



**Politecnico
di Torino**

**Dipartimento di Ingegneria per l'Ambiente e il
Territorio**

Tesi di Laurea Magistrale

***Trasformazioni Climatiche e Microclima
nell'Ambiente di Lavoro***

Relatore: Prof.ssa MARINA CLERICO

Tesi di laurea di:

LAURA PELLICANO'

Anno accademico: 2021/2022

SOMMARIO

La valutazione del microclima nei diversi ambienti di lavoro è un tema che, negli ultimi decenni, ha portato ad uno studio sempre più approfondito dell'analisi del rischio, sviluppando metodologie e criteri guida.

Nel presente elaborato, dopo aver richiamato le trasformazioni climatiche che portano ad un incremento di temperatura e ad un aumento degli eventi estremi, aver trattato le metodologie di valutazione del microclima secondo la legislatura attuale e le norme tecniche negli ambienti outdoor e negli ambienti indoor, si è proceduto con l'analisi delle procedure e delle applicazioni nella gestione del rischio all'interno dei documenti di valutazione per la salute e sicurezza nei luoghi di lavoro.

Quindi, sono state individuate le principali problematiche nei diversi documenti e sono state sviluppate delle proposte di parametri e indicatori microclimatici che permettono di valutare, in modo differente e più speditivo, l'analisi e la gestione del rischio, così da evitare condizioni sfavorevoli per la salute e sicurezza dei lavoratori.

Indice

1	INTRODUZIONE.....	1
2	TRASFORMAZIONI CLIMATICHE	3
2.1	Analisi globale	4
2.2	Ondate di calore in Italia.....	6
2.3	Eventi estremi in Italia.....	8
2.4	Focus sulle regioni italiane	13
2.5	Previsioni future.....	25
3	METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DEL MICROCLIMA	30
3.1	Normativa italiana e Norme Tecniche	30
3.2	Vari metodi di valutazione del comfort termico e del rischio da esposizione ad ambienti moderati e severi sulla base delle norme tecniche	34
3.2.1	Equazione di bilancio termico.....	34
3.2.2	Parametri fondamentali	37
3.2.3	Ambienti termici	37
3.2.3.1	Ambienti moderati	39
3.2.3.2	Ambienti severi caldi	47
3.2.3.3	Ambienti severi freddi	56
3.2.4	Misure di Prevenzione e Protezione.....	62
4	ANALISI E VALUTAZIONE DEI RISCHI NEI DOCUMENTI DI SICUREZZA.....	65
4.1	Documento di Valutazione dei Rischi	70
4.2	Titolo IV D.lgs 81/08 - Piano di Sicurezza e Coordinamento	77
4.3	Titolo IV D.lgs 81/08 – Piano Operativo di Sicurezza	82

4.4	Le principali carenze nei documenti di sicurezza e alcune proposte per migliorare la valutazione dei rischi e la gestione del rischio microclima.	84
4.5	Sospensione o riduzione dell'attività lavorativa: cassaintegrazione.....	94
4.5.1.1	Temperatura percepita	97
5	CONCLUSIONI	99
6	BIBLIOGRAFIA	101

Indice delle figure

Figura 2.1: Andamento della temperatura a livello globale [5].	5
Figura 2.2: Andamento mortalità dal 2017 al 2022 [9].	7
Figura 2.3: Numero di eventi estremi dall'anno 2010 al 2022 (esclusi novembre e dicembre) [11].	8
Figura 2.4: Eventi in Italia suddivisi per categoria dal 2010 al 2022 esclusi (novembre e dicembre) [11].	9
Figura 2.5: Esondazioni fluviali in Italia dal 2010 al 2022 esclusi (novembre e dicembre) [11].	11
Figura 2.6: Grandinate intense in Italia dal 2010 al 2022 esclusi (novembre e dicembre) [11].	12
Figura 2.7: Trombe d'aria in Italia dal 2010 al 2022 esclusi (novembre e dicembre) [11].	12
Figura 2.8: Temperatura media annua (asse a destra) e anomalie annuali di temperatura media (asse a sinistra) del valore climatico 1971-2000 delle città capoluogo di regione. Anni 1971 – 2020, valori in °C [12].	14
Figura 2.9: Anomalie di temperatura media del periodo 2011-2020 rispetto al valore climatico 1971 – 2000 per capoluogo di regione. Periodo 2011-2020, valori in °C [12].	15
Figura 2.10: Anomalie annuali di precipitazione totale annua dal valore climatico 1971-2000 delle città capoluogo di regione. Anni 1971-2000, valori in mm [12].	16
Figura 2.11: Anomalie di precipitazione totale del periodo 2011-2020 rispetto al valore climatico 1971-2000 per capoluogo di regione, Periodo 2011-2020, valori in mm [12].	17
Figura 2.12: Anomalie di precipitazione totale annua dal valore climatico 2006-2015 per capoluogo di regione (in blu) e città metropolitana (in grigio). Anno 2020, valori assoluti in mm. [12].	17
Figura 2.13: Anomalie medie annuali degli indici giorni estivi, notti tropicali, giorni senza pioggia, durata dei periodi di caldo sul valore climatico 1971-2000 dei capoluoghi di regione. Anni 2006-2020, numero di giorni [12].	21
Figura 2.14: Anomalie 2020 degli indici giorni festivi, notti tropicali, giorni senza pioggia, onde di calore rispetto al valore climatico 2006-2015 per le principali città. Anno 2020, numero di giorni [12].	22
Figura 2.15: Cambiamenti della temperatura media stagionale [14].	25
Figura 2.16: Cambiamenti dell'indice di durata dei periodi di caldo [14].	26
Figura 3.1: Rappresentazione grafica dell'indice PPD in funzione dell'indice PMV [18].	42
Figura 3.2: Rappresentazione grafica dell'indice $WGBT_{ref}$ in funzione del tasso metabolico.	51
Figura 3.3: Carta di valutazione del rischio.	55

Indice delle tabelle

Tabella 2.1: Numero di ore di precipitazione di eventi più intensi e pericolosi dal 2010 ad oggi.	10
Tabella 2.2: Valori di anomalie rispetto alla tabella precedente.....	19
Tabella 2.3: Indici degli estremi di freddo per l'Italia e relativa definizione.	20
Tabella 2.4: Indici degli estremi di caldo per l'Italia e relativa definizione.	20
Tabella 2.5: Indici degli estremi di precipitazione per l'Italia.	21
Tabella 2.6: Valori di temperatura media annua in °C e numero di notti tropicali per i capoluoghi di regione italiani [2].....	23
Tabella 2.7: Variazione della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore. Periodo di riferimento 1971-2000 [14].....	26
Tabella 2.8: Variazione della mortalità a causa delle ondate di calore. Periodo di riferimento 1971-2000 [14].....	27
Tabella 2.9: Variazione della percentuale della portata giornaliera massima per vari periodi di ritorno T e per diversi orizzonti temperali. Periodo di riferimento 1971-2000 [14].....	27
Tabella 3.1: Variazione di energia termica	35
Tabella 3.2: Scala di sensazione termica quantificata attraverso 7 punti.....	41
Tabella 3.3: Intervalli raccomandati che devono assumere i 6 parametri fondamentali per utilizzare l'indice PMW.....	41
Tabella 3.4: Limiti per l'esposizione in ambienti non vincolati tramite gli indici di comfort globale (PMV e PPD) e di discomfort locale (DR e PD)..	45
Tabella 3.5: Classificazione delle classi del metabolismo.....	49
Tabella 3.6: WBGT _{eff} valori di riferimento per le persone acclimatate e non acclimatate per cinque classi di metabolismo.....	50
Tabella 3.7: Intervallo di applicabilità del metodo PHS.....	52
Tabella 3.8: Valutazione dei disturbi e delle precauzioni in funzione dell'indice di calore.....	55
Tabella 3.9: Classificazione dei diversi tipi di raffreddamento.	58
Tabella 3.10: Wind Chill Temperature in funzione della velocità del vento.....	59
Tabella 3.11: Classificazione del rischio raffreddamento locale convective cooling.....	60
Tabella 3.12: Definizione e condizioni dei valori di IREQ _{min} e IREQ _{neutral}	61
Tabella 3.13: Casi che si possono verificare dal confronto dell'indice IREQ e l'indice I _{cl}	62

1 INTRODUZIONE

L'elaborato proposto ha ad oggetto il "microclima", agente fisico esaminato dal D.lgs. 81/08, argomento spesso sottovalutato nei vari documenti della sicurezza, anche se è di fatto obbligo del datore di lavoro valutarne l'analisi dei rischi.

In particolare, tale argomento diventa strettamente correlato alle trasformazioni climatiche avvenute negli ultimi decenni, infatti in primo luogo si esamineranno i cambiamenti climatici a livello globale, riportandone i fondamenti dell'IPCC [1], ma verrà posta anche l'attenzione sui cambiamenti climatici in Italia, grazie allo studio statistico effettuato dall'ISTAT [2]. I cambiamenti climatici hanno due caratteristiche fondamentali: la *transitorietà*, ovvero sono azioni che producono effetti limitati nel tempo, e la *non imputabilità* ovvero che non è riconducibile a negligenza o imperizia del datore di lavoro, ma ad un evento non prevedibile. Proprio per queste specifiche caratteristiche i datori di lavoro possono ricorrere alla cassaintegrazione, sospensione o riduzione dell'attività lavorativa, dei propri dipendenti in caso di verifica di eventi estremi, secondo il D.M. n. 95442 del 14 aprile 2016. Fino ad oggi sono state condivise diverse circolari, quali criteri e linee guida, ma negli ultimi due anni, a causa dei rischi a cui sono esposti i lavoratori durante i periodi estivi, sono state predisposte diverse misure di prevenzione e protezione che riducono al minimo i rischi legati ai danni da calore (Nota del 26/07/2022, prot. n. 4753).

In secondo luogo, la trattazione prenderà in esame il panorama normativo del microclima, valutando anche specifiche norme tecniche di settore, alcune valide per tutti i tipi di ambienti termici, mentre altre relative ad ambienti indoor o outdoor. La normativa italiana non prende in considerazione specificatamente il rischio microclima, quindi in fase di valutazione del rischio bisognerà fare riferimento necessariamente alle linee guida, buone prassi e norme tecniche.

Seguiranno varie analisi dei principali documenti di sicurezza, valutandone un possibile cambiamento al variare delle temperature annuali e al variare dei periodi stagionali causati dalle trasformazioni climatiche in corso. In ultima analisi, verranno suggeriti delle proposte per la redazione dei documenti di sicurezza e l'analisi del rischio microclima, cercando di favorire il tecnico, incaricato alla redazione dei suddetti documenti, in una valutazione più idonea per l'analisi del rischio oggetto di studio.

In questo elaborato si tratteranno eventi estremi, ma in particolare le ondate di calore in quanto lo scopo finale è la valutazione del microclima e il disagio dei lavoratori negli ambienti outdoor con riferimento al Titolo IV del D.lgs 81/08.

2 TRASFORMAZIONI CLIMATICHE

Il clima sta cambiando in ogni angolo del pianeta ed è chiaro che esiste una relazione con l'attività antropica. Le condizioni climatiche che l'uomo sta modificando sono senza precedenti negli ultimi migliaia di anni e se non si agisce subito, il sistema terra ne impiegherà altrettanti per ripristinare l'equilibrio degli ambienti dove viviamo; di fondamentale importanza però è essere consapevoli del fatto che il sistema terra è in grado di trovare un equilibrio, mentre tutte le specie viventi e soprattutto l'essere umano non ne sono in grado.

I numerosi studi effettuati in questi anni da diversi enti e diversi scienziati hanno permesso di analizzare e valutare gli eventi estremi quali alluvioni, incendi, caldo estremo, siccità, vento estremo, scioglimento di ghiacciai e tutti quei fenomeni di cui spesso si sente parlare al giorno d'oggi, dovuti alle emissioni di gas serra indotti dall'uomo. Le emissioni hanno portato ad un aumento dell'intensità e/o della frequenza di alcuni eventi meteorologici e climatici estremi a partire dall'epoca preindustriale, in particolare quelle che possono essere definite temperature estreme. Il riscaldamento globale della terra, man mano che aumenta, permetterà di far variare gli eventi estremi a seconda che siano a temperature fredde o temperature calde; gli eventi estremi caldi diventeranno sempre più frequenti, mentre gli eventi estremi freddi diventeranno meno frequenti, però aumenteranno gli estremi di precipitazione con una frequenza più elevata nella maggior parte del pianeta. Studi basati sulla verifica simultanea o individuale di particolari eventi estremi, proiettati sia nel periodo industriale sia nel futuro con quattro diversi livelli di riscaldamento globale, ovvero +1°C, +1.5°C, +2°C, +3°C, portano ad affermare che *la maggior parte degli estremi individuali indagati diventa più frequente e colpisce una maggiore superficie di terra per i livelli di cambiamento climatico più elevati. Questo aumento varia a seconda dei mesi considerati e implica sia spostamenti senza precedenti nella tempistica sia aumenti sproporzionati nella frequenza di eventi concomitanti per le diverse regioni climatiche* [3]. *Gli eventi composti e gli eventi estremi concomitanti contribuiscono ad aumentare la probabilità degli eventi a bassa probabilità e ad alto impatto e diventeranno più frequenti con l'aumento del riscaldamento globale* [1].

