strumento di ricezione dati ALMEMO
2690-8*



*Figura 8: centralina microclimatica con strumento di
ricezione dati ALMEMO 2690-8*

Come annunciato precedentemente la centralina è composta da differenti tipologie di sonde al fine di garantire dei rilievi dei parametri ambientali completi.

È utilizzata la sonda FV A605 TA10 per il reperimento dei dati relativi alla velocità dell'aria sonda anemometrica omnidirezionale a filo caldo

Per il reperimento dei dati ambientali relativi alla velocità dell'aria si adopera la sonda FV A605 TA10, cioè una sonda anemometrica omnidirezionale a filo caldo.



Figura 9: Sonda anemometrica omnidirezionale a filo caldo FV A605 TA10

Il globotermometro è una sonda globo termometrica, ovvero un termometro a irraggiamento costituito da una cavità sferica dal diametro di 15 cm e di spessore di 0.2 mm e ricoperta da un materiale detto nerofumo. Consente di misurare la temperatura operativa, la cui viene definita come “la temperatura operante rappresenta la temperatura uniforme di un ambiente nel quale un occupante scambierebbe per irraggiamento e convezione la stessa potenza termica scambiata nell’ambiente in esame termicamente non uniforme”. (UNI 10375:2011)



Figura 10: Sonda globotemometrica TT-100940A

Un ulteriore elemento è la psicrometrica FNA846 necessaria per il rilevamento dei dati relativi all'umidità dell'aria mediante la differenza di temperatura che si manifesta tra i due termometri che la compongono: uno asciutto e uno bagnato.



Figura 11: sonda termopsicrometrica FNA846

Infine, è presente la sonda a bulbo umido a ventilazione naturale che si caratterizza dal fatto che l'elemento per il rilevamento dei dati è posizionato all'interno di un serbatoio in una calza bagnata da acqua distillata. Il serbatoio è riflettente in modo da evitare che si accumuli calore a causa di fonti radianti. La sonda è necessaria per il calcolo dell'indice WBGT.



Figura 12: sonda a bulbo umido a ventilazione naturale 141004C

5.2 CRITERI PER LA MISURAZIONE

La campagna di misurazione prevede in primo luogo una fase di pianificazione che consiste nell'analisi dei luoghi di lavoro e successivo sopralluogo e valutazione. Tale situazione implica una serie di passaggi da eseguire che risultano necessari al fine di evitare errori come, per esempio, lo scorretto posizionamento della centralina microclimatica o la mancata individuazione di una postazione in cui effettuare la misurazione.

È quindi necessario considerare diversi elementi quali il periodo dell'anno, nonché l'orario in cui effettuare la campagna di misurazione, il numero e la collocazione delle postazioni ed il posizionamento della centralina, numero delle misure da effettuare in funzione della postazione e anche il periodo di acclimatamento delle sonde nei differenti ambienti da valutare.

Durante la fase di pianificazione è utile prendere visione delle planimetrie delle aziende oggetto della valutazione e, in funzione della valutazione del rischio⁶ si individua una possibile strategia di individuazione di tutti i luoghi di lavoro che possono effettivamente presentare delle condizioni di discomfort o di stress termico a carico dei lavoratori. Tra gli elementi da considerare per fornire un primo giudizio su questi ambienti si prendono in considerazione i lavoratori, la tipologia di attività che effettuano anche tenendo conto delle attrezzature o dei macchinari adoperati, se le mansioni sono svolte in piedi o sedute, il vestiario adoperato e il tempo di permanenza nei differenti ambienti di lavoro.

Successivamente prende atto la cosiddetta "fase di campo", la quale rappresenta l'elemento portante della valutazione del microclima poiché nel corso di questa fase è previsto il reperimento dei dati microclimatici mediante la centralina microclimatica e le sue sonde. Durante questo processo risulta fondamentale il corretto posizionamento e montaggio della centralina e delle sue sonde secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

⁶ La valutazione del rischio è stata effettuata in un periodo precedente e corrispondeva alla realtà delle condizioni della specifica azienda

In funzione della postura nella quale i lavoratori effettuano la propria attività, la centralina deve essere posizionata ad altezze differenti secondo quanto stabilito dalla norma UNI EN ISO 7726. Nel caso in cui le mansioni siano eseguite in posizione seduta e l'ambiente risulti omogeneo, la centralina si pone all'altezza di 0,6 metri dal suolo, mentre se l'attività viene effettuata in posizione in piedi l'altezza è fissata a 1,1 metri da terra.

Un caso particolare è rappresentato dagli ambienti che presentano una certa disomogeneità verticale e di conseguenza le misure devono essere eseguite anche all'altezza della testa e delle caviglie, rispettivamente a pari a 1,7 metri e 0,1 metri dal suolo.

La medesima norma stabilisce anche le caratteristiche minime degli strumenti di misura delle grandezze fisiche che caratterizzano l'ambiente oggetto della valutazione, specificandone i metodi con i quali misurare le grandezze fisiche dell'ambiente. Di conseguenza specifica che gli strumenti devono essere correttamente tarati e dotati della relativa certificazione da eseguire periodicamente.

Un fattore fondamentale è rappresentato dal tempo di acclimatamento delle sonde al fine di garantire la raccolta di dati rappresentativi delle condizioni microclimatiche ambientali. Questo aspetto risulta particolarmente importante per quanto concerne il globotermometro poiché il periodo per il proprio acclimatamento è superiore rispetto a quello di tutte le altre sonde vista l'elevata sensibilità dello strumento ai cambiamenti delle condizioni microclimatiche. Per questa motivazione per il raggiungimento dell'equilibrio è necessario un periodo non inferiore ai 15-20 minuti.

Un ulteriore aspetto relativo all'acclimatamento delle sonde è rappresentato dalla transizione da una postazione a un'altra. In questo caso il tempo cambia in funzione della tipologia di ambiente e della differenza di temperatura dell'aria.

Se l'ambiente è indoor e la differenza di temperatura tra le due postazioni è inferiore a 5 °C è necessario un periodo almeno 5 minuti. Nel caso in cui la differenza della temperatura sia superiore a 5 °C allora il tempo minimo necessario è pari a 8 minuti. Se

invece la transizione avviene tra un ambiente indoor e uno outdoor il periodo minimo di acclimatamento risulta essere di almeno 12 minuti.

Solamente nel momento in cui tutte le sonde sono acclimatate possono essere effettuate le misure microclimatiche considerando sufficiente una misura della durata di almeno 3 minuti.

Secondo quanto previsto dagli art. 181 e 182 del D. Lgs 81/2008, la campagna di misurazione si deve strutturare in modo che i dati raccolti siano rappresentativi delle condizioni tipiche che si riscontrano negli ambienti di lavoro oggetto della valutazione. Di conseguenza le misurazioni si effettuano quando la temperatura esterna risulta superiore o uguale alle temperature medie massime del mese più caldo.

Un ulteriore elemento di grande importanza è rappresentato dalla grandezza dell'azienda da valutare. In base al numero di postazioni di lavoro e dei lavoratori possiamo distinguere piccole e grandi aziende. Nel primo scenario il personale è quindi ridotto e di conseguenza è possibile effettuare le misure in tutte le postazioni, a differenza di quello che si verifica in una realtà di grandi dimensioni caratterizzata da un numero importante di lavoratori e quindi anche di postazioni e ambienti differenti. In quest'ultimo caso è necessario effettuare una selezione delle situazioni di maggior rilievo ai fini della valutazione microclimatica secondo elementi di maggiore rappresentatività. Seguendo questo ragionamento, affinché siano scelte le opportune postazioni per la campagna di misurazione, è possibile eseguire una valutazione per gruppi omogenei o in base al tipo di ambiente. Risulta evidente che il numero delle postazioni di misura devono essere sufficienti affinché siano evidenziate eventuali disomogeneità dell'ambiente termico in modo da caratterizzare in maniera rappresentativa l'ambiente di lavoro.

5.3 LE CAMPAGNE DI MISURAZIONE NELLE AZIENDE

Le campagne di misurazione sono state effettuate nel periodo estivo durante il trimestre giugno-agosto 2022, presso aziende operanti nel Porto di Trieste.

Le campagne microclimatiche prevedono il rilevamento dei parametri ambientali nelle aree di lavoro sia indoor che outdoor. Tuttavia, lo scopo della tesi concerne gli ambienti

che possono causare discomfort o stress da caldo, e quelli outdoor, risultano conseguentemente di maggior interesse poiché trattasi di ambienti nei quali vi sono maggiori vincoli. Le aziende oggetto di valutazione non sono citate e di conseguenza vengono denominate come Azienda A e Azienda B.

5.3.2 AZIENDA A

La prima azienda⁷ oggetto di valutazione svolge attività di sbarco e imbarco merci da navi convenzionali ro-ro⁸ e manipolazione merci all'interno del Punto Franco Nuovo. I suoi dipendenti operano sia in luoghi di lavoro interni, come uffici, che in luoghi di lavoro esterni, quali il piazzale e la banchina. Le attività principali sono classificate come seguono con il relativo valore della resistenza termica del vestiario adoperato⁹:

- Impiegato: 0,41 clo
- Autista trattore portuale: 0,43 clo senza alta visibilità e 0,51 con alta visibilità
- Responsabile operativo: 0,43 clo senza alta visibilità e 0,51 con alta visibilità
- Addetto operativo: 0,43 clo senza alta visibilità e 0,51 con alta visibilità
- Addetto alla spuntatura: 0,43 clo senza alta visibilità e 0,51 con alta visibilità

In questa azienda, la campagna di misurazione per la valutazione del microclima si è attuata in data 24/06/2022 e di seguito si riportano i dati meteoclimatici di ARPA FVG-OSMER Meteo:

PARAMETRI	VALORI 24/06/2022
Temperatura esterna	26.7°C
Temperatura massima esterna	29,5 °C
Umidità	64%

⁷ Prima azienda: da qui in poi denominata Azienda A.

⁸ Nave Ro-Ro: la nave roll on/roll off è una nave-traghetto per il trasporto di veicoli o merci mediante modalità di imbarco e sbarco con i propri mezzi e quindi senza l'ausilio di gru oppure di mezzi elevatori.

⁹ Le attività principali sono classificate come seguono con il relativo valore della resistenza termica del vestiario adoperato: il valore in clo è scelto in base alle caratteristiche del vestiario definito all'interno del software ADA ALMEMO-DATA-ANALYZER

Vento	12 Km/h NNW
Pressione	1009,5 hPa
Radiazione globale	27439 KJ/m2
Cielo	Sereno/variabile

Tabella 6: Parametri ambientali del 24/06/2022 di ARPA FVG-OSMER Meteo

Tra i vari luoghi in cui si è scelto di effettuare le misurazioni, una di esse è stata eseguita sulla banchina dell'area ormeggio dalle ore 12:40:00 – 12:45:00 per un totale di 5 minuti.

Di seguito si riporta la tabella contenente i dati raccolti presso la postazione “Banchina Area Ormeggio:”

POSTAZIONE: "BANCHINA AREA ORMEGGIO"

24/06/2022 12:40:00,000	1,175	28,45	34,58 °C	24,48 °C	23,78	21,8	67,6
24/06/2022 12:40:20,000	1,246	28,47	34,82 °C	24,44 °C	23,96	22	68,6
24/06/2022 12:40:40,000	1,818	28,43	34,98 °C	24,48 °C	23,89	21,9	68,3
24/06/2022 12:41:00,000	1,486	28,45	35,13 °C	24,41 °C	23,93	22	68,6
24/06/2022 12:41:20,000	1,17	28,3	35,21 °C	24,29 °C	23,67	21,7	67,7
24/06/2022 12:41:40,000	1,439	28,31	35,24 °C	24,34 °C	23,75	21,8	68,1
24/06/2022 12:42:00,000	1,912	28,53	35,29 °C	24,37 °C	23,95	22	68,2
24/06/2022 12:42:20,000	1,787	28,51	35,33 °C	24,41 °C	23,98	22,1	68,5
24/06/2022 12:42:40,000	2,092	28,57	35,33 °C	24,33 °C	23,83	21,8	67,2
24/06/2022 12:43:00,000	1,356	28,5	35,35 °C	24,45 °C	23,84	21,8	67,6
24/06/2022 12:43:20,000	1,831	28,48	35,41 °C	24,33 °C	23,8	21,8	67,4
24/06/2022 12:43:40,000	2,011	28,56	35,46 °C	24,45 °C	23,93	22	67,8
24/06/2022 12:44:00,000	1,739	28,65	35,52 °C	24,45 °C	24,13	22,2	68,6
24/06/2022 12:44:20,000	1,605	28,58	35,59 °C	24,41 °C	23,92	21,9	67,7
24/06/2022 12:44:40,000	1,587	28,62	35,61 °C	24,27 °C	24,01	22,1	68
24/06/2022 12:45:00,000	1,907	28,57	35,61 °C	24,35 °C	23,79	21,8	66,9

Tabella 7: Dati rilevati il 24/06/2022 mediante centralina microclimatica ALMEMO 2690-8

Poiché la postazione “Banchina Area Ormeggio” rappresenta l’oggetto di interesse di questo studio, si è deciso di porre l’attenzione su quest’ultima. Di seguito viene riportata la prima elaborazione mediante il calcolo delle medie e delle deviazioni standard dei dati raccolti sulla banchina:

PARAMETRI AMBIENTALI	BANCHINA AREA ORMEGGIO
Velocità dell'aria (m/s)	1,64±0,30
Bulbo secco (°C)	28,50±0,10
Globo nero (°C)	35,28±0,29
Bulbo ventilazione naturale (°C)	24,39±0,07
Bulbo ventilazione forzata (°C)	23,89±0,11

Punto di rugiada (°C)	21,92±0,14
Umidità relativa (%H)	67,93±0,52

Tabella 8: Medie dei parametri ambientali con relativo calcolo della deviazione standard di ciascun dato

5.3.3 AZIENDA B

La seconda azienda¹⁰ valutata svolge principalmente l'attività di movimentazione merci relative a trasporti marittimi e fluviali. Trattasi di un'azienda complessa sia per la numerosità dei dipendenti che per le attività e luoghi presenti e anch'essa presenta sia in luoghi di lavoro interni che esterni. Si è deciso di che le mansioni svolte dai dipendenti nelle stazioni indoor (meeting room, ufficio, gate) siano assimilabili alla categoria del videoterminalista. Nelle stazioni outdoor (magazzino, banchine e tettoia) si individuano diverse tipologie di mansioni, le quali sono state raggruppate, come di seguito, per similarità di attività ed abbigliamento¹¹:

- Impiegati tecnici: comprende impiegato tecnico, responsabile operativo, shift leader / yard coordinator, impiegato ufficio tecnico, addetto pesaponte. La loro attività prevede principalmente la sorveglianza e il monitoraggio ed il dispendio metabolico è mediamente di 95 W/m² (leggermente più alto per checker e segnalatore, pari a 110 W/m²). L'abbigliamento è costituito principalmente da pantaloni lunghi o pantaloni da lavoro, maglia, calze, mutande, gilet ad alta visibilità, scarpe antinfortunistiche. Si considerano acclimatati ed in posizione eretta.
- Addetti specifici: addetto legname, addetto pitturazioni, checker e segnalatore a bordo nave, manutentore. Il dispendio metabolico è valutato in funzione delle specifiche attività svolte da ciascuno, in un range tra 95 e 125 W/m². Gli addetti specifici si considerano acclimatati, in posizione prevalentemente eretta. L'abbigliamento da lavoro comprende pantaloni lunghi da lavoro, maglia, calze, mutande, scarpe antinfortunistiche. Soltanto l'addetto pitturazioni indossa in aggiunta una tuta di tipo Tyvek (resistenza termica fornita dal produttore: 0.105

¹⁰ Seconda azienda: da qui in poi denominata Azienda B.

¹¹ si individuano diverse tipologie di mansioni, le quali sono state raggruppate, come di seguito, per similarità di attività ed abbigliamento: il valore in clo è scelto in base alle caratteristiche del vestiario e delle attività definite all'interno del software ADA ALMEMO-DATA-ANALYZER

clo). Il manutentore effettua interventi e riparazioni a chiamata presso tutte le postazioni della piattaforma e si muove prevalentemente alla guida di un'automobile; si stima un'attività media di 95 W/m^2 .

- Autisti: carrellista, carrellista stacker, autista trattore portuale, gruista. Le mansioni si svolgono prevalentemente a bordo dei mezzi, sia mobili che fissi, in posizione seduta. Alcuni mezzi risultano dotati di cabina chiusa e dotata di sistema di condizionamento e riscaldamento dell'aria; a scopo cautelativo nella presente relazione sono considerate le condizioni ambientali che si verificano nei mezzi non dotati di sistema di condizionamento. In base alla tipologia del mezzo e al tempo dedicato alla guida, il dispendio metabolico è calcolato in un range tra 110 e 135 W/m^2 . L'abbigliamento comprende pantaloni lunghi da lavoro, calze, mutande, scarpe antinfortunistiche, maglia, gilet alta visibilità.
- Generico: generico sottobordo, generico treno, generico piazzale, generico rizzatore; le loro mansioni sono estremamente variabili nel corso dell'anno e all'interno del medesimo turno di lavoro in base alle richieste. Il dispendio metabolico è valutato proporzionalmente al tempo dedicato mediamente a ciascuna attività in una giornata tipo ed è specifica per ciascuno di essi. Il range è compreso tra 115 e 130 W/m^2 ad esclusione del generico rizzatore, che in funzione delle attività molto intense svolte durante il rizzaggio ed il derizzaggio dei container assume un valore di dispendio metabolico molto più elevato (215 W/m^2). Gli operatori si considerano in ogni caso acclimatati, in posizione eretta, con abbigliamento da lavoro (pantaloni lunghi da lavoro, calze, mutande, scarpe antinfortunistiche, maglia, gilet alta visibilità).

Le misurazioni all'esterno sono effettuate a $1,70 \text{ m}$ dal pavimento.

In questa azienda la campagna di misurazione per la valutazione del microclima si è attuata in data 15/06/2022 e di seguito si riportano i dati meteoclimatici di ARPA FVG-OSMER Meteo:

PARAMETRI	VALORI 24/06/2022
Temperatura esterna	24,1°C
Temperatura massima esterna	28,5
Umidità	64%
Vento	21 Km/h NNW
Pressione	1016,5 hPa
Radiazione globale	30207 KJ/m2
Cielo	Sereno/variabile

Tabella 9: Parametri ambientali del 15/06/2022 di ARPA FVG-OSMER Meteo

Anche in questo caso si pone l'interesse sulle zone di lavoro outdoor e le misurazioni sono state effettuate in seguito a un opportuno periodo di acclimatamento delle sonde. La prima area di lavoro esterna è rappresentata dalla "Tettoia" per la quale è stato effettuato il rilievo dalle ore 11:50:00 alle ore 11:55:00. Le altre misurazioni sono state eseguite presso la due aree esterne quali, la banchina denominata "General Cargo" e la banchina presso il Piazzale ("Banchina Piazzale"), rispettivamente dalle ore 12:20:00 alle ore 12:25:00 e dalle 12:40:00 alle ore 12:45:00. Come si può notare vi è un intervallo di tempo che è stato occupato per consentire un adeguato acclimatamento delle sonde in seguito al loro spostamento dalla postazione precedente.