2.1 Analisi globale

A livello globale l'obiettivo è quello di non far aumentare la variazione media di temperatura di 1.5°C rispetto all'epoca preindustriale. Sopra questa soglia, se non si adottano immediatamente soluzioni per ridurre le emissioni di gas serra, purtroppo molte conseguenze climatiche saranno irreversibili e sarebbe impossibile evitare il raggiungimento di 1.5°C entro i prossimi 20 anni, ma anzi si supererebbero i 2 gradi di aumento. Attualmente la variazione di temperatura media si è alzata di 0.9°C con valori più alti sulla terra ferma, 1.59°C, e valori più bassi sugli oceani, 0.88°C. La probabilità di superare 1.5°C negli anni successivi al 2030 è maggiore del 50% e se non si adottano immediatamente misure di contenimento dei gas serra entro la fine del secolo si raggiungeranno i 2°C [1]. Secondo il NOAA¹ a livello globale i mesi tra giugno e agosto 2022 sono al sesto posto tra quelli più caldi a partire dal 1880, mentre agosto 2021 è in prima posizione a livello Europeo. Rispetto a tutti gli altri mesi, dal 1800 ad oggi, settembre 2022 è stato il quarto più caldo mai registrato. In Italia, dal 1800, l'anno in corso è il più caldo mai registrato [4]:

- Da gennaio a luglio: temperature maggiori di 0,98 °C sopra la media;
- Giugno: temperature maggiori di 2,88°C sopra la media;
- Luglio: temperature maggiori di 2,26°C sopra la media.

Secondo la WMO² gli ultimi otto anni a livello globali sono stati i più caldi mai registrati e in *Figura 2.1* è possibile visualizzare l'andamento della temperatura globale a partire dal 1880.

¹National Oceanic and Atmospheric Administration;

²World Meteorological Organisation;

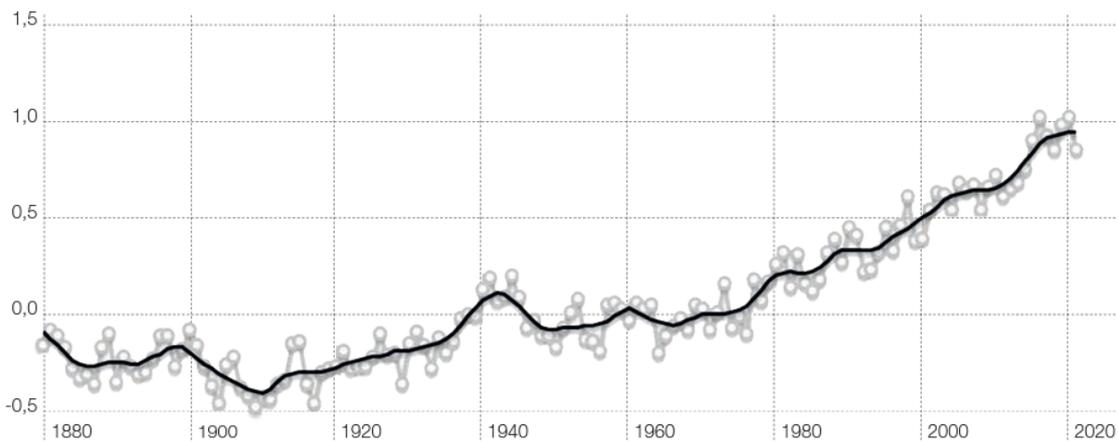


Figura 2.1: Andamento della temperatura a livello globale dal 1880 al 2020 [5].

Negli ultimi 30 anni, secondo la WMO, la temperatura è aumentata di più del doppio rispetto alla media degli ultimi 30 anni e in effetti proprio in Spagna si parla di circa 3'000 morti per le ondate di calore avvenute nei mesi di giugno e luglio 2022 con valori di temperatura che hanno superato i 46°C. Rimanendo in Europa, in Francia durante il 2022 sono morte 11'000 persone a causa delle ondate di caldo e inoltre:

- i giorni estivi, di cui la definizione in Tabella 2.4, si sono susseguiti per 113 giorni consecutivi a Marsiglia;
- massima temperatura di 42°C a Nantes, mai registrata prima;
- le notti tropicali a Nantes, di cui la definizione in Tabella 2.3, si sono susseguiti per 60 giorni di seguito.
- il 16 ottobre 2022 la città di Navarrenx presentava una temperatura di 32,6°C³.

In Portogallo il numero di morti ha superato le 1'000 persone a causa delle ondate di calore ed inoltre a luglio 2022:

- registrata la massima temperatura a Lousa di 46,3°C;
- registrata la massima temperatura a Pinhao di 47,0 °C;
- nelle città di Alvega e Mora si sono susseguito 10 giorni in cui le temperature massime giornaliere sono state comprese tra 40,0 °C e 46 °C.

³ In Spagna lo stesso giorno si sono superati i 33,0°C, mentre in Austria, Svizzera e Germania si sono superati i 26°C.

Da una ricerca effettuata in Canada [6], il caldo estremo diventerà sempre più frequente e con l'aumentare dell'umidità la sudorazione diventerà sempre più difficile, limitando così il raffrescamento del corpo; diventeranno sempre più frequenti anche i colpi di calore e automaticamente le giornate lavorative dovranno essere adattate alle temperature giornaliere. Per quanto riguarda la siccità questa è in grande aumento, e a livello globale ha causato 650'000 morti dal 1970 al 2019 [7]. Proprio in Italia però il 2022 è stato un anno devastante in termini di siccità, soprattutto per quanto riguarda il centro nord:

- da gennaio ad agosto le piogge sono diminuite del 46% [4] rispetto ai trent'anni precedenti.
- da gennaio a maggio, ancora più gravoso del punto precedente, le piogge sono diminuite del 33% rispetto a venticinque anni fa.

Con l'arrivo dell'autunno, il nord ha iniziato a respirare un po', ma la situazione non è migliorata purtroppo al centro Italia.

2.2 Ondate di calore in Italia

Focalizzando l'attenzione sulle ondate di calore parallele agli eventi siccità, in Italia sono stati riscontrate diverse anomalie [8]:

- nel mese di maggio:
 - o registrati 36°C a Firenze;
 - o registrati 35,6°C a Grosseto;
 - o registrati 34°C a Pisa;
 - o registrati 32,8°C a Genova;
 - o registrati 29,2°C a Torino.
- nel mese di giugno:
 - o registrati 41,2°C a Guidonia Montecelio (RM);
 - o registrati 40°C a Prato;
 - o registrati 40°C a Firenze;
 - o registrati 40°C a Viterbo;
 - o registrati 40°C a Roma.

- considerando l'intera nazione, è stata registrata un'anomalia estrema di temperatura media maggiore di 3,3°C.
- nel mese di luglio:
 - registrati 39,5°C a Brescia e Cremona;
 - registrati 38,9 a Pavia;
 - registrati 38,5°C a Milano.
- nel mese di agosto:
 - registrati valori di temperatura compresi tra 40 e 45°C a Palermo, Catania e Reggio di Calabria;
 - 11 del mese a Siracusa registrati 48°C;
 - registrati 39,0°C a Bari.

Queste ondate di calore portano a conseguenze indesiderabili sulla salute umana e in effetti in *Figura 2.2* è possibile notare come nel periodo di luglio 2022 la mortalità sia aumentata, registrando 733 decessi in eccesso dovute alle temperature estreme.

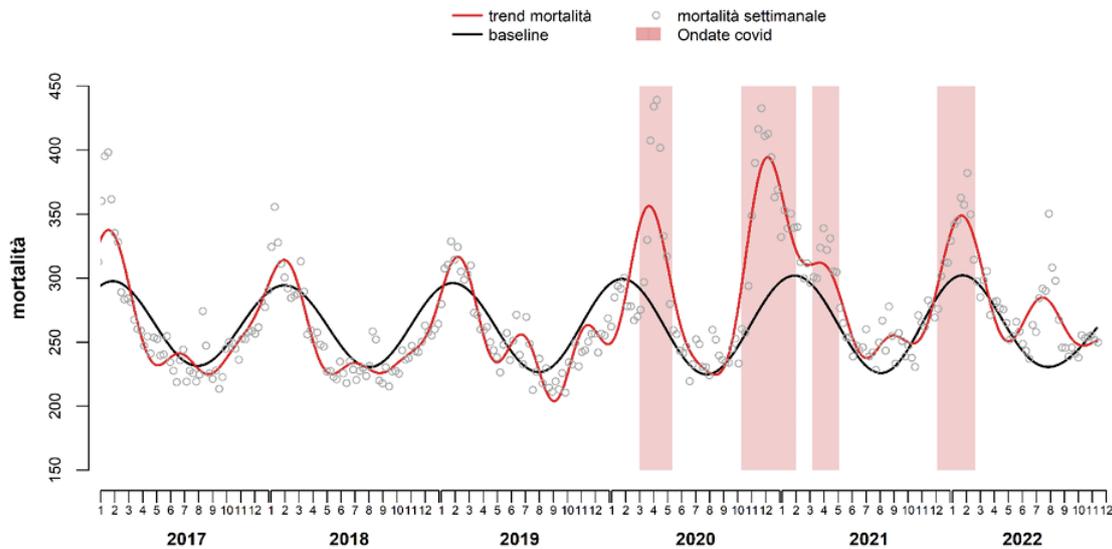


Figura 2.2: Andamento mortalità dal 2017 al 2022 [9].

Le persone maggiormente colpite secondo il Ministero della Salute sono: persone anziane, neonati e bambini, donne in gravidanza, persone con malattie croniche, persone con disturbi psichici, persone con ridotta mobilità e/o non autosufficienti, persone che assumono farmaci, che fanno uso di alcol e droghe, persone anche giovani che fanno

esercizio fisico o svolgono un lavoro intenso all'aria aperta, persone con condizioni socioeconomiche disagiate. Esistono già comunque sofisticati sistemi di monitoraggio epidemiologico che permettono di raccogliere analizzare e diffondere dati a livello di popolazione in generale e perché no, questi sistemi potrebbero essere utili anche a livello occupazionale. In questo elaborato si vorrà porre particolare attenzione ai lavoratori che operano soprattutto all'aria aperta e non solo, soggetti soprattutto alle ondate di calore, ma non solo.

In un futuro non tanto lontano, la mortalità per le ondate di calore a Roma nel 2050 di circa l'8%, mentre a Milano aumenterà del circa 6% [10].

2.3 Eventi estremi in Italia

Dal 2010 a ottobre 2022 gli eventi estremi salgono a quota 1503, con un aumento del 27% dal 2021 al 2022, senza considerare gli ultimi 2 mesi dell'anno in corso [11].

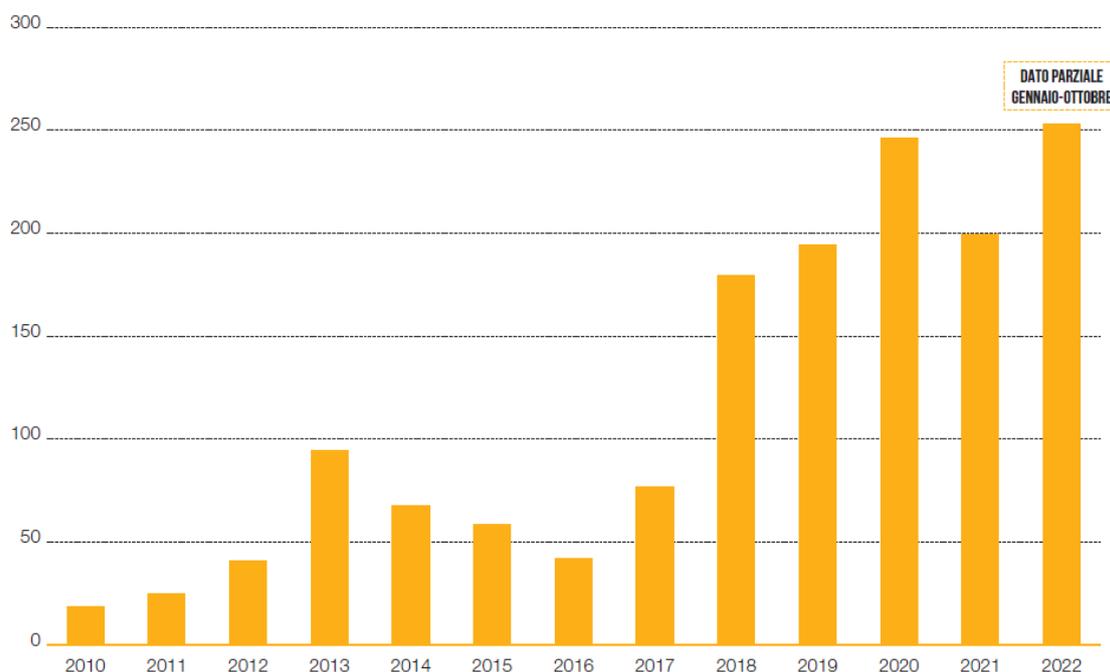


Figura 2.3: Numero di eventi estremi dall'anno 2010 al 2022 (esclusi novembre e dicembre) [11].

Riassumendo solo ciò che è successo nel 2022 in Italia:

- 79 allagamenti dovuti a piogge intense;

- 71 casi di danni da trombe d'aria;
- 33 casi di danni da siccità;
- 25 casi di danni da grandinate;
- 12 esondazioni fluviali
- 10 mareggiate;
- 9 frane da piogge intense;
- 11 casi di danni ad infrastrutture;
- 4 casi di danni a patrimonio storico.

In *Figura 2.4* sono evidenziati gli eventi critici per categoria in Italia. Molto frequenti sono gli allagamenti da piogge intense in quanto in alcune regioni possono anche non variare i mm caduti di pioggia annuali, ma hanno un'intensità maggiore e sono più pericolose. In *Tabella 2.1* sono indicati le precipitazioni più intense dal 2010 ad oggi con le relative ore di precipitazione.

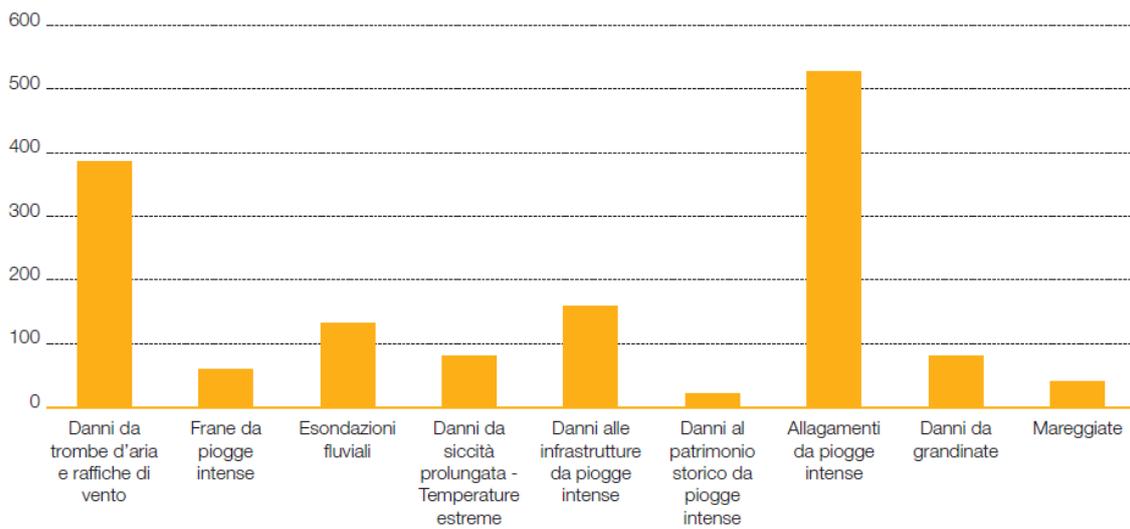


Figura 2.4: Eventi in Italia suddivisi per categoria dal 2010 al 2022 esclusi (novembre e dicembre) [11].

Tabella 2.1: Numero di ore di precipitazione di eventi più intensi e pericolosi dal 2010 ad oggi.

	COMUNE	MM DI PRECIPITAZIONE	MEDIA MENSILE DEL MESE	NUMERO ORE DI PRECIPITAZIONE
04/10/2010	Sestri Levante (GE)	450	155	4
25/10/2011	Brugnato (SP)	472	150	6
09/09/2017	Livorno	250	75	3
01/09/2018	Jesi (AN)	84.8	75	2
30/06/2019	Cavallino-Treporti (VE)	150	65	4
28/08/2019	Capoterra (CA)	47.4	40	6
28/08/2019	Cagliari	31.4	40	6
28/08/2019	Genna Silana (NU)	59	40	6
14/10/2019	Mele (GE)	480	155	12
21/10/2019	Arquata Scrivia (AL)	369	130	24
21/10/2019	Gavi (AL)	486	130	4
03/03/2020	Carrara (MS)	135	83	6
16/07/2020	Palermo	135	14	3
29/08/2020	Fraconalto (AL)	224	69	3
22/09/2020	Altamura (BA)	60	34	-1
27/09/2020	Nettuno (RM)	83.5	75	24
03/10/2020	Limone Piemonte (CN)	580	75-110	24
03/10/2020	Sambughetto (VB)	630	75-110	24
03/10/2020	Piedicavallo (BI)	610	75-110	24
06/12/2020	Tripi (ME)	170	88	4
06/12/2020	Novara di Sicilia (ME)	250	72	4
22/11/2020	Crotone	200	109	2
28/11/2020	Bitti (NU)	313	78	3
06/06/2021	Mantova	209	80	1
06/06/2021	San Benetto Po (MN)	229	80	1
09/06/2021	Scilla (RC)	152	34	4
28/07/2021	San Damiano d'asti (AT)	50	36	2
19/07/2021	Ameglia (SP)	110	137	2
04/10/2021	Rossiglione (GE)	742	161	12
04/10/2021	Cairo Montenotte (SV)	496	135	6
25/10/2021	Scordia (CT)	204	81	6
27/07/2022	Niardo (BS)	187	141	2
19/08/2022	Cerreto Guidi (FI)	114	35	1.5
08/09/2022	Trieste	132	105	4
15/09/2022	Cantiano (PU)	420	65	7

In parallelo agli eventi precipitativi abbiamo le esondazioni, causate dalle piogge con elevata intensità. Ovviamente la motivazione non può essere solo la forte pioggia, ma altro fattore molto importante è l'impermeabilizzazione del territorio, costruendo molto spesso delle tombature e limitando quindi i corsi d'acqua. In *Figura 2.5* si evidenziano le esondazioni dal 2010 fino ad ottobre 2022.

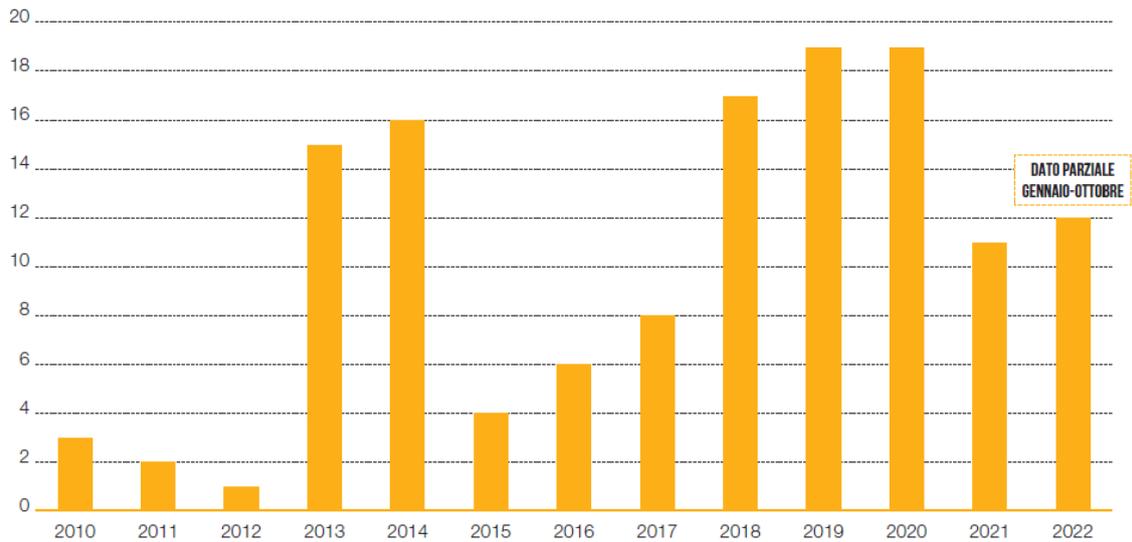


Figura 2.5: Esondazioni fluviali in Italia dal 2010 al 2022 esclusi (novembre e dicembre) [11].

Altro evento estremo molto importante è quello delle grandinate intense che causa molti feriti ad ogni manifestazione. La regione più colpita dalla grandine nel 2022 è stata il Veneto e in *Figura 2.6* sono indicati i numeri delle grandinate intense verificatesi dal 2010 all'anno in corso. Nell'ultimo quinquennio, rispetto al precedente, si sono verificate 63 grandinate in più.

Nel 2022 la morte di tre persone è stata causata da raffiche di vento e trombe d'aria, via via fenomeni sempre più distruttivi negli ultimi anni. In *Figura 2.7* è possibile osservare come nell'ultimo quinquennio le trombe d'aria siano superiori di almeno 250 eventi rispetto al quinquennio precedente.

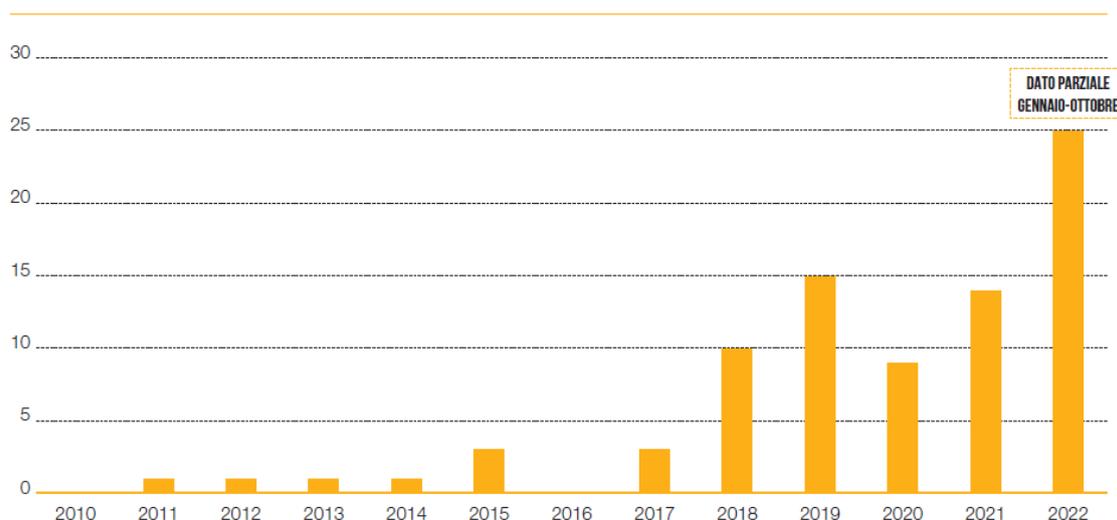


Figura 2.6: Grandinate intense in Italia dal 2010 al 2022 esclusi (novembre e dicembre) [11].

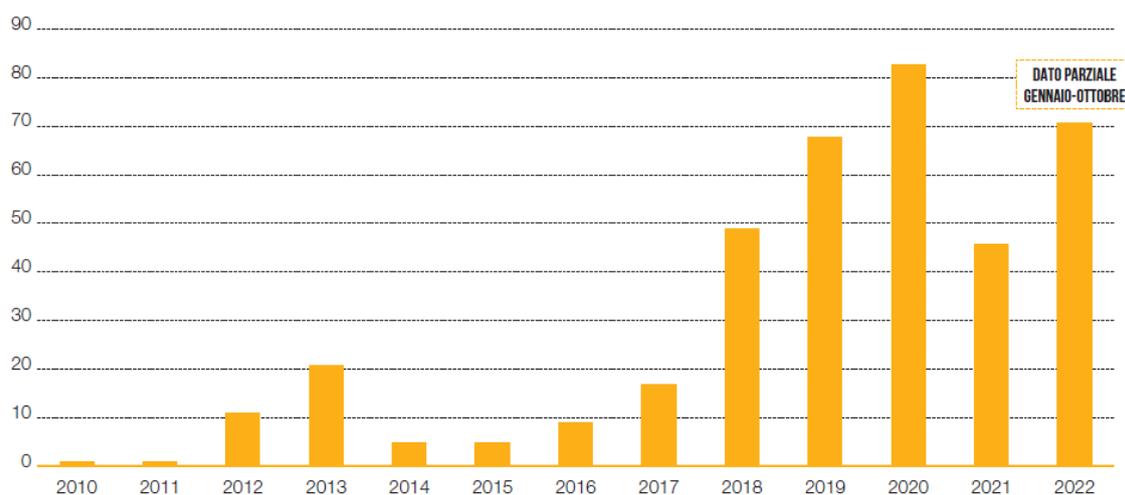


Figura 2.7: Trombe d'aria in Italia dal 2010 al 2022 esclusi (novembre e dicembre) [11].