Di seguito si riporta la tabella contenente i dati raccolti presso le postazioni “Tettoia”,
 “Banchina General Cargo” e “Banchina Piazzale”:

POSTAZIONE: "TETTOIA"							
15/06/2022 11:50:00,000	1,155	26,91	30,95 °C	19,84 °C	24,97	24,2	85,3
15/06/2022 11:50:20,000	1,068	26,96	30,91 °C	19,75 °C	24,94	24,2	84,8
15/06/2022 11:50:40,000	1,041	26,98	30,85 °C	19,7 °C	24,95	24,2	84,7
15/06/2022 11:51:00,000	0,931	27,03	30,81 °C	19,7 °C	25,06	24,3	85,1
15/06/2022 11:51:20,000	0,838	27,01	30,76 °C	19,76 °C	25,15	24,4	86
15/06/2022 11:51:40,000	0,833	27,13	30,72 °C	19,79 °C	25,27	24,6	86
15/06/2022 11:52:00,000	0,608	27,48	30,69 °C	19,86 °C	25,46	24,7	85
15/06/2022 11:52:20,000	0,403	27,66	30,69 °C	19,91 °C	25,62	24,8	84,9
15/06/2022 11:52:40,000	0,545	27,68	30,71 °C	20,03 °C	25,77	25	85,8
15/06/2022 11:53:00,000	0,690	27,56	30,74 °C	20,07 °C	25,8	25,1	86,9
15/06/2022 11:53:20,000	1,122	27,17	30,78 °C	19,9 °C	25,72	25,1	89
15/06/2022 11:53:40,000	0,936	27,21	30,8 °C	19,91 °C	25,74	25,2	88,9
15/06/2022 11:54:00,000	1,043	27,21	30,81 °C	19,87 °C	25,81	25,2	89,4
15/06/2022 11:54:20,000	1,018	27,36	30,82 °C	19,86 °C	25,95	25,4	89,5
15/06/2022 11:54:40,000	0,813	27,33	30,82 °C	19,95 °C	26,02	25,5	90,1
15/06/2022 11:55:00,000	0,971	27,42	30,83 °C	19,96 °C	26,08	25,5	89,9
POSTAZIONE: "BANCHINA GENERAL CARGO"							
15/06/2022 12:20:00,000	0,951	26,5	36,9 °C	21,12 °C	27,1	27,2	100
15/06/2022 12:20:20,000	1,105	26,42	36,85 °C	21,17 °C	26,88	27	100
15/06/2022 12:20:40,000	1,334	26,39	36,83 °C	20,99 °C	26,81	26,9	100
15/06/2022 12:21:00,000	1,545	26,53	36,78 °C	20,85 °C	26,88	26,9	100
15/06/2022 12:21:20,000	1,39	26,37	36,66 °C	20,68 °C	26,78	26,8	100
15/06/2022 12:21:40,000	1,474	26,19	36,51 °C	20,61 °C	26,71	26,8	100
15/06/2022 12:22:00,000	1,21	26,14	36,34 °C	20,64 °C	26,65	26,7	100
15/06/2022 12:22:20,000	1,376	26,21	36,21 °C	20,62 °C	26,74	26,8	100
15/06/2022 12:22:40,000	1,521	26,09	36,07 °C	20,75 °C	26,73	26,9	100
15/06/2022 12:23:00,000	0,901	26,23	35,99 °C	20,69 °C	26,72	26,8	100
15/06/2022 12:23:20,000	1,036	26,2	35,91 °C	20,73 °C	26,65	26,7	100
15/06/2022 12:23:40,000	1,378	26,31	35,86 °C	20,64 °C	26,66	26,7	100
15/06/2022 12:24:00,000	1,276	26,32	35,84 °C	20,63 °C	26,74	26,8	100
15/06/2022 12:24:20,000	1,133	26,22	35,84 °C	20,6 °C	26,69	26,8	100
15/06/2022 12:24:40,000	1,257	26,17	35,85 °C	20,66 °C	26,73	26,8	100
15/06/2022 12:25:00,000	1,322	26,09	35,86 °C	20,49 °C	26,68	26,8	100
POSTAZIONE: "BANCHINA PIAZZALE"							
15/06/2022 12:40:00,000	1,738	25,29	35 °C	20,49 °C	26,42	26,7	100
15/06/2022 12:40:20,000	1,682	25,39	35,07 °C	20,46 °C	26,38	26,6	100
15/06/2022 12:40:40,000	1,705	25,28	35,13 °C	20,41 °C	26,32	26,6	100
15/06/2022 12:41:00,000	1,771	25,2	35,16 °C	20,48 °C	26,4	26,7	100
15/06/2022 12:41:20,000	1,754	25,27	35,19 °C	20,52 °C	26,27	26,5	100
15/06/2022 12:41:40,000	1,819	25,5	35,23 °C	20,5 °C	26,3	26,5	100
15/06/2022 12:42:00,000	1,803	25,19	35,29 °C	20,41 °C	26,32	26,6	100
15/06/2022 12:42:20,000	1,796	25,03	35,3 °C	20,29 °C	26,12	26,4	100
15/06/2022 12:42:40,000	1,913	25,02	35,27 °C	20,44 °C	26,28	26,6	100
15/06/2022 12:43:00,000	1,785	25,23	35,23 °C	20,36 °C	26,18	26,4	100
15/06/2022 12:43:20,000	1,926	25,32	35,17 °C	20,25 °C	26,21	26,4	100
15/06/2022 12:43:40,000	1,907	25,18	35,11 °C	20,42 °C	26,44	26,8	100
15/06/2022 12:44:00,000	1,753	24,78	35,07 °C	20,59 °C	26,19	26,6	100
15/06/2022 12:44:20,000	1,872	24,96	35,06 °C	20,72 °C	26,06	26,3	100
15/06/2022 12:44:40,000	1,858	25,25	35,1 °C	20,62 °C	26,09	26,3	100
15/06/2022 12:45:00,000	1,784	25,16	35,14 °C	20,49 °C	26,09	26,3	100

Tabella 10: Dati rilevati il 15/06/2022 mediante centralina microclimatica ALMEMO 2690-8

Anche in questo caso si riporta una prima elaborazione dei dati raccolti mediante il calcolo delle rispettive medie e delle deviazioni standard:

	TETTOIA	BANCHINA GENERAL CARGO (G.C.)	BANCHINA PIAZZALE
VELOCITA' ARIA (m/s)	0,88±0,25	1,26±0,19	1,80±0,07
BULBO SECCO (°C)	27,26±0,25	26,27±0,14	25,19±0,17
GLOBO NERO (°C)	30,79±0,07	36,27±0,42	35,16±0,09
BU VENT NAT (°C)	19,87±0,11	20,74±0,19	20,47±0,12
BU VENT FOR (°C)	24.12±0,40	22.78±0,12	21.47±0,12
PTO RUGIADA (°C)	22.96±0,48	21.33±0,13	19.84±0,16
UMIDITA' REL (%H)	77,15±1,17	74,25±2,12	72,03±2,29

Tabella 11: Medie dei parametri ambientali con relativo calcolo della deviazione standard di ciascun dato

5.4 DATI ARPA FVG-OSMER

Ai fini di una maggior visione d'insieme per quanto concerne l'ambito lavorativo e l'incremento delle temperature sono stati visionati e successivamente elaborati i dati meteorologici dagli archivi pubblici dell'ARPA FVG-OSMER della stazione meteo Trieste Molo Fratelli Bandiera, in merito ai trimestri estivi (giugno-luglio-agosto) dall'anno 2007 all'anno 2022. La stazione meteo è stata scelta in funzione delle aziende sottoposte alla valutazione del microclima per la sua rappresentatività dei luoghi di interesse.

6. RISULTATI

In relazione a quanto esposto si esegue il calcolo degli indici specifici di comfort/discomfort termico e di stress da caldo mediante l'utilizzo del software l'ADA ALMEMO-DATA-ANALYZER e del foglio di calcolo provvisto dalla "Valutazione del Microclima 2018" dell'INAIL. Di seguito si espongono i risultati dei seguenti indici: PMV, PPD, WBGT.

6.1 AZIENDA 1

POSTAZIONE	BANCHINA AREA ORMEGGIO
PMV	3,08
PPD (%)	99,42
GIUDIZIO	MOLTO CALDO

Tabella 12: PMV e PPD della postazione "Banchina Area Ormeggio"

Secondo i dati riportati in Tabella 12 si evidenzia una condizione ambientale appartenente alla classe "molto caldo". Di conseguenza si analizza l'indice WBGT da confrontare con l'indice $WBGT_{ref}$ secondo le Tabelle 4 e 5 e Figura 5. Essendo una postazione esposta al sole si considera l'indice corretto WBGT_O.

In base alle Tab. 4 e 5, per le classi metaboliche più basse (fino a 125 W/m²) si considera un $WBGT_{ref}$ pari a 33 °C.

INDICI SPECIFICI	BANCHINA AREA ORMEGGIO
WBGT _O (°C)	26,98
WBGT REF (°C)	33,00

Tabella 13: indice WBGT della postazione "Banchina Area Ormeggio"

Il confronto dell'indice WBGT_O con il rispettivo valore dell'indice $WBGT_{ref}$ per soggetti acclimatati e attività metaboliche di classe 0 e 1 non evidenzia situazioni di stress da caldo.