Da questa prima descrizione si evidenzia l'importanza dei cambiamenti climatici e le principali conseguenze per il benessere delle persone, sottoposte a rischio ondate di calore e tutti quei rischi derivanti dagli eventi estremi. L'aumento delle temperature medie, e quindi l'aumento delle frequenze delle intensità delle ondate di calore, insieme ad un'esposizione diretta al sole, lavoro intenso e pesante, mancanza di idratazione, abbigliamento pesante e mancanza di pause periodiche possono aumentare certamente il rischio infortunio all'interno di determinati ambienti di lavoro, così come l'aumento della frequenza delle esondazioni fluviali in periodi non previsti, aumento anche delle grandinate, con dei chicchi via via sempre più grandi e le trombe d'aria sempre più

frequenti e con velocità d'aria via via sempre maggiori. Valutare l'interazione tra salute e sicurezza sui luoghi di lavoro e trasformazioni climatiche non è così semplice, anzi risulta molto articolato e complesso, ma attraverso degli studi dell'ISTAT⁴ nel capitolo successivo e attraverso indici di estremi si vuole presentare una prima analisi di valutazione dei cambiamenti climatici nelle regioni in Italia per poi analizzare parametri microclimatici all'interno dei principali documenti di sicurezza e proporre infine suggerimenti atti a fornire un diverso approccio al rischio fisico microclima nei cantieri temporanei mobili.

2.4 Focus sulle regioni italiane

Viviamo in un secolo che è stato definito il secolo delle città, per la rapida urbanizzazione e in effetti in Europa, *circa il 70% della popolazione vive nelle città e in Italia circa il 60% vive nei sistemi cosiddetti urbani funzionali sviluppati in modo integrato, continuo sul territorio* [2]. Le città portano a determinare cambiamenti climatici a causa di inquinamento, consumo di risorse naturali, traffico, uso del suolo e domanda di energia ma sono anche vittime in quanto sono molto vulnerabili se esposte ai cambiamenti del clima. Le variabilità che si stanno osservando in questo secolo intensificano l'esposizione delle città agli effetti. L'aumento di temperatura nelle aree urbane, rispetto alle aree esterne, è molto più alta e l'ISTAT ha rilevato dei differenziali termici che variano da 1°C a 3°C, specialmente delle città di dimensioni più elevate. Nelle città c'è una grande concentrazione di strutture con grandi superfici impermeabilizzate e le emissioni di inquinanti determinano la cosiddetta isola di calore⁵.

Attraverso la rilevazione di dati giornalieri meteorologici e idrologici l'ISTAT è riuscito a valutare problemi o informazioni climatiche a scala locale, quindi strettamente urbana. Sono stati valutati quindi i dati di temperatura, precipitazione e umidità per i

⁴ Istituto Nazionale di Statistica – ente pubblico di ricerca italiano che si occupa di effettuare analisi statistiche in ambito economico, sociale e ambientale.

⁵ Area urbana cittadina con un microclima più caldo rispetto alle zone esterne rurali e periferiche.

capoluoghi di regione dell'Italia⁶ e sono stati ricavati elaborati grafici che permettono di individuare i segnali del riscaldamento dei sistemi urbani.

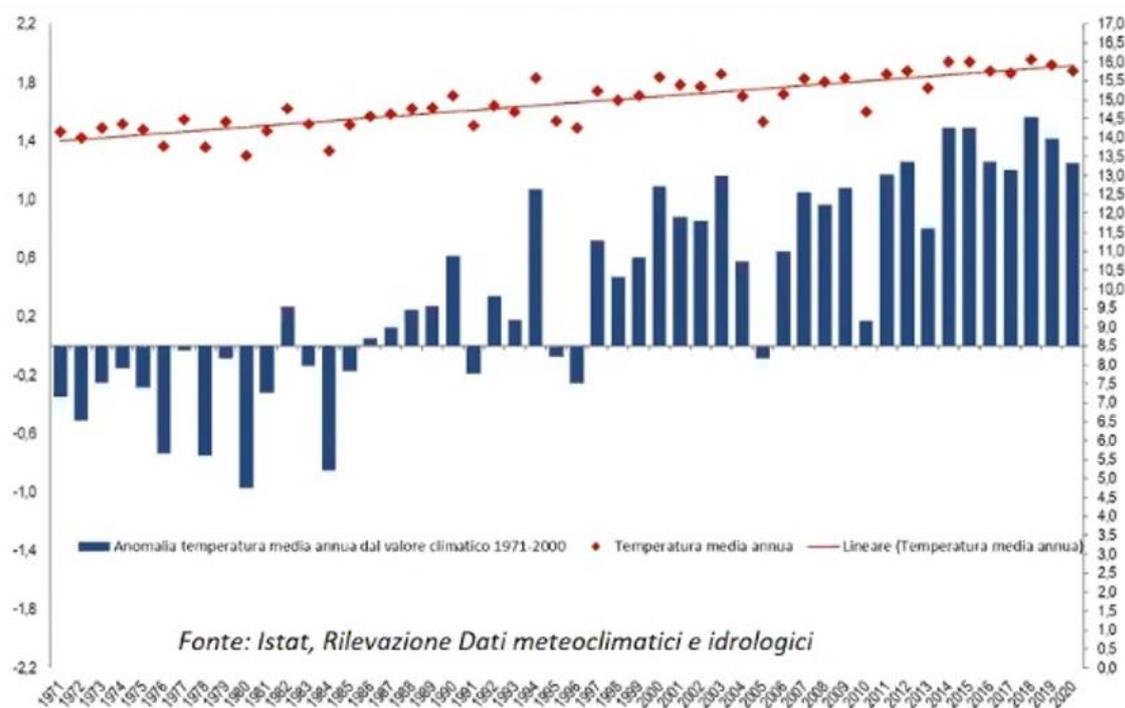


Figura 2.8: Temperatura media annua (asse a destra) e anomalie annuali di temperatura media (asse a sinistra) del valore climatico 1971-2000 delle città capoluogo di regione. Anni 1971 – 2020, valori in °C [12].

In Figura 2.8 è visibile la temperatura media annua delle città capoluogo di regione per i quali sono disponibili serie complete ed omogenee di dati. Con i puntini in colore rosso è illustrato l'andamento in netta crescita della temperatura media dal 1971 al 2000. Effettuando la media della temperatura sui decenni all'interno dell'intervallo temporale 1971-2020 è possibile notare un aumento di circa 1.7°C:

- dal 1971 al 1980 la temperatura media è di 14.1°C;
- dal 1981 al 1990 la temperatura media è di 14.5°C;
- dal 1991 al 2000 la temperatura media è di 14.9°C;
- dal 2001 al 2010 la temperatura media è di 15.2°C;
- dal 2011 al 2020 la temperatura media è di 15.8°C;

⁶ Sono stati presi solo in considerazione i capoluoghi di regione in quanto esprimono una più elevata concentrazione demografica e una maggiore concentrazione di infrastrutture.

La tendenza di crescita più elevata comunque è visibile nell'ultima decade e le previsioni affermano che la situazione, se non si adottano misure immediate, andrà a peggiorare. In *Figura 2.8* è anche visibile, intorno alla metà degli anni '80, un punto critico, dove le anomalie di temperatura media rispetto al valore climatico, diventano via via positive per poi diventare sempre positive da un certo anno in poi. In particolare, dal 1996 le anomalie, rispetto ad un valore climatico di 14.5°C , risultano sempre in continua crescita. Vista l'importanza dell'ultimo decennio, in *Figura 2.9* sono indicate le anomalie della temperatura media nei capoluoghi di regione dell'Italia.

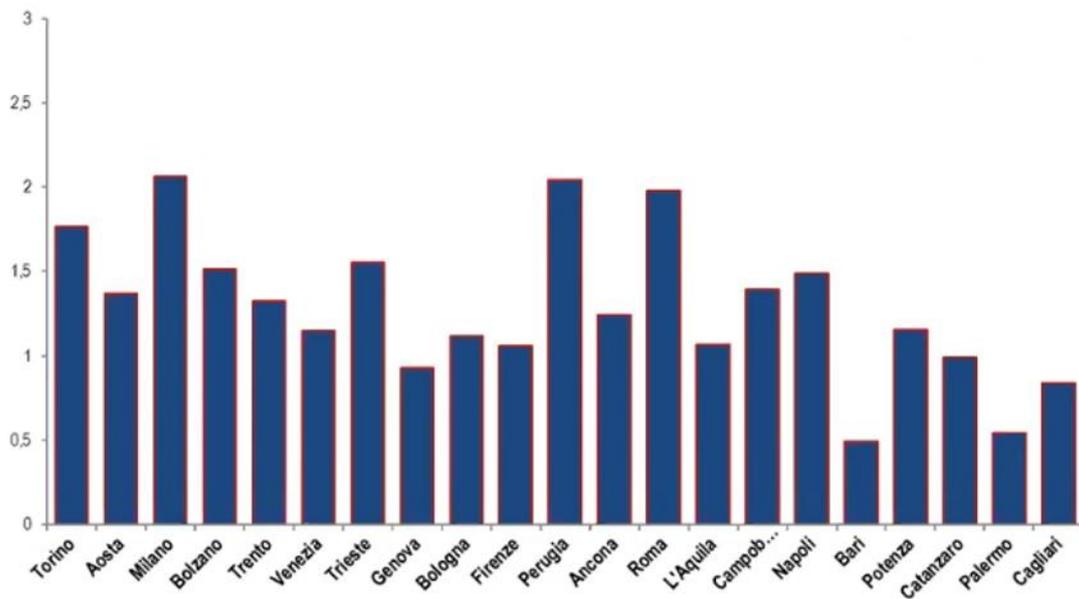


Figura 2.9: Anomalie di temperatura media del periodo 2011-2020 rispetto al valore climatico 1971 – 2000 per capoluogo di regione. Periodo 2011-2020, valori in $^{\circ}\text{C}$ [12].

Rispetto al valore climatico di riferimento, l'anomalia media dell'ultimo decennio è di circa 1.3°C , ma se si attua una disaggregazione di quest'informazione per ogni capoluogo si può notare come in realtà tutte le città presentano valori positivi di aumento di temperatura rispetto alla base climatica. Per tutte le città eccetto Genova, Bari, Catanzaro, Palermo e Cagliari l'anomalia supera di 1°C il valore di riferimento, mentre Milano e Perugia superano i 2°C di anomalia.

Parallelamente all'aumento di temperatura media nelle città, si ha una forte variabilità della precipitazione. In *Figura 2.10* è possibile visualizzare le anomalie annuali di precipitazione totale annua prettamente da un punto di vista statistico, senza prendere in considerazione quindi le variabili legate alla termodinamica e all'orografia

dei territori. Si può notare comunque che, rispetto al valore climatico di riferimento di circa 763.8 mm negli anni 1971-2000, si hanno anomalie negative perlopiù dalla metà degli anni '90 in poi, ma si può notare anche un'oscillazione soprattutto nell'ultimo decennio che rappresenta un'alternanza di anni piuttosto piovosi con anni poco piovosi. Nell'ultimo decennio rappresentato nella successiva figura, gli anni del 2011, 2017 e 2020 sono gli anni meno piovosi. Vista l'importanza dell'ultimo decennio anche per quanto riguarda la precipitazione, in *Figura 2.11* sono indicate le anomalie della precipitazione annuale nei capoluoghi di regione dell'Italia.

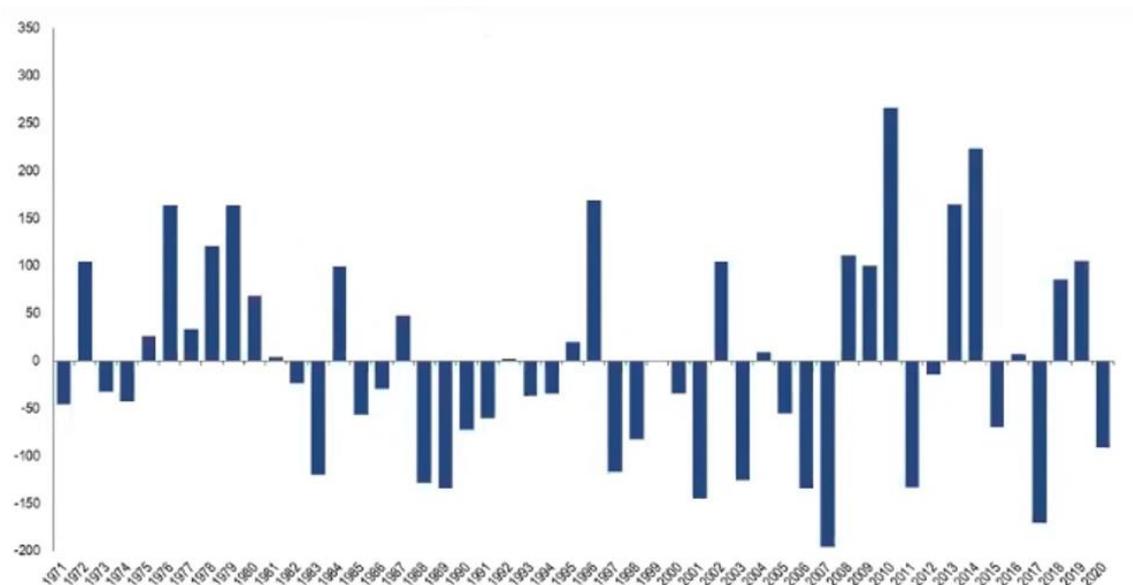


Figura 2.10: Anomalie annuali di precipitazione totale annua dal valore climatico 1971-2000 delle città capoluogo di regione. Anni 1971-2000, valori in mm [12].

Considerando tutti i capoluoghi di regione si sono registrati valori medi di precipitazione superiori di 30 mm rispetto al valore di riferimento degli anni 1971-2000. Analizzando più specificatamente le singole città, la figura successiva evidenzia una diminuzione di precipitazione per 10 diverse città, quali Milano, Venezia, Trieste, Genova, Bologna, Firenze, Roma, Napoli, Potenza e Catanzaro, mentre le restanti città manifestano un aumento di precipitazione nell'ultimo decennio.

L'ISTAT ha effettuato un'ulteriore analisi nell'anno 2020, aggiungendo ai capoluoghi di regione anche le città metropolitane, ma siccome per le città metropolitane i valori negli anni 1971-2000 non sono disponibili, il valore di riferimento è stato preso per il decennio 2006-2015. In *Figura 2.12* la precipitazione totale annua rispetto al valore climatico decennale 2006-2015 risulta il calo di 132 mm. In

Tabella 2.2 sono indicati tutti i valori in riferimento alle anomalie di precipitazione.

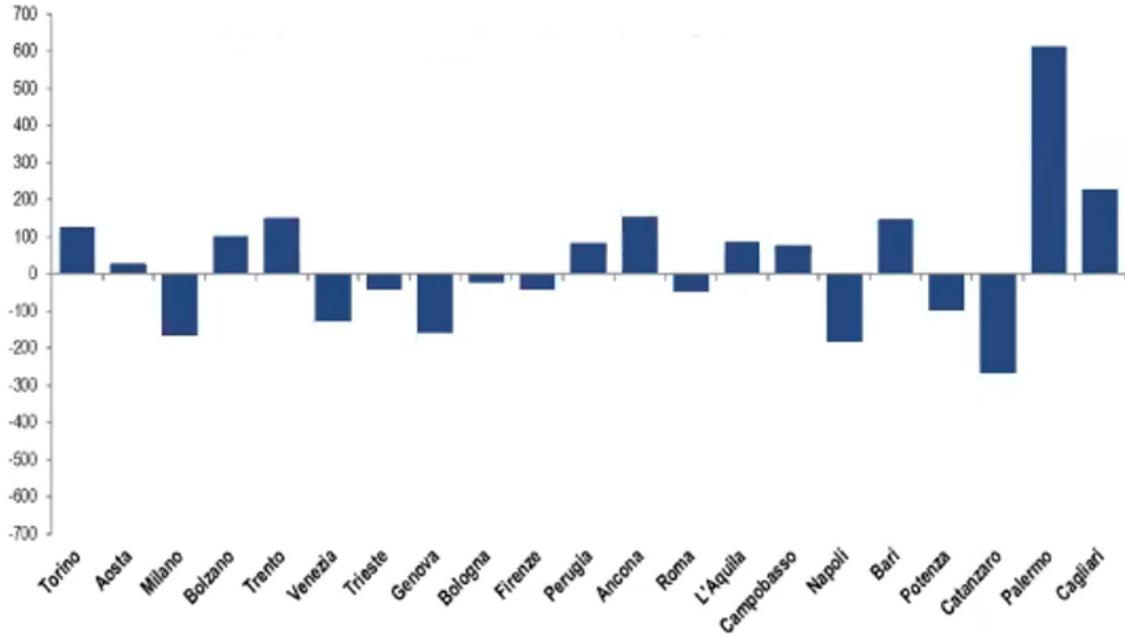


Figura 2.11: Anomalie di precipitazione totale del periodo 2011-2020 rispetto al valore climatico 1971-2000 per capoluogo di regione, Periodo 2011-2020, valori in mm [12].

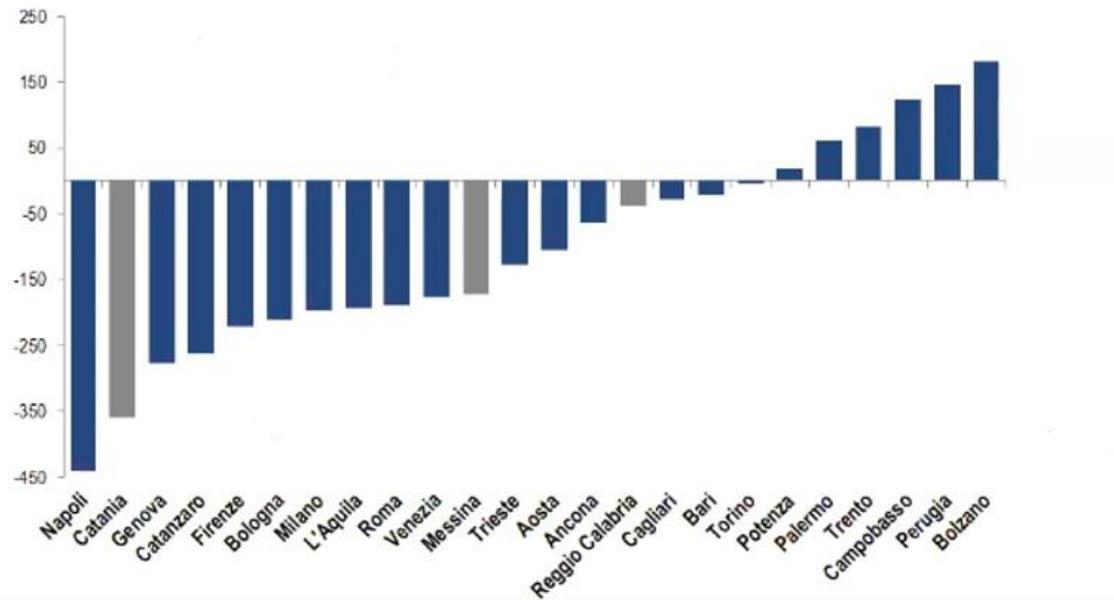


Figura 2.12: Anomalie di precipitazione totale annua dal valore climatico 2006-2015 per capoluogo di regione (in blu) e città metropolitana (in grigio). Anno 2020, valori assoluti in mm. [12].

L'ETTCDI⁷ del Working Group on Climate Change Detection ha definito un insieme di 27 indici, idonei a descrivere gli estremi di temperatura e precipitazione in termini di frequenza, intensità e durata [13]. Sono stati individuati indici definiti da un valore di soglia fisso, indici assoluti, indici basati sui percentili, indici di durata e altri indici; lo scopo, di fronte a certi eventi e certi impatti dei cambiamenti climatici, è quello di classificare i fenomeni molto impattanti, molto invasivi e molto rischiosi e quindi introdurre una metodologia univoca in tutto il mondo. Per quanto riguarda l'Italia sono stati individuati solo 21 indici degli estremi climatici, 13 indici di temperatura e 6 indici di precipitazione, visibili rispettivamente in *Tabella 2.3*, *Tabella 2.4* e *Tabella 2.5* in base alla particolarità del territorio e al clima, considerato moderato.

L'ISTAT sulla base di soli 4 indici di estremi rispetto ai 21 italiani, ha effettuato uno studio sulle anomalie medie annuali è quello che emerge, secondo la *Figura 2.13*, è un aumento delle anomalie di temperature.

⁷ L' Expert Team on Climate Change Detection and Indices ha definite una serie di 21 indici per la misurazione di estremi di precipitazione e di temperatura.

Tabella 2.2: Valori di anomalie rispetto alla tabella precedente.

COMUNI	PRECIPITAZIONE TOTALE ANNUA		
	Precipitazione media 2006-2015	Valore medio 1971-2000	Anomalia 2020 del valore medio 1971- 2000
TORINO	977.6	847.6	-4.8
AOSTA	539.0	526.8	-105.7
GENOVA	1113.3	1263.8	-276.9
MILANO	597.2	955.8	-196.0
BOLZANO	739.0	692.1	180.8
TRENTO	1041.8	901.5	82.7
VENEZIA	703.4	804.8	-177.0
TRIESTE	913.8	972.6	-127.7
BOLOGNA	760.2	755.0	-211.9
FIRENZE	773.1	815.0	-221.6
PERUGIA	846.8	783.8	146.0
ANCONA	759.0	675.4	-64.6
ROMA	772.8	790.8	-190.0
L'AQUILA	653.1	686.1	-193.7
CAMPOBASSO	766.6	551.8	123.3
NAPOLI	960.0	976.1	-439.6
BARI	570.2	529.7	-21.7
POTENZA	773.0	677.2	19.2
CATANZARO	1114.0	960.1	-262.1
REGGIO CALABRIA	631.9		
PALERMO	671.7	469.7	60.7
CATANIA	799.9		
MESSINA	870.8		
CAGLIARI	387.3	403.5	-27.5

Tabella 2.3: Indici degli estremi di freddo per l'Italia e relativa definizione.

INDICI DEGLI ESTREMI DI FREDDO	DEFINIZIONE
Giorni di gelo [gg]	Numero di giorni nell'anno con temperatura minima < 0 °C
Notti tropicali [gg]	Numero di giorni nell'anno con temperatura minima > 20 °C
Massimo delle temperature minime [°C]	Valore massimo mensile delle temperature minime giornaliere
Minimo delle temperature minime [°C]	Valore minimo mensile delle temperature minime giornaliere
Notti fredde [%]	Percentuale di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è inferiore al 10° percentile
Notti calde [%]	Percentuale di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è superiore al 90° percentile. Indice molto importante per valutare l'impatto dei cambiamenti climatici sul benessere fisico delle persone.

Tabella 2.4: Indici degli estremi di caldo per l'Italia e relativa definizione.

INDICI DEGLI ESTREMI DI CALDO	DEFINIZIONE
Giorni estivi [gg]	Numero di giorni nell'anno con temperatura massima > 25 °C. Indice molto importante per valutare l'impatto dei cambiamenti climatici sul benessere fisico delle persone.
Massimo delle temperature massime [°C]	Valore massimo mensile delle temperature massime giornaliere
Minimo delle temperature massime [°C]	Valore minimo mensile delle temperature massime giornaliere
Giorni freddi [%]	Percentuale di giorni in cui la temperatura massima giornaliera è inferiore al 10° percentile
Giorni caldi [%]	Percentuale di giorni in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile
Indice di durata dei periodi di caldo [gg]	Numero di giorni nell'anno in cui la temperatura massima è superiore al 90° percentile per almeno 6 giorni consecutivi

Tabella 2.5: Indici degli estremi di precipitazione per l'Italia.

ESTREMI DI PRECIPITAZIONE	DEFINIZIONE
Massima precipitazione in 1 giorno [mm]	Valore massimo mensile di precipitazione in 1 giorno
Massima precipitazione in 5 giorni [mm]	Valore massimo mensile di precipitazione in 5 giorni consecutivi
Numero di giorni con precipitazione intensa [gg]	Numero di giorni nell'anno con precipitazione ≥ 10 mm
Numero di giorni con precipitazione molto intensa [gg]	Numero di giorni nell'anno con precipitazione ≥ 20 mm
Precipitazione nei giorni molto piovosi [mm]	Somma nell'anno delle precipitazioni giornaliere superiori al 95° percentile
Indice di intensità di pioggia [mm/gg]	Totale annuale di precipitazione diviso per il numero di giorni piovosi nell'anno (definiti come giorni con precipitazione ≥ 1 mm)

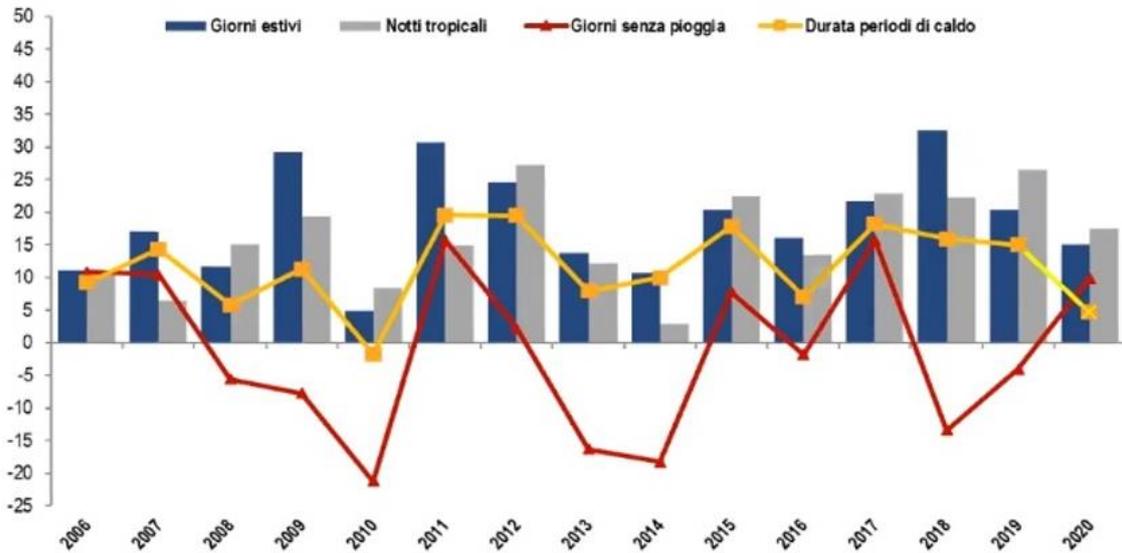


Figura 2.13: Anomalie medie annuali degli indici giorni estivi, notti tropicali, giorni senza pioggia, durata dei periodi di caldo sul valore climatico 1971-2000 dei capoluoghi di regione. Anni 2006-2020, numero di giorni [12].