6.2 AZIENDA 2

POSTAZIONE	TETTOIA	TETTOIA	TETTOIA	TETTOIA
MANSIONE	IMPIEGATO TECNICO/ MANUTENTORE	ADDETTO PITTURAZIONE	CARRELLISTA	ADDETTO LEGNAME
PMV	1,69	1,83	1,93	2,09
PPD (%)	61,44	68,68	73,41	80,57
GIUDIZIO PMV	CALDO	CALDO	CALDO	CALDO

Tabella 14: PMV e PPD della postazione "Tettoia"

POSTAZIONE	BANCHINA G.C.	BANCHINA G.C.	BANCHINA G.C.	BANCHINA G.C.	BANCHINA G.C.
MANSIONE	IMPIEGATO TECNICO/ MANUTENTORE	CHECKER	CARRELLISTA STACKER	AUTISTA	CARRELLISTA
PMV	2,94	2,96	2,99	2,99	3,18
PPD (%)	98,82	98,93	99,06	99,06	99,66
GIUDIZIO PMV	MOLTO CALDO	MOLTO CALDO	MOLTO CALDO	MOLTO CALDO	MOLTO CALDO

Tabella 15: PMV e PPD della postazione "Banchina General Cargo"

POSTAZIONE	BANCHINA PIAZZALE	BANCHINA PIAZZALE	BANCHINA PIAZZALE	BANCHINA PIAZZALE
MANSIONE	IMPIEGATO TECNICO/ MANUTENTORE	CARRELLISTA/ GRUISTA	CHECKER / GEN. PIAZZALE	GEN. SOTTOBORDO
PMV	2,66	2,76	2,76	2,91
PPD (%)	96,21	97,38	97,38	98,64
GIUDIZIO PMV	MOLTO CALDO	MOLTO CALDO	MOLTO CALDO	MOLTO CALDO

Tabella 16: PMV e PPD della postazione "Banchina Piazzale"

POSTAZIONE	BANCHINA PIAZZALE	BANCHINA PIAZZALE	BANCHINA PIAZZALE + NAVE RO-RO	BANCHINA PIAZZALE (solo NAVE RO-RO)
MANSIONE	SEGNALATORE (container)	RIZZATORE	AUTISTA TRATTORE PORTUALE	SEGNALATORE
PMV	3,51	4,25	2,91	2,72
PPD (%)	99,96	100	98,64	96,97
GIUDIZIO PMV	MOLTO CALDO	MOLTO CALDO	MOLTO CALDO	MOLTO CALDO

Tabella 17: PMV e PPD della postazione "Banchina Piazzale"

Secondo i dati riportati nelle Tabelle 14, 15, 16 e 17 il giudizio del PMV delle postazioni evidenzia una condizione ambientale appartenente alla classe "caldo" e "molto caldo". Di conseguenza si analizza l'indice WBGT da confrontare con l'indice $WBGT_{ref}$ secondo le Tabelle 4 e 5 e Figura 5. Per le postazioni riparate dall'irraggiamento (tettoia) si considera l'indice WBGT, mentre per le postazioni esposte al sole si considera l'indice corretto WBGT_O.

In base alle Tab. 4 e 5, per le classi metaboliche più basse (fino a 125 W/m²) si considera un WBGT_{ref} pari a 33 °C, mentre risulta pari a 30°C per classi metaboliche fino a 235 W/m².

INDICI SPECIFICI	TETTOIA
WBGT (°C)	23,15
WBGT REF (°C)	33,00

Tabella 18: Indice WBGT postazione "Tettoia"

INDICI SPECIFICI	BANCHINA GENERAL CARGO	BANCHINA PIAZZALE
WBGT (°C)	24,4	23,88
WBGT REF (°C)	30,00	30,00

Tabella 19: Indice WBGT postazione "Banchina G. C." e "Banchina Piazzale"

Il confronto degli indici WBGT e WBGT_{ref} con il rispettivo valore dell'indice WBGT_{ref} per soggetti acclimatati e attività metaboliche di classe 0 e 1 non evidenzia situazioni di stress da caldo.

6.3 DATI ARPA FVG-OSMER

Di seguito si riportano, in seguito all'elaborazione, i grafici contenuti le medie (μ) delle temperature minime, medie e massime per ciascun trimestre estivo (giugno-luglio-agosto) dal 2007 al 2022 ed i grafici raffiguranti i massimi dei massimi (T°) di giugno, luglio e agosto 2007-2022.

ANNO	μ T° media	μ T° minir	μ T° massima	Giu-ago
2007	24,2	21,4	27	
2008	24,3	21,3	27,1	
2009	24,3	21,5	27,2	
2010	24	21,3	26,7	
2011	24,3	21,5	27,1	
2012	25,5	22,8	28,4	
2013	24,3	21,5	27,4	
2014	23,2	20,2	26,1	
2015	25,3	22,3	28,6	
2016	24,4	21,6	27,4	
2017	25,3	22,2	28,2	
2018	25,4	22,6	28,3	
2019	25,3	22,5	28,3	
2020	23,6	20,8	26,2	
2021	24,9	22,2	27,6	
2022	25,7	23,1	28,9	

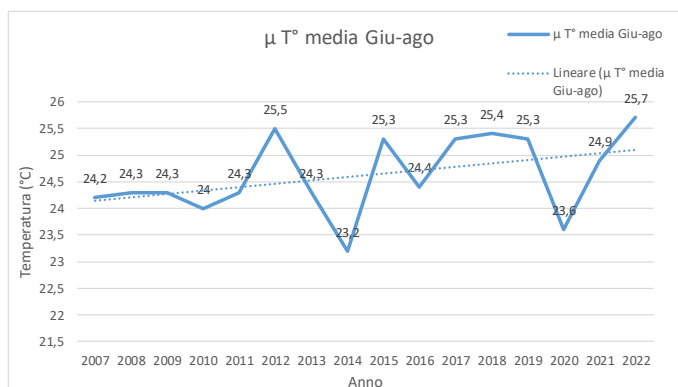


Figura 13: μ temperature medie per ciascun trimestre estivo (giugno-luglio-agosto) dal 2007 al 2022

Il grafico in figura 13 mostra, seppur sinteticamente, che nel periodo preso in esame (trimestre estivo 2007-2022) si possa notare una tendenza crescente delle temperature

medie di questi periodi nel corso degli anni con la presenza di alcuni picchi della temperatura per quanto concerne determinati trimestri (2014 e 2020).

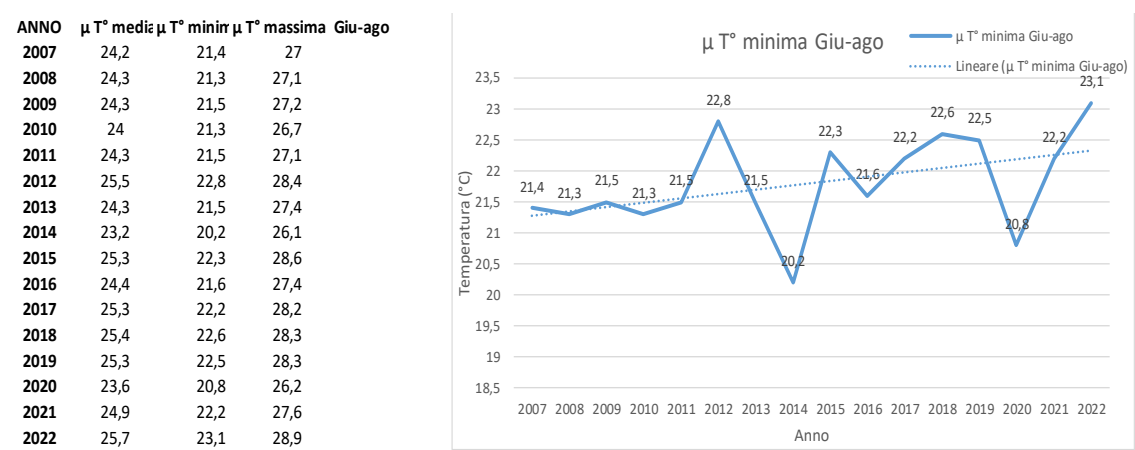


Figura 14: μ temperature minime per ciascun trimestre estivo (giugno-luglio-agosto) dal 2007 al 2022

Nel grafico in figura 14 sono rappresentate le μ temperature minime. Anche in questo caso si può notare una tendenza crescente delle temperature nel periodo considerato, scandita dalla presenza di alcuni picchi di temperatura in alcuni trimestri (2014 e 2020).