Per i capoluoghi di regione i giorni estivi e le notti tropicali segnano anomalie sempre positive nel periodo 2006-2020 con una media rispettivamente maggiore di 18 giorni e maggiore di 16 giorni rispetto al valore climatico di riferimento 1971-2000. Durante le notti tropicali persiste un caldo intenso, soffocante, l'essere umano lo percepisce, ma lo percepiscono anche gli animali, le piante e i sistemi infrastrutturali,

tutto ciò dovuto al fatto che non si alterna più la naturale discesa e il naturale aumento della temperatura fra la fase diurna e la fase notturna. Per quanto riguarda i giorni senza pioggia, nella figura precedente, è possibile notare la presenza di oscillazioni delle anomalie medie annuali rispetto al periodo di riferimento; per quanto concerne invece la durata dei periodi di caldo, ovvero le ondate di calore, quindi giorni consecutivi nei quali, in base ad una distribuzione studiata, la temperatura assume valori prossimi ai massimi si notano anomalie sempre positive, eccetto per l'anno 2010. Analizzando gli indici di estremi non singolarmente è possibile anche notare come in alcuni anni in cui le notti tropicali e i giorni estivi sono in aumento, anche le ondate di calore sono in aumento, quindi esiste una stretta correlazione; quindi, si creano una serie di eventi congiunti concomitanti, che chiaramente vanno a intensificare ad amplificare l'aumento della temperatura. Insieme ai giorni estivi e le notti tropicali, c'è una forte incidenza anche delle onde di calore nel periodo analizzato, che registra sempre delle anomalie positive. Questi fattori concomitanti tendono naturalmente ad amplificare gli effetti dell'aumento della temperatura.

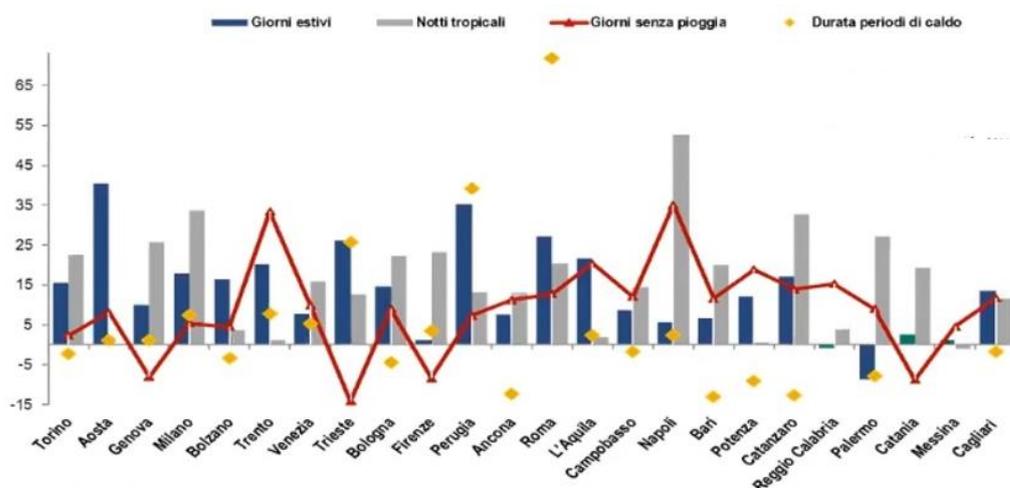


Figura 2.14: Anomalie 2020 degli indici giorni festivi, notti tropicali, giorni senza pioggia, onde di calore rispetto al valore climatico 2006-2015 per le principali città. Anno 2020, numero di giorni [12].

Tabella 2.6: Valori di temperatura media annua in °C e numero di notti tropicali per i capoluoghi di regione italiani [2].

COMUNI	TEMPERATURA MEDIA ANNUA IN °C			NUMERO DI NOTTI TROPICALI			
	Valore medio 2006-2015	Valore medio 1971-2000	Anomalia 2020 dal valore medio 1971-2000	Valore medio 2006-2015	Valore medio 1971-2000	Differenza 2020 dal valore medio 2006-2015	Anomalia 2020 dal valore medio 1971-2000
TORINO	15.0	13.4	1.7	41.0	22.0	3.0	22.0
AOSTA	11.8	10.9	1.4	1.0	1.0	0.0	0.0
GENOVA	16.5	15.9	0.9	66.0	55.0	15.0	26.0
MILANO	15.7	14.0	1.9	58.0	35.0	12.0	34.0
BOLZANO	13.3	12.1	1.3	11.0	1.0	-6.0	4.0
TRENTO	13.3	12.3	1.3	11.0	7.0	-3.0	1.0
VENEZIA	14.9	14.2	1.0	60.0	43.0	-1.0	16.0
TRIESTE	16.0	14.6	1.5	58.0	41.0	-4.0	13.0
BOLOGNA	15.2	14.6	1.8	48.0	42.0	16.0	22.0
FIRENZE	16.4	15.4	1.1	37.0	22.0	8.0	23.0
PERUGIA	15.2	13.5	2.1	28.0	14.0	-1.0	13.0
ANCONA	17.0	15.5	0.7	68.0	44.0	-11.0	13.0
ROMA	17.0	15.8	2.0	47.0	32.0	6.0	20.0
L'AQUILA	12.9	11.9	0.9	1.0	1.0	2.0	2.0
CAMPOBASSO	13.4	12.2	1.4	29.0	12.0	-3.0	14.0
NAPOLI	17.1	15.9	1.3	55.0	19.0	17.0	53.0
BARI	17.5	17.0	0.3	89.0	69.0	0.0	30.0
POTENZA	13.6	12.7	0.9	9.0	5.0	-3.0	1.0
CATANZARO	17.1	16.3	1.2	72.0	53.0	14.0	33.0
REGGIO CALABRIA	19.1			102.0		4.0	
PALERMO	19.0	18.5	0.6	94.0	73.0	6.0	27.0
CATANIA	19.1			89.0		19.0	
MESSINA	19.4			107.0		-1.0	
CAGLIARI	18.4	17.8	1.0	61.0	55.0	6.0	12.0

Analizzando più nel dettaglio l'anno 2020 i capoluoghi di regione e le città metropolitane, in *Figura 2.14* (e numericamente in *Tabella 2.6*) è facile osservare come si hanno delle anomalie quasi sempre positive, eccetto Palermo, sia nei giorni estivi, sia nelle notti tropicali, ma molto importante è che in alcune città questi indici si sommano anche all'aumento del valore delle ondate di calore. Esaminando ad esempio Roma, le

ondate di colare sono molto superiori rispetto al periodo di riferimento, in questo caso 2006-2015 a causa della mancanza di dati negli anni 1971-2000. Peraltro è interessante evidenziare, che al di là dell'informazione strettamente numerica degli indicatori, se si visualizzano le città del centro nord, in queste sembrano più evidenti gli aumenti dei giorni estivi, mentre le notti tropicali aumentano un po' in tutte le città; in questi anni si è sentito spesso parlare della cosiddetta tropicalizzazione del clima italiano mediterraneo, un clima che è diventato più siccitoso, più caldo, con l'alternanza di lunghi periodi senza piogge, e al di là del fatto che nell'arco di un anno la precipitazione totale possa variare in maniera non troppo significativa, però variano i regimi delle precipitazioni, quindi nei periodi in cui piove, la quantità della pioggia concentrata in determinati giorni rispetto ad altri periodi è più alta. I giorni senza pioggia sono diversificati fra le città ma nella maggior parte delle città aumentano questo indice di estremo; l'indicatore è positivo, quindi aumenta il numero di giorni in cui purtroppo, la precipitazione non c'è, salvo in controtendenza Genova, Trieste Firenze e Catania.

L'incremento della temperatura media comunque non è soltanto legato al periodo dell'estate, ma è qualcosa che ha a che fare anche con tutti i mesi dell'anno; magari in alcuni mesi l'innalzamento della temperatura è avvertita meno rispetto ad altri periodi, ma considerata la fragilità dei sistemi urbani, la pressione, la localizzazione geografica e il loro diverso grado di esposizione agli impatti climatici, gli indicatori sopra descritti descrivono una situazione meteorologica e meteoclimatica che è in netto cambiamento. L'aumento della temperatura media mensile non ha soltanto effetto sulla salute umana, ma esiste un problema anche di adeguata disponibilità idrica, di maggiore uso di energia per il raffreddamento degli ambienti e soprattutto un peggioramento della qualità dell'aria, in quanto con l'aumento della temperatura, la mancanza di piogge favorisce la concentrazione di particolati, di ossido d'azoto, di ozono e naturalmente questo favorisce la presenza di gas climalteranti che rimangono sulle città e amplificano l'effetto dell'isola di calore.

2.5 Previsioni future

In questo paragrafo verrà analizzato il futuro che si prospetterà a Torino. Le proiezioni climatiche, come si può vedere anche in *Figura 2.15* e *Figura 2.16*, sono sviluppate attraverso dei modelli regionali climatici considerando gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 definiti dall'IPCC [1]. Sono stati scelti gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 in quanto sono quelli per cui sono disponibili analisi più dettagliate e inoltre rappresentano i due scenari più estremi:

- RCP4.5: scenario con politiche climatiche;
- RCP8.5: scenario senza politiche climatiche.

Le proiezioni climatiche arrivano fino a fine secolo e utilizzano come indice di riferimento la temperatura media stagionale e l'indice di durata dei periodi di caldo, anche utilizzato per rappresentare le ondate di calore.

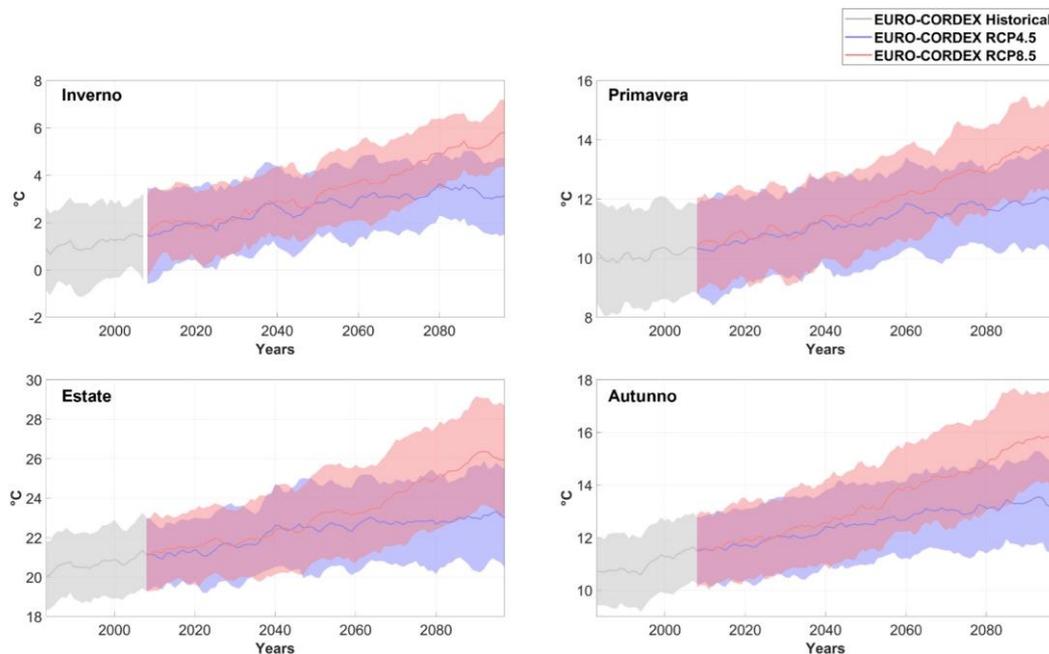


Figura 2.15: Cambiamenti della temperatura media stagionale [14].

La temperatura media con lo scenario più critico, di colore rosso nella *Figura 2.15*, alla fine del secolo potrebbe arrivare a misurare un incremento di circa 6°C per i periodi estivi, un incremento di circa 5°C nei periodi autunnali e invernali e un incremento di circa 4°C nei periodi primaverili.