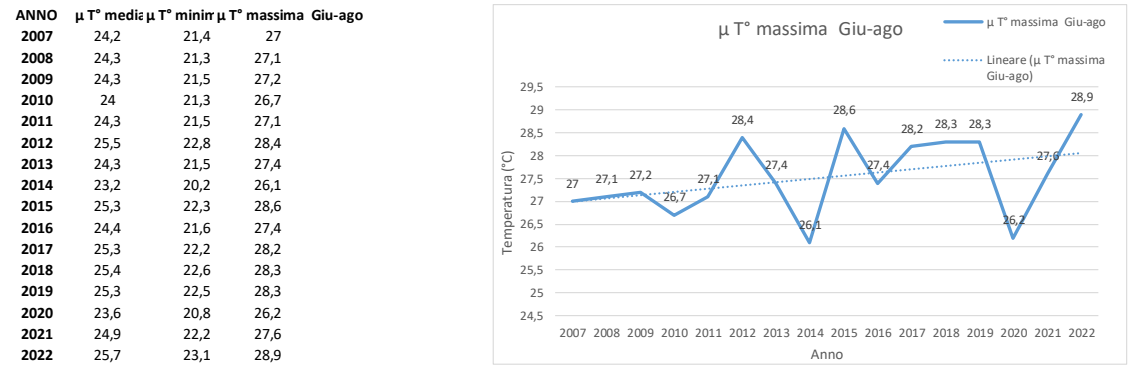


Figura 15: μ temperature massime per ciascun trimestre estivo (giugno-luglio-agosto) dal 2007 al 2022

Nel grafico in figura 15 sono rappresentate le μ temperature massime. Come nei grafici precedenti anche quest’ultimo è caratterizzato da una tendenza crescente delle temperature massime nel periodo considerato, scandita dalla presenza di alcuni picchi di temperatura in determinati trimestri (2014 e 2020).

Temperature massime dei massimi (°C)				
ANNO	TOT	GIU	LUG	AGO
2007	32,7	29,9	32,7	30,2
2008	31,6	31,6	31,5	30,2
2009	34	28,4	34	31,9
2010	32,5	28,9	32,5	31,5
2011	31,6	28,1	30,5	31,6
2012	35,2	31,7	35,2	33,9
2013	33,2	29,4	31,9	33,2
2014	31	31	30,4	30,3
2015	35,7	31,3	33,8	35,7
2016	32,4	32,2	32,4	30
2017	35,3	30	30,9	35,3
2018	34,4	29,4	32,6	34,4
2019	33,5	33,5	32,4	32,4
2020	31,8	28,6	29,9	31,8
2021	34,6	29,7	34,6	31,6
2022	35,4	31,8	34,2	35,4

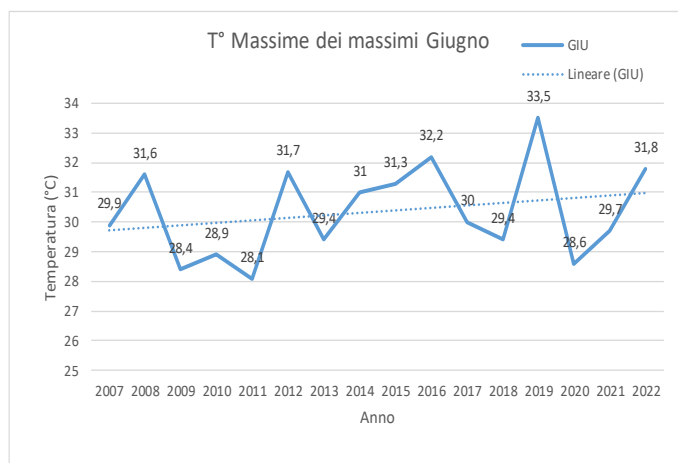


Figura 16: Temperature (°C) massime dei massimi Giugno 2007-2022

Nel grafico in figura 16 sono rappresentate i massimi dei massimi dei mesi di giugno 2007-2022. È caratterizzato da una tendenza crescente delle temperature nel periodo considerato.

Temperature massime dei massimi (°C)				
ANNO	TOT	GIU	LUG	AGO
2007	32,7	29,9	32,7	30,2
2008	31,6	31,6	31,5	30,2
2009	34	28,4	34	31,9
2010	32,5	28,9	32,5	31,5
2011	31,6	28,1	30,5	31,6
2012	35,2	31,7	35,2	33,9
2013	33,2	29,4	31,9	33,2
2014	31	31	30,4	30,3
2015	35,7	31,3	33,8	35,7
2016	32,4	32,2	32,4	30
2017	35,3	30	30,9	35,3
2018	34,4	29,4	32,6	34,4
2019	33,5	33,5	32,4	32,4
2020	31,8	28,6	29,9	31,8
2021	34,6	29,7	34,6	31,6
2022	35,4	31,8	34,2	35,4

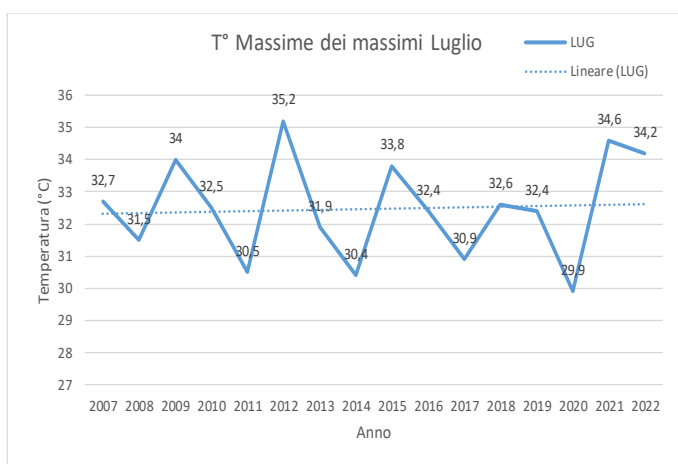


Figura 17: Temperature (°C) massime dei massimi Luglio 2007-2022

Nel grafico in figura 17 sono rappresentate i massimi dei massimi dei mesi di luglio 2007-2022. Il periodo preso in esame è contrassegnato da una tendenza, seppur lieve, crescente delle temperature massime.

Temperature massime dei massimi (°C)				
ANNO	TOT	GIU	LUG	AGO
2007	32,7	29,9	32,7	30,2
2008	31,6	31,6	31,5	30,2
2009	34	28,4	34	31,9
2010	32,5	28,9	32,5	31,5
2011	31,6	28,1	30,5	31,6
2012	35,2	31,7	35,2	33,9
2013	33,2	29,4	31,9	33,2
2014	31	31	30,4	30,3
2015	35,7	31,3	33,8	35,7
2016	32,4	32,2	32,4	30
2017	35,3	30	30,9	35,3
2018	34,4	29,4	32,6	34,4
2019	33,5	33,5	32,4	32,4
2020	31,8	28,6	29,9	31,8
2021	34,6	29,7	34,6	31,6
2022	35,4	31,8	34,2	35,4

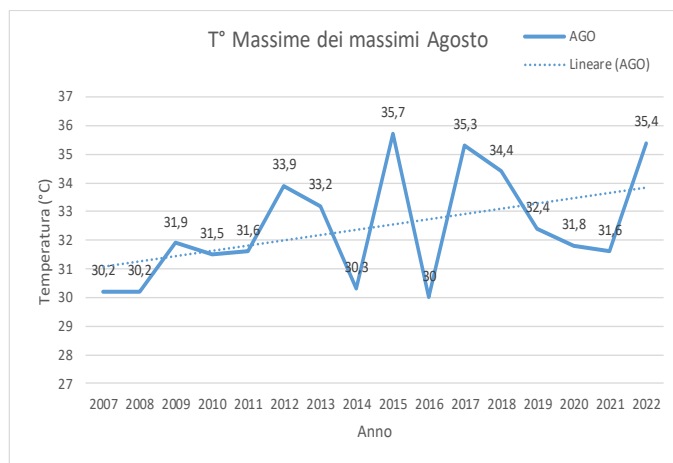


Figura 18: Temperature (°C) massime dei massimi Agosto 2007-2022

La rappresentazione grafica in figura 18 evidenzia i massimi dei massimi dei mesi di agosto 2007-2022. Anche in questo caso la tendenza delle temperature massime è crescente.

7. DISCUSSIONE

7.1 AZIENDA A e AZIENDA B

In base alle campagne di misurazione entrambe le aziende presentano luoghi di lavoro esterni caratterizzati da situazioni microclimatiche di tipo severo caldo.

L'azienda A presenta un indice PMV relativo ai luoghi di lavoro esterni assimilabile ad una situazione di un microclima "molto caldo". Per questa ragione è stato analizzato l'indice WBGT per i luoghi esposti all'irraggiamento, il quale non evidenzia condizioni di stress termico. Di conseguenza non si rende necessaria la valutazione secondo il modello PHS.

L'indice PMV dell'azienda B presso le postazioni di lavoro esterne e ombreggiate (tettoia) assume un valore che corrisponde ad una situazione microclimatica del tipo "caldo", mentre per le postazioni lavorative esposte all'irraggiamento (banchine) il PMV rileva condizioni appartenenti alla tipologia "molto caldo". Di conseguenza sono stati verificati gli indici WBGT, per gli ambienti ombreggiati, e WBGT per gli ambienti soggetti a irraggiamento solare, in funzione dei parametri ambientali rilevati dalla centralina microclimatica per ciascuna postazione, senza rilevare condizioni di stress termico da calore. Per la precedente risultanza non si è proseguito ad un'indagine più approfondita secondo il modello PHS poiché non necessaria.

7.2 DATI ARPA FVG-OSMER, LAVORATORI E CAMBIAMENTO CLIMATICO

Analizzando i dati elaborati di ARPA FVG-OSMER rispetto ai dati forniti dalle valutazioni microclimatiche dell'azienda A e dell'azienda B possiamo notare come essi rafforzino quanto acquisito dalla centralina microclimatica durante le campagne di misurazione. Infatti, osservando la "Figura 13" si nota la tendenza crescente delle temperature nel periodo considerato e il trimestre estivo del 2022 si conferma come il dato con il valore della temperatura più elevato.

Dal medesimo grafico è possibile trarre un'ulteriore considerazione. Dal 2007 al 2022 le temperature medie hanno subito un incremento, seppur non del tutto costante, poiché

scandito da determinati trimestri in cui le temperature medie risultano maggiori o minori rispetto alla linea di tendenza. Tuttavia, si può non notare la differenza fra i trimestri dall'anno 2007 al 2011 e quelli dall'anno 2012 in poi. Negli anni precedenti a quest'ultimo (2007-2011) i valori medi della temperatura non superano i 24,5 °C. Dal trimestre del 2012 invece questo valore viene oltrepassato 7 volte. Due trimestri (2013 e 2016) invece, risultano in linea con il trend di crescita e con il periodo (2007-2011) analizzato precedentemente e altri due (2014 e 2020) assumono valori significativamente minori rispetto alla tendenza delle temperature medie.

Questi elementi risultano importanti in quanto nell'ultimo periodo (2012-2022) si oltrepassa la soglia dei 25 °C in diverse occasioni ed in particolare, l'ultimo trimestre assume un valore medio della temperatura pari a 25,7 °C. L'incremento delle temperature medie coincide ovviamente con l'aumento di quelle minime e di quelle massime. Ciò significa che nei trimestri estivi degli ultimi undici anni i lavoratori che operano all'esterno sono stati esposti con maggior frequenza a condizioni microclimatiche sempre più sfavorevoli e potenzialmente pericolose per la loro salute. Questo elemento è supportato dalle figure 16, 17 e 18 riportanti i valori massimi raggiunti delle temperature per ciascun mese di giugno, luglio e agosto 2007-2022. Essi, infatti, evidenziano una crescita delle temperature massime nel corso degli anni.

Un ulteriore elemento da non sottovalutare è raffigurato dalla produttività lavorativa. Infatti, l'esposizione prolungata a temperature calde in regime di uno sforzo fisico ha la capacità di impattare in maniera significativa non solo a causa delle condizioni ambientali in cui opera il lavoratore, ma anche in funzione dell'abbigliamento e dello sforzo fisico richiesto per compiere una determinata attività. Inoltre, è necessario tener conto che in aggiunta allo stress termico provocato dai fattori ambientali, lo stesso sforzo fisico, mediante il lavoro muscolare, produce calore. Questa considerazione assume particolare importanza nel momento in cui devono essere svolte delle attività che richiedono un elevato dispendio metabolico in condizioni microclimatiche particolarmente calde. Ad esempio, le ore centrali in estate (11:00-18:00) risultano il periodo più caldo della giornata e quelle durante le quali, i lavoratori hanno una maggior probabilità di riscontrare problematiche correlate al caldo.

Il dato significativo è che sempre più di frequente la temperatura media si avvicina alla soglia dei 26 °C. Quest'ultimo rappresenta un valore di rilievo poiché coincide con l'inizio della zona di attenzione. Nonostante i valori relativi alle temperature medie restino al di sotto di questa soglia, si deve considerare che la giornata è distinta in diversi momenti caratterizzati da temperature più basse al mattino e alla sera. Tuttavia, nel corso delle ore centrali e anche nel tardo pomeriggio si raggiungono i cosiddetti picchi più elevati di temperatura. Ciò significa che durante questo periodo i lavoratori che operano all'esterno sono particolarmente vulnerabili alle condizioni climatiche della giornata poiché nella maggior parte dei casi si supera abbondantemente la soglia di attenzione fissata a 26 °C. Anche per la precedente motivazione, è stato stabilito di effettuare le misurazioni presso le aziende durante le ore centrali, in modo da poter verificare i lavoratori e le attività più a rischio durante il periodo meno favorevole.

Il trimestre estivo del 2022 è risultato particolarmente caldo (temperatura media 25,7 °C). Nonostante quest'ultimo aspetto, come evidenziato nei capitoli precedenti, i lavoratori non sono sottoposti a condizioni di stress da caldo. Tuttavia, il rischio esiste e si traduce in un livello medio o alto a seconda del minore o maggiore sforzo fisico richiesto dal lavoratore.

Il cambiamento climatico in atto potrebbe influenzare l'attività lavorativa in misura maggiore rispetto a quanto già non lo stia facendo. Il clima dell'area costiera, che caratterizza i luoghi nei quali operano le aziende valutate è tipicamente mediterraneo ed esso contribuisce a mitigarne le temperature e di conseguenza anche le condizioni microclimatiche che potrebbero risultare più estreme. La presenza di queste condizioni naturali caratterizzanti il territorio costiero rappresenta certamente un aspetto positivo, ma affinché il personale delle aziende possa operare in sicurezza senza incorrere in effetti avversi sulla salute è necessario adottare ed attuare opportune misure e comportamenti.

L'oggetto dello studio è rappresentato da gruppi di lavoratori che svolgono le proprie mansioni in luoghi esterni. Le condizioni ambientali di questi ambienti risultano particolarmente complessi da mitigare poiché è molto difficile adottare misure tecniche

per prevenire conseguenze negative a causa del caldo. Per questa ragione devono essere adottate misure per lo più di stampo amministrativo e buone prassi di lavoro. Con questi termini ci si riferisce a modifiche da effettuare alle attività, agli orari lavorativi e comportamenti da seguire.

Un esempio è rappresentato dalle pause di riposo in modo tale da garantire ai lavoratori un'adeguata idratazione e rinfrescamento. Uno studio pubblicato nel 2018 riporta risultati interessanti riguardo l'idratazione. [Piil JF, Lundbye-Jensen J, Christiansen L, et al. High prevalence of hypohydration in occupations with heat stress-Perspectives for performance in combined cognitive and motor tasks. *PLoS One*. 2018;13(10):e0205321. Published 2018 Oct 24. doi:10.1371/journal.pone.0205321] Secondo quest'ultimo, una percentuale pari a circa il 70% dei lavoratori sui quali sono stati effettuati i test risultava in una condizione di idratazione non ottimale prima di iniziare il turno lavorativo e di conseguenza la reidratazione giornaliera poteva costituire un problema ancora più impattante. Un ulteriore studio pone in evidenza quest'ultimo aspetto ampliando la valutazione mediante un confronto condotto su lavoratori anziani (55-73 anni) e giovani (19-28 anni). Esso giunge alla conclusione che la disidratazione ha la capacità di impattare in maniera più significativa su soggetti anziani rispetto a individui giovani, specialmente se associata ad una frequenza cardiaca maggiore che provocherebbe un aumento dello sforzo cardiovascolare. [Kenny GP, Poirier MP, Metsios GS, et al. Hyperthermia and cardiovascular strain during an extreme heat exposure in young versus older adults. *Temperature (Austin)*. 2016;4(1):79-88. Published 2016 Aug 31. doi:10.1080/23328940.2016.1230171]

Una corretta idratazione risulta indicata per tutto il personale che opera in ambienti caldi, ma è particolarmente indicato per tutte quelle persone alle quali è richiesto uno sforzo fisico maggiore. Per "corretta idratazione" si intende che questa deve essere rispettata determinati parametri in funzione dello sforzo fisico richiesto, dell'età, del genere, dell'utilizzo di farmaci e dell'ambiente microclimatico nel quale si opera ad esempio. Un fattore che spesso è sottovalutato è rappresentato dalla differenza tra il concetto di idratazione e quello riferito alla reidratazione. Il primo caso corrisponde al conferimento, mediante introduzione di liquidi, del normale contenuto idrico del corpo.

La reidratazione invece è un concetto leggermente differente poiché coincide con uno stato di disidratazione dell'individuo per il quale è necessaria la reintroduzione di liquidi al fine di evitare effetti avversi. In condizioni lavorative che prevedono lo svolgimento di mansioni in ambienti caldi e sforzi fisici intensi è importante iniziare l'attività in condizioni di idratazione ottimali e perseguirle durante l'attività con opportune pause in modo da garantire uno stato di benessere adeguato dell'organismo e limitare le conseguenze avverse che possono derivare da una condizione di disidratazione. È quindi fondamentale mantenere l'idratazione per attenuare il carico fisiologico dell'organismo, conservare le prestazioni cognitive e fisiche, ma soprattutto per prevenire ripercussioni a lungo termine sulla salute. [Morris NB, Jay O, Flouris AD, et al. Sustainable solutions to mitigate occupational heat strain - an umbrella review of physiological effects and global health perspectives. *Environ Health*. 2020;19(1):95. Published 2020 Sep 4. doi:10.1186/s12940-020-00641-7]

Oltretutto, in condizioni ambientali calde che potrebbe essere sottovalutato un altro aspetto. Esso è rappresentato dallo svolgimento di una mansione caratterizzata da un'attività fisica dispendiosa in seguito alla cosiddetta pausa pranzo. Generalmente è raccomandato effettuare pasti leggeri e digeribili in condizioni come quelle appena descritte e in seguito alla pausa è opportuno evitare di svolgere immediatamente sforzi fisici particolarmente impegnativi per scongiurare un principio di conseguenze negative.

Un ulteriore elemento da considerare deve essere quello di aumentare la consapevolezza stessa dei lavoratori che operano all'aperto. Mediante l'informazione e la formazione e più specificatamente argomenti quali, la prevenzione e i metodi per evitare la manifestazione di effetti avversi sulla salute mediante, per esempio, l'effettuazione di pause di riposo intermittenti in modo da garantire al corpo di mitigare gli effetti derivanti dal calore o degli sforzi fisici intensi, specialmente nelle ore più calde del giorno. È anche importante l'acquisizione di capacità volte al riconoscimento di sintomi e segnali delle possibili manifestazioni delle malattie legate al caldo nonché alla somministrazione del primo soccorso nel caso in cui dovessero presentarsi situazioni di pericolo. Infatti, proprio tra le principali raccomandazioni del National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) o Istituto Nazionale per la Sicurezza e la

Salute sul Lavoro per controllare lo stress da calore vi sono le pause di riposo, la formazione, l'idratazione e anche l'acclimatazione.