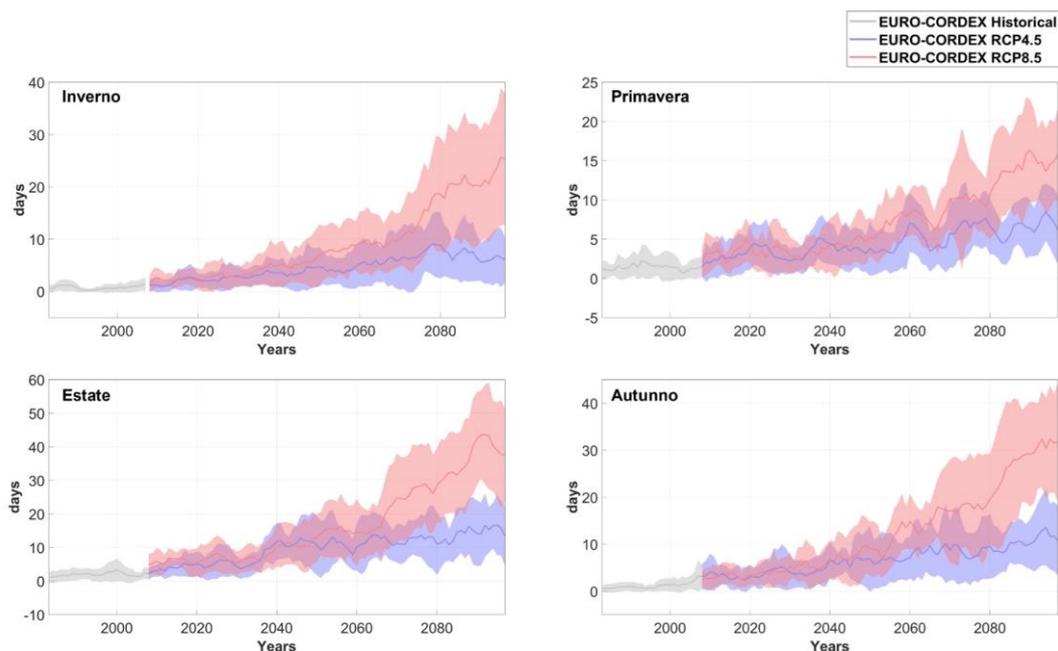


Figura 2.16: Cambiamenti dell'indice di durata dei periodi di caldo [14].

In riferimento alla Figura 2.16 si può notare che rispetto allo scenario più critico, l'indice di durata dei periodi di caldo ha una crescita molto più evidente nei periodi estivi. Nelle due figure precedenti comune si sottolinea come è presente una dispersione - deviazione standard - rispetto al valore medio dell'insieme dei modelli utilizzati per lo studio.

In Tabella 2.7 è possibile visualizzare la proiezione futura per le ondate di calore con un periodo di riferimento 1971-2000.

Tabella 2.7: Variazione della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore. Periodo di riferimento 1971-2000 [14].

Indicatore	scenario	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Massima lunghezza ondate di calore	RCP 4.5	+4.8	+10.6	+16.9
	RCP 8.5	+4.6	+18.8	+46.7
Variazione del numero di giorni rispetto al controllo	RCP 4.5	+11.4	+28.7	+36.5
	RCP 8.5	+10.7	+39.3	+70.8
N° giorni estivi in ondata di calore	RCP 4.5	15.3	32.6	40.4
	RCP 8.5	14.6	43.2	74.7

Per entrambi gli scenari, i giorni e le durate delle ondate di calore aumenteranno e quindi si avrà un aumento dello stress termico della popolazione coinvolta della provincia, ma anche un incremento della mortalità, visibile in Tabella 2.8. Le proiezioni con i due

diversi scenari di riferimento mostrano tutte tendenze positive e risultano essere allarmanti.

Tabella 2.8: *Variazione della mortalità a causa delle ondate di calore. Periodo di riferimento 1971-2000 [14].*

Anni	scenario	Numero di morti 'over 65' attribuibile alle ondate di calore	% di scostamento rispetto a 30 precedenti
2011-2040	RCP 4.5	+187	\
	RCP 8.5	+184	\
2041-2070	RCP 4.5	+406	+117
	RCP 8.5	+541	+193
2071-2100	RCP 4.5	+505	+170
	RCP 8.5	+940	+410

La città di Torino ha un reticolo idrografico molto sviluppato ma ha anche un territorio fortemente antropizzato con corsi d'acqua che col tempo sono stati modificati e ristretti. ARPA e Regione Piemonte attraverso degli studi hanno individuato una crescita dei percentili più elevati di precipitazione giornaliera e dei massimi annuali con durate da 1 a 24 ore.

Tabella 2.9: *Variazione della percentuale della portata giornaliera massima per vari periodi di ritorno T e per diversi orizzonti temperali. Periodo di riferimento 1971-2000 [14].*

Scenario	RCP4.5			RCP8.5		
	2011-2040	2041-2070	2070-2100	2011-2040	2041-2070	2070-2100
Orizzonte temporale						
T= 2 anni	20.00	31.63	43.13	24.38	40.50	32.38
T= 5 anni	29.88	53.88	74.88	42.88	64.88	59.38
T= 10 anni	34.00	63.75	89.13	51.33	76.13	71.50
T= 50 anni	40.50	78.13	109.50	63.88	92.00	89.38
T= 100 anni	42.25	82.75	115.75	67.00	96.75	94.63

I risultati evidenziati in Tabella 2.9 sono ottenuti utilizzando diversi modelli statistici e vogliono mostrare come i cambiamenti climatici portano ad un aumento delle criticità nel tempo.

Queste prime analisi sulle temperature e sulle precipitazioni risulterebbero duttili per uno studio più approfondito sulle varie città d'Italia, ma il presente trattato vuole solo dare un'idea di come in realtà stia effettivamente cambiando il clima, causando, come

visto in precedenza, aumenti di temperatura spropositati per l'essere umano e oscillazioni di precipitazione che portano a eventi estremi sempre più frequenti.

Le trasformazioni climatiche appena descritte aumentano i rischi nella popolazione media ma anche sicuramente nei vari ambienti lavorativi, outdoor e indoor. Proprio per questo, il trattato verterà sulle problematiche relative al cambiamento climatico in riferimento alla valutazione dei rischi negli ambienti lavorativi indoor e outdoor, ponendo particolare attenzione ai lavoratori che operano nei cantieri temporanei mobili. Il cambiamento climatico ha avuto in questi anni, come visto precedentemente, e avrà sicuramente anche nei prossimi anni, un impatto negativo sulla salute umana, soprattutto a causa delle ondate di calore sempre più lunghe e intense e a causa dei vari eventi estremi già analizzati. Per prevenire che i cambiamenti intacchino maggiormente i lavoratori e bene studiarne il loro impatto sulla salute. Gli impatti dei cambiamenti climatici a seconda del percorso causale che si verifica, è possibile suddividerli in tre diversi effetti, ma di principale interesse nel presente elaborato è l'effetto primario di cui si trascrive la definizione: *Gli effetti primari sono associati all'esposizione diretta a un calore eccessivo o ai rischi di infortunio in condizioni atmosferiche estreme (come lesioni fisiche durante tempeste o inondazioni)* [15].

Secondo l'OMS, la temperatura ideale per lavorare varia dai 16°C ai 24°C a seconda del tipo di lavoro che il lavoratore sta svolgendo, mentre a livello nazionale l'INAIL raccomanda di mantenere una temperatura negli uffici compresa tra 18 °C e 22 °C, mentre in estate raccomanda di non superare una differenza termica di 7°C tra ambiente esterno e ambiente interno; se queste temperature non vengono rispettate è certo che la produttività dei lavoratori scenda drasticamente, inducendo ad un aumento degli infortuni in quanto diminuisce l'attenzione del lavoratore stesso. Alle temperature non idonee si aggiungono anche i fattori legati all'umidità e alla pressione dell'aria, agli indumenti protettivi che possono anche impedire la sudorazione e quindi creare disagio.

Nel presente trattato verrà posta particolare attenzione ai lavoratori che svolgono la propria mansione all'aperto e/o con attività fisica impegnativa, più specificatamente i cantieri temporanei mobili; non solo però il settore edilizio è a rischio ma è a rischio anche il settore dell'agricoltura ad esempio, e per prevenire tali rischi bisogna adottare specialmente misure organizzative quali il cambiamento orario di lavoro, adottare

attrezzature adeguate e fornire un accesso diretto all'acqua; e ovvio però che anche le specifiche misure di prevenzione possono portare l'insorgere di ulteriori rischi.

Per quanto riguarda i lavoratori esposti ad elevate temperature, l'esposizione al calore esterno ed una produzione di calore interno provocano il cosiddetto stress termico⁸. La tensione termica dovuta allo stress termico può portare ad una variazione, quindi una diminuzione, delle capacità delle prestazioni umane, riducendo la capacità lavorativa dell'operatore, aumentando il rischio degli incidenti e riducendo soprattutto la capacità di movimento o qualsiasi tipo di attività del lavoratore stesso. In altri casi invece lo stress termico può provocare malattie croniche o addirittura la morte se il lavoratore è esposto a temperature elevate per un lungo periodo, ma può provocare nel peggiore dei casi anche colpi di calore acuti provocandone la morte del soggetto.

⁸ Lo stress termico si manifesta quando il sistema di termoregolazione del soggetto coinvolto fallisce; il fallimento può essere dovuto a diversi fattori quali: temperatura dell'aria, ventilazione, umidità, vestiario e lavorazione svolta.

3 METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DEL MICROCLIMA

3.1 Normativa italiana e Norme Tecniche

Il D.lgs. 81/08 e s.m.i. al Titolo VIII – “Agenti fisici”⁹, ai fini della protezione della salute e sicurezza dei lavoratori, definisce come agenti fisici il rumore, gli ultrasuoni, gli infrasuoni, le vibrazioni meccaniche, i campi elettromagnetici, le radiazioni ottiche di origine artificiale, il microclima e le atmosfere iperbariche; gli agenti fisici suddetti comportano i rischi principali per la salute e la sicurezza dei lavoratori e devono essere direttamente eliminati alla fonte o ridotte al minimo adottando misure di controllo.

In riferimento alla valutazione dei rischi, obbligo non delegabile del datore di lavoro, si devono valutare tutti i rischi che derivano dall’esposizione ad agenti fisici e successivamente quindi identificare e adottare misure di prevenzione e protezione idonee a eliminare o ridurre tali rischi. La valutazione dei rischi deve essere effettuata con cadenza quadriennale e deve essere aggiornata ad ogni variazione del processo produttivo o dell’organizzazione del lavoro, a seguito dell’evoluzione della tecnica di prevenzione o protezione o a seguito di infortuni significativi o quando il medico competente, che ha effettuato la sorveglianza sanitaria, ne evidenzia la necessità. È obbligo del datore di lavoro adottare misure immediate per ridurre l’esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione, indicati nei relativi capi di ogni agente fisico. Conseguentemente il datore di lavoro dovrà individuare i motivi di superamento dei valori limite di esposizione e dovrà adottare misure di prevenzione e protezione idonee per evitarne un ulteriore superamento.

Il microclima è un particolare agente fisico, il quale si intende “*il complesso di parametri ambientali che caratterizzano localmente l’ambiente in cui l’individuo vive e lavora e che congiuntamente a parametri individuali quali all’attività metabolica correlata al compito lavorativo, la resistenza termica del vestiario determinata dalle caratteristiche dell’abbigliamento indossato, condizionano gli scambi termici tra*

⁹ Riferimenti di legge:

- Art. da 180 a 186 Titolo VIII “Agenti fisici” – Capo I “Disposizioni generali”.

soggetto e ambiente circostante” [16] ed è spesso un rischio sottovalutato all’interno dei vari documenti della sicurezza.

Il microclima all’interno del D.lgs 81/08, oltre che nel Titolo VIII, compare in diversi titoli:

- Titolo II – “Luoghi di lavoro”¹⁰;
- Titolo VII – “Attrezzature munite di videoterminale”¹¹

All’interno del T.U. il legislatore decide quindi di seguire due strade diverse, la prima riguarda i due Titoli appena elencati e consiste nella riduzione e/o eliminazione dei disagi causati da discomfort termico¹², la seconda invece, in riferimento al Titolo VIII, consiste nella riduzione e/o eliminazione dei rischi causati da stress termico¹³. Il datore di lavoro ha in egual modo l’obbligo di rispettare sia le prescrizioni riguardanti il disagio sia il rischio, sono solo riferite ad ambienti diversi, ovvero agli ambienti vincolati e non vincolati¹⁴, trattati nei capitoli seguenti. Nel Titolo VIII il microclima è considerato come un agente fisico *che può comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori*, ma spesso si arriva a sottovalutare quelli che potrebbero essere i rischi derivanti dall’agente fisico microclima. La valutazione dei rischi, come detto in precedenza nel presente elaborato, è un obbligo del datore di lavoro non delegabile, mentre la valutazione del disagio può essere subordinata alla sua effettiva attuabilità.