A dimostrare la crescente rilevanza che sta assumendo negli ultimi anni il rischio microclimatico, in Italia è stato avviato il 15 gennaio 2020 il "Progetto Workclimate" il cui scopo è trattare l'impatto sulla salute e sulla produttività lavorativa causato dallo stress termico ambientale considerando diverse strategie di intervento. Si propone anche di sviluppare un sistema integrato di allerta meteo-climatica ed epidemiologica secondo i differenti contesti lavorativi. In particolare, uno degli obiettivi principali del progetto è rappresentato dallo sviluppo e dall'implementazione di un sistema sperimentale di allarme calore-salute del tipo Health-Health Warning System o HHWS già presenti in Europa per la popolazione generale [Casanueva A, Burgstall A, Kotlarski S, et al. Panoramica dei sistemi di allarme calore-salute esistenti in Europa. *Int J Environ Res sanità pubblica*. 2019;16(15):2657. Pubblicato 2019 Jul 25. DOI:10.3390/ijerph16152657] e anche per gruppi vulnerabili tra cui i lavoratori. [Morabito M, Messeri A, Noti P, et al. An Occupational Heat-Health Warning System for Europe: The HEAT-SHIELD Platform. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(16):2890. Published 2019 Aug 13. doi:10.3390/ijerph16162890]

La manifestazione di effetti avversi dovuti al caldo risulta una condizione non rara che dipende principalmente dall'incremento della temperatura corporea. Al fine di scongiurare situazioni di questa tipologia si è visto che il raffreddamento mediante immersione in acqua fredda del corpo è uno dei metodi più efficaci. Tuttavia, in normali situazioni professionali questa soluzione non è generalmente possibile se non in ambito sportivo, ma si sono comunque evidenziati risultati soddisfacenti mediante anche la sola immersione degli avambracci sia prima dell'inizio del turno lavorativo che durante, tramite l'effettuazione di pause intermittenti. [Morris NB, Jay O, Flouris AD, et al. Sustainable solutions to mitigate occupational heat strain - an umbrella review of physiological effects and global health perspectives. *Environ Health*. 2020;19(1):95. Published 2020 Sep 4. doi:10.1186/s12940-020-00641-7]. Questa indicazione è di particolare rilievo nel caso dei lavoratori che operano all'aperto, per i quali è comune l'utilizzo di Dispositivi di Protezione Individuale o DPI. Il loro utilizzo può rivelarsi un

aggravante delle condizioni lavorative poiché il materiale di cui sono usualmente costituiti è poco oppure per niente traspirante.

Diversi studi, condotti su gruppi di lavoratori che operano all'aperto in paesi differenti, hanno concordato circa la presenza di una relazione tra il verificarsi di infortuni e l'esposizione al caldo. Per esempio, si può notare che due studi eseguiti in Italia e i quali prendono parte al progetto "Workclimate" sono giunti a conclusioni simili, nonostante la popolazione di interesse sia rappresentata da lavoratori che svolgono professioni differenti. Infatti, da questi si può concludere che vi è un'effettiva relazione tra esposizione al caldo e infortuni dimostrando che un'esposizione prolungata a temperature elevate in virtù dell'effettuazione di un certo grado di sforzo fisico aumenta il rischio di questa tipologia di esiti. Un evidente sostegno è rappresentato dai grafici seguenti approntati alle pubblicazioni appena citate.

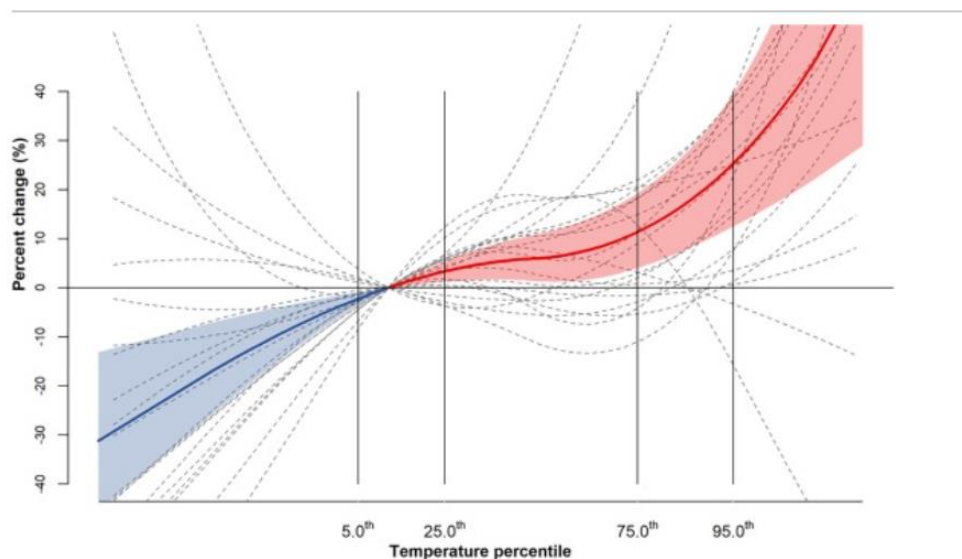


Figura 19: "Relazione esposizione-risposta tra le temperature medie giornaliere e gli infortuni sul lavoro tra i lavoratori edili" [Gariazzo C, Taiano L, Bonafede M, et al. Association between extreme temperature exposure and occupational injuries among construction workers in Italy: An analysis of risk factors. *Environ Int.* 2023;171:107677. doi:10.1016/j.envint.2022.107677]

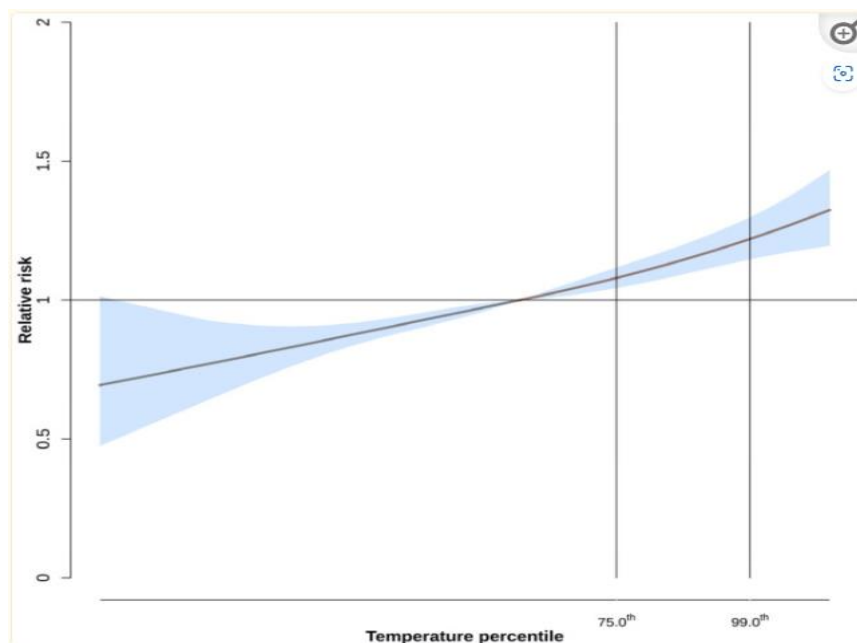


Figura 20: “Curva meta analitica esposizione-risposta tra temperatura media giornaliera dell’aria e infortuni sul lavoro nel settore agricolo in Italia nel periodo 2014-2018. Le stime sono espresse come rischi relativi (linee spesse) e bande di confidenza del 95%” [Di Blasi C, Marinaccio A, Gariazzo C, et al. *Effects of Temperatures and Heatwaves on Occupational Injuries in the Agricultural Sector in Italy*. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(4):2781. Published 2023 Feb 4. doi:10.3390/ijerph20042781]

Sebbene negli ultimi anni il tema microclimatico abbia assunto una maggior rilevanza nel contesto lavorativo, in concomitanza a quanto si sta comprendendo circa il cambiamento climatico, la parte più ingente delle pubblicazioni reperibili ed inerenti ad esso concerne principalmente ambiti professionali quali l’agricoltura e l’edilizia, mentre il contesto portuale, che pur occupando un ruolo di rilievo nella società odierna è posto su un piano di minor rilievo rispetto ai primi due settori riguardo al microclima e al suo rischio. È una condizione che assume un certo contrasto, in quanto un numero cospicuo delle mansioni richieste nell’ambito lavorativo portuale deve essere svolto in ambienti esterni, i quali sono generalmente assimilabili alla categoria degli “ambienti vincolati” poiché presentano vincoli dovuti ai parametri ambientali o individuali (INAIL, “Valutazione Microclima 2018”). Inoltre, non è raro che le attività svolte in questa realtà prevedano uno sforzo fisico intenso. Di conseguenza, come già evidenziato da diversi studi condotti negli ultimi anni, lo sforzo fisico intenso associato a un ambiente caldo può incrementare il rischio di infortuni sul luogo di lavoro e altri effetti avversi sulla salute dei soggetti lavoratori rendendo il contesto portuale una realtà di grande

interesse dal punto di vista del rischio microclimatico e sul quale sarà necessario un particolare riguardo per gli individui operanti in questo luogo.