¹⁰ Specificatamente:

- art.63 – “Requisiti di salute e sicurezza”
- allegato IV punto 1.9 “Microclima” – “Requisiti dei luoghi di lavoro”.

¹¹ Ad esempio, gli uffici, le casse dei supermercati, gli sportelli poste. I riferimenti di legge in questo caso sono:

- art.174 – “Obblighi del datore di lavoro”
- allegato XXXIV punto 2, “Ambiente”, lettera e) “parametri microclimatici” – “Videoterminali”.

¹² Il discomfort termico si manifesta quando il soggetto coinvolto presenta insoddisfazione al livello mentale nei confronti dell’ambiente termico in cui opera.

¹³ Lo stress termico si manifesta quando il sistema di termoregolazione del soggetto coinvolto fallisce; il fallimento può essere dovuto a diversi fattori quali: temperatura dell’aria, ventilazione, umidità, vestiario e lavorazione svolta.

¹⁴ Per gli ambienti termici vincolati il T.U. pone come obiettivo la riduzione e/o eliminazione dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, mentre per gli ambienti non vincolati, dove i rischi relativi all’ambiente termico sono considerati assenti, il T.U. pone come obiettivo la riduzione e/o eliminazione dei disagi causati dal discomfort termico.

Per raggiungere l'obiettivo comfort termico negli ambienti non vincolati, la valutazione è effettuata direttamente sull'ambiente preso in esame, verificando i requisiti di cui all'art. 63 (Titolo II – Luoghi di lavoro) e all'allegato IV, ma anche art. 174 (Titolo VII – Attrezzature munite di videoterminale) e allegato XXXIV, senza effettuare nessuna verifica e valutazione sullo stress termico. Se l'obiettivo di comfort termico non viene rispettato bisogna attuare misure di riduzione e/o modifica dei parametri ambientali, definiti nei capitoli seguenti. Per alcuni casi particolari, ad esempio magazzini, quindi ambienti molto estesi con poco personale, con presenza di raffrescamento e/o riscaldamento, si può fare riferimento al D.Lgs 81/08, allegato IV, punto 1.9.2.5, valido per tutti gli ambienti di lavoro; di seguito la definizione: *“quando non è conveniente modificare la temperatura di tutto l'ambiente, si deve provvedere alla difesa dei lavoratori contro le temperature troppo alte o troppo basse mediante misure tecniche localizzate o mezzi personali di protezione”*. Sostanzialmente se l'obiettivo comfort termico non può essere soddisfatto attuando misure di prevenzione, bisogna attuare misure di protezione collettiva o individuale.

La prevenzione per gli ambienti vincolati è l'eliminazione dello stress termico; questo può avvenire effettuando una valutazione concentrata sulle attività lavorative svolte dal soggetto coinvolto in uno specifico ambiente di lavoro; in questo caso quindi la valutazione deve essere effettuata facendo riferimento al Titolo VIII che tratta gli agenti fisici, ma se anche in questo caso l'ambiente coinvolto è un'ambiente indoor, è possibile fare riferimento alle prescrizioni di cui all'allegato IV.

All'interno del D.lgs 81/08 non esiste una sezione specifica che faccia riferimento ai particolari limiti a livello di disagio o stress termico, per questo bisogna ricorrere a specifiche norme tecniche, differenziate a seconda dell'ambiente termico, per valutare in modo quantitativo il rischio e quindi successivamente adottare le misure di prevenzione e protezione più idonee. La tipologia di ambiente termico preso come riferimento è molto importante per definire l'approccio al particolare rischio, il metodo che deve essere adottato per effettuare la valutazione del rischio e le relative norme tecniche di riferimento pubblicate da organismi internazionali o europei. Altrettanto importanti sono anche le condizioni microclimatiche degli ambienti di lavoro che variano a seconda del ciclo produttivo, delle caratteristiche ambientali, delle caratteristiche strutturali del luogo di lavoro stesso e degli impianti utilizzati.

Le principali norme tecniche di settore utilizzate per effettuare una valutazione sulle metodologie sono le seguenti:

- UNI EN ISO 11399:2001 Ergonomia degli ambienti termici - Principi e applicazione delle relative norme internazionali;
- ISO/TS 13732-2:2001 Ergonomics of the thermal environment - Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces - Part 2: Human contact with surfaces at moderate temperature;
- UNI EN ISO 7726: 2002 Ergonomia degli ambienti termici - Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche;
- UNI EN ISO 10551:2002 Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dell'influenza dell'ambiente termico mediante scale di giudizio soggettivo;
- UNI EN ISO 12894: 2002 Ergonomia degli ambienti termici - Supervisione medica per persone esposte ad ambienti molto caldi o molto freddi;
- UNI EN ISO 9886:2004 Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche;
- UNI EN ISO 13731:2004 Ergonomia degli ambienti termici - Vocabolario e simboli;
- UNI EN ISO 15265: 2005 Ergonomia dell'ambiente termico - Strategia di valutazione del rischio per la prevenzione dello stress o del disagio termico in condizioni di lavoro;
- 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 7730:2006 Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica ed interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico (specificatamente per gli ambienti non vincolati)
- UNI EN ISO 13732-3:2006 Ergonomia degli ambienti termici - Metodi per la valutazione della risposta dell'uomo al contatto con le superfici - Parte 3: Superfici fredde;
- UNI EN ISO 11079:2008 Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione e interpretazione dello stress termico da freddo con l'utilizzo dell'isolamento

- termico dell'abbigliamento richiesto (IREQ) e degli effetti del raffreddamento locale;
- UNI EN ISO 15743: 2008 Ergonomia dell'ambiente termico - Posti di lavoro al freddo - Valutazione e gestione del rischio;
 - UNI EN ISO 9920:2009 Ergonomia dell'ambiente termico - Valutazione dell'isolamento termico e della resistenza evaporativa dell'abbigliamento;
 - UNI EN ISO 13732-1:2009 Ergonomia degli ambienti termici - Metodi per la valutazione della risposta dell'uomo al contatto con le superfici - Parte 1: Superfici calde;
 - UNI EN ISO 28803: 2012 Ergonomia degli ambienti fisici - Applicazione di norme internazionali alle persone con speciali necessità;
 - 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 8996:2022 Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione del metabolismo energetico.

3.2 Vari metodi di valutazione del comfort termico e del rischio da esposizione ad ambienti moderati e severi sulla base delle norme tecniche

3.2.1 Equazione di bilancio termico

In genere, il corpo umano è in grado di mantenere costante la propria temperatura centrale che varia tra i 36 e i 38 °C, grazie ad un sistema di termoregolazione controllata dall'ipotalamo; ovviamente è possibile che questa temperatura vari a seconda delle condizioni temporanee del soggetto coinvolto, ad esempio, esercizio fisico, età, temperatura ambientale etc. La variazione di temperatura centrale dipende dagli scambi termici che l'organismo umano effettua con l'ambiente esterno sottoforma di calore entrante o uscente e sottoforma di energia meccanica che viene prodotta con l'attività fisica. La termoregolazione, quindi, riguarda la capacità del soggetto coinvolto di

disperdere o produrre calore e osservandone l'importanza, si introduce di seguito l'equazione di bilancio termico applicata al corpo umano.

$$S = (M - W) - (C_{RES} \pm E_{RES} \pm K \pm C \pm R \pm E) \quad (3.1)$$

L'equazione (3.1) è definita in energia per unità di tempo, ovvero una potenza; i termini, specificati in seguito, hanno segno positivo quando hanno un guadagno di energia, mentre hanno segno negativo quando si ha una perdita di energia.

S: Variazione di energia termica interna;

M-W: Calore prodotto;

$C_{RES} - E_{RES}$: Potenza termica dispersa con la respirazione;

$K \pm C \pm R \pm E$: Potenza termica dispersa attraverso la pelle.

La variazione di energia termica, può discostarsi dall'equilibrio termico in funzione della potenza termica in ingresso e in uscita, *Tabella 3.1*.

Tabella 3.1: Variazione di energia termica.

VARIAZIONE DI ENERGIA TERMICA S			TEMPERATURA CENTRALE DEL CORPO	SENSAZIONE
=0	equilibrio termico	nessuna variazione di energia	costante	neutralità termica
>0	potenza termica in ingresso nel corpo > di quella in uscita	variazione positiva di energia	aumenta	caldo
<0	potenza termica in ingresso nel corpo < di quella in uscita	variazione negativa di energia	diminuisce	freddo

In riferimento alla tabella precedente, si definisce equilibrio termico la particolare condizione in cui non si ha nessuna variazione di energia, in quanto la potenza termica in ingresso nel corpo umano è uguale alla potenza termica in uscita; la temperatura centrale si mantiene costante e la sensazione del soggetto coinvolto è la neutralità termica.

$S > 0$ è un'altra particolare condizione in cui si ha una variazione positiva di energia, in quanto la potenza termica in ingresso nel corpo umano è maggiore della potenza termica in uscita, determinando così un aumento della temperatura centrale e conseguentemente la sensazione di caldo del soggetto coinvolto.

$S < 0$ invece è la condizione in cui si ha una variazione negativa dell'energia, in quanto la potenza termica in ingresso nel corpo è minore di quella in uscita; ciò porta quindi ad una sensazione di freddo da parte del soggetto coinvolto conseguentemente ad una diminuzione della temperatura centrale.

Lo scopo della termoregolazione corporea, quindi, è quello di mantenere stabile la temperatura del corpo a seconda dell'ambiente in cui il soggetto coinvolto si trova, per cui ci deve essere un bilanciamento tra i fattori che incrementano e sottraggono il calore; per mantenere però la condizione di neutralità termica, l'organismo del soggetto coinvolto, attiva diversi processi, quali sudorazione, brividi e vasodilatazione periferica¹⁵. Se sussiste una variazione di energia termica, per mantenere l'equilibrio viene in aiuto l'ipotalamo, un vero e proprio centro regolatore della termoregolazione che funziona da termostato in grado di ripristinare la temperatura di 37 °C. Il centro regolatore è in grado di attivarsi grazie ai termorecettori cutanei e alla variazione della temperatura del sangue. I recettori cutanei sono i più importanti in quanto sono coloro che sono a contatto con l'ambiente esterno e sono in grado di percepire il caldo e il freddo. L'uso continuo dei meccanismi di termoregolazione, che permettono il mantenimento della temperatura nei limiti compatibili, porta ad una situazione di stress termico sviluppando fenomeni patologici e quindi un cedimento del sistema di controllo. Proprio per questo motivo si deve limitare l'esposizione nel tempo al particolare agente fisico microclima. Le patologie, che possono manifestarsi con un uso prolungato dei meccanismi di regolazione, sono varie e si differenziano a seconda dell'ambiente in cui il soggetto coinvolto si trova.

Per valutare e descrivere correttamente il rischio legato all'agente fisico, e quindi il grado di discomfort, bisogna ricavare i valori delle grandezze microclimatiche, ovvero i fattori fisici che determinano il microclima, che possono essere soggettivi o oggettivi, riassunti nel seguito.

¹⁵ La vasodilatazione periferica è l'aumento del diametro dei vasi sanguigni che riforniscono le estremità del corpo.

3.2.2 Parametri fondamentali

Le grandezze microclimatiche, o parametri fondamentali, sono suddivisi in 4 parametri ambientali, o di tipo oggettivo, e in 2 parametri soggettivi. Le prime definiscono gli scambi termici che caratterizzano l'ambiente termico e sono:

- t_a temperatura dell'aria [$^{\circ}\text{C}$]
- v_a velocità dell'aria [m/s]
- u_r l'umidità relativa [%]
- t_r temperatura media radiante (temperatura delle superfici nell'ambiente) [$^{\circ}\text{C}$]

I parametri oggettivi sono in grado di modificare la percezione dell'ambiente da parte del soggetto coinvolto, bisogna quindi effettuare una loro analisi per valutare quali strategie sono più idonee per migliorare il comfort termico del soggetto coinvolto. La temperatura dell'aria e la temperatura media radiante sono due parametri che influenzano la sensazione termica attivando i sensori cutanei del soggetto coinvolto. La velocità dell'aria, quindi anche l'eventuale ventilazione, favorisce la perdita di calore mentre l'umidità relativa influenza l'evaporazione dell'acqua sia a livello cutaneo che a livello polmonare durante la respirazione.

I restanti 2 parametri fondamentali, i cosiddetti parametri soggettivi sono:

- M metabolismo energetico [met]¹⁶
- I_{cl} isolamento termico dell'abbigliamento [clo]¹⁷

3.2.3 Ambienti termici

I principali documenti tecnici suddividono gli ambienti termici in:

- Ambienti moderati: ambienti termici in cui gli scambi termici soggetto-ambiente consentono di raggiungere l'equilibrio termico, ovvero il comfort. Per comfort termico si intende *“lo stato psicofisico nel quale il soggetto