Un ulteriore elemento a favore del progetto Workclimate è dato da una maggiore valorizzazione dello stesso grazie all'integrazione di informazioni ottenute dallo sviluppo della piattaforma Portale Agenti Fisici o PAF. Esso è il risultato di una collaborazione tra l'Azienda USL Toscana Sud Est – Laboratorio di Sanità Pubblica Agenti Fisici e l'INAIL e propone di fornire un supporto ai fini dell'orientamento nelle scelte relative alla prevenzione, alla salute e alla sicurezza. L'importanza data dalla presenza di queste iniziative sul territorio nazionale rappresenta ancor di più una maggior presa di coscienza e costituisce un ulteriore stimolo volto alla tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori per quanto concerne il rischio microclimatico.

Sono stati considerati principalmente tre indici: il PMV, il PPD e il WBGT o WBGTO, questi ultimi due a seconda della presenza di irraggiamento o meno del sole. I risultati delle campagne hanno descritto condizioni lavorative molto calde, le quali, tuttavia, sono risultate sotto controllo in virtù delle misure preventive adottate dalle stesse aziende (pause, idratazione, vestiario adeguato). Per quanto concerne l'incremento delle temperature medie verificato mediante l'elaborazione dei dati reperiti dagli archivi dell'ARPA FVG-OSMER, è chiaro che negli ultimi undici anni, le aziende, ma soprattutto i loro lavoratori hanno dovuto affrontare condizioni ambientali calde con una maggior frequenza. È molto probabile che nel caso in cui le temperature dovessero aumentare ulteriormente, l'ambito lavorativo andrebbe incontro a conseguenze negative ancor più impattanti e in particolare, le aziende avrebbero un calo della produttività a causa di condizioni più sfavorevoli per i lavoratori che potrebbero tradursi in numero crescente di infortuni. La stessa Organizzazione Internazionale del Lavoro (ILO) ha stimato che l'aumento dello stress termico causerà una perdita notevole della produttività in termini di posti lavoro. Nonostante questa stima tenga conto principalmente di paesi quali Africa e Asia meridionale, secondo l'ILO anche paesi europei subiranno, benché in misura minore, effetti simili.

CONCLUSIONI

I dati raccolti nella nostra indagine evidenziano un innalzamento nel tempo delle temperature che divengono rilevanti ai fini della prevenzione dei possibili effetti sulla salute specie nei mesi caldi (giugno-agosto).

La valutazione dei parametri misurati con la centralina microclimatica confermano dei valori di WBGT o WBGT_O che superano le soglie di attenzione per il clima molto caldo in rapporto ai valori di temperatura e di irraggiamento.

Risulta importante considerare una adeguata prevenzione nelle attività che espongono a tali valori. Nella valutazione dei rischi sono state già indicate le misure di miglioramento che possano minimizzare il rischio attraverso il consolidamento e la verifica per obiettivi:

- Obiettivi organizzativi che prevedano: tempi di lavoro adeguati alle temperature, pause di recupero in postazioni al riparo dalle fonti di irraggiamento, dotazione di vestiario adeguato;
- Obbiettivi di formazione che realizzino comportamenti dei lavoratori esposti rispetto alla dieta e alla idratazione adeguate alle temperature.

In conclusione, appare che in attività come quelle portuali la valutazione microclimatica rappresenta uno degli aspetti non trascurabili nella valutazione di tutti i rischi.

Un'adeguata cooperazione tra i tecnici della prevenzione, che operano nelle strutture di Prevenzione e Sicurezza Aziendale, i responsabili dell'organizzazione del lavoro e i lavoratori si dimostra un elemento di spessore ai fini della tutela dei lavoratori e di conseguenza anche della produttività aziendale.

BIBLIOGRAFIA

Di Blasi C, Marinaccio A, Gariazzo C, et al. Effects of Temperatures and Heatwaves on Occupational Injuries in the Agricultural Sector in Italy. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(4):2781. Published 2023 Feb 4. doi:10.3390/ijerph20042781;

Flouris AD, Dinas PC, Ioannou LG, et al. Workers' health and productivity under occupational heat strain: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Planet Health*. 2018;2(12):e521-e531. doi:10.1016/S2542-5196(18)30237-7

Gao C, Kuklane K, Östergren PO, Kjellstrom T. Occupational heat stress assessment and protective strategies in the context of climate change. *Int J Biometeorol*. 2018;62(3):359-371. doi:10.1007/s00484-017-1352-y;

Gariazzo C, Taiano L, Bonafede M, et al. Association between extreme temperature exposure and occupational injuries among construction workers in Italy: An analysis of risk factors. *Environ Int*. 2023;171:107677. doi:10.1016/j.envint.2022.107677;

Levi M, Kjellstrom T, Baldasseroni A. Impact of climate change on occupational health and productivity: a systematic literature review focusing on workplace heat. *Med Lav*. 2018;109(3):163-179. Published 2018 Apr 24. doi:10.23749/mdl.v109i3.6851;

Lim CL. Fundamental Concepts of Human Thermoregulation and Adaptation to Heat: A Review in the Context of Global Warming. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(21):7795. Published 2020 Oct 24. doi:10.3390/ijerph17217795;

Marchetti E, Capone P, Freda D. Climate change impact on microclimate of work environment related to occupational health and productivity. *Ann Ist Super Sanita*. 2016;52(3):338-342. doi:10.4415/ANN_16_03_05;

Moda HM, Filho WL, Minhas A. Impacts of Climate Change on Outdoor Workers and their Safety: Some Research Priorities. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(18):3458. Published 2019 Sep 17. doi:10.3390/ijerph16183458;

Morris NB, Jay O, Flouris AD, et al. Sustainable solutions to mitigate occupational heat strain - an umbrella review of physiological effects and global health

perspectives. *Environ Health*. 2020;19(1):95. Published 2020 Sep 4. doi:10.1186/s12940-020-00641-7;

Xiang J, Bi P, Pisaniello D, Hansen A. Health impacts of workplace heat exposure: an epidemiological review. *Ind Health*. 2014;52(2):91-101. doi:10.2486/indhealth.2012-0145;

Decreto Legislativo 9 aprile 2008 n. 81 “Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro”;

UNI EN ISO 12894:2002 “Ergonomia degli ambienti termici - Supervisione medica per persone esposte ad ambienti “molto caldi” o “molto freddi”;

UNI EN ISO 7243:2017 “Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dello stress da calore utilizzando l’indice WBGT (temperatura globo del bulbo bagnato)”.

UNI EN ISO 7726:2002 “Ergonomia degli ambienti termici - Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche”;

UNI EN ISO 7730:2006 “Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV (voto medio previsto) e il PPD (percentuale di soggetti insoddisfatti prevista) e dei criteri di benessere termico locale”;

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

UNI EN ISO 8996:2021 “Ergonomia dell’ambiente termico - Determinazione del metabolismo energetico”;

UNI EN ISO 9886:2004 “Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche”

UNI EN ISO 9920:2009 “Ergonomia dell’ambiente termico - Valutazione dell’isolamento termico e della resistenza evaporativa dell’abbigliamento”;

SITOGRAFIA

World Meteorological Organization, 2016

<https://public.wmo.int/en/about-us/frequently-asked-questions/climate#:~:text=What%20is%20climate%3F,thousands%20or%20millions%20of%20years.>

The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) – Heat Stress, 2018

<https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/>

Organizzazione Internazionale del Lavoro (ILO) - Increase in heat stress predicted to bring productivity loss equivalent to 80 million jobs, 2019

https://www.ilo.org/rome/risorse-informative/comunicati-stampa/WCMS_712845/lang--it/index.htm

Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL) – La Valutazione del Microclima, 2018

<https://www.inail.it/cs/internet/comunicazione/pubblicazioni/catalogo-generale/pubbl-valutazione-del-microclima.html>

Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL) – Il progetto Workclimate e la piattaforma previsionale di allerta per la valutazione dei rischi legati all'esposizione ad alte temperature in ambito occupazionale, 2022

<https://www.inail.it/cs/internet/docs/alg-pubbl-progetto-workclimate-previsionale-allerta.pdf>

Arpa FVG – Osmer Osservatorio Meteorologico Regionale - Come cambia il clima in Friuli Venezia Giulia?, 2015

https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/05_DOCUMENTO_DIVULGATIVO_-_Come_cambia_il_clima_in_FVG/Come_cambia_il_clima_in_FVG.pdf

Arpa FVG – Osmer Osservatorio Meteorologico Regionale

<https://www.osmer.fvg.it/archivio.php?ln=&p=dati>

https://www.regione.fvg.it/rafv/export/sites/default/RAFVG/ambiente-territorio/geologia/FOGLIA22/allegati/Impatti_dei_cambiamenti_climatici_sul_territorio_fisico_regionale.pdf

World Health Organization - Climate change and health, 2020

<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

Workclimate - Clima Lavoro Prevenzione, 2020

<https://www.workclimate.it/>

https://www.workclimate.it/wp-content/uploads/2023/02/articoli%20scientifici%20definitivo_DEF.pdf

Comune di Trieste – Documenti “Il Porto di Trieste”

[promotional_kit_ita.pdf \(comune.trieste.it\)](#)

Ringraziamenti

Desidero ringraziare innanzitutto la correlatrice di questa tesi, la dottoressa Marina Hager, per la sua disponibilità e per il piacere di aver lavorato a questo progetto con lei.

Ringrazio il mio relatore, il professor Corrado Negro per l'attenzione e l'aiuto posti nella stesura del lavoro.

Un grazie sincero anche al dottor Marco Rizzo, per il sostegno e la disponibilità espressi durante questo percorso.

Ringrazio poi la mia famiglia, per avermi sempre supportato e spronato a dare il meglio di me. Siete stati la mia forza, specialmente nei momenti più complicati. E lo sarete sempre. Vi ringrazio di cuore.

This is where the fun begins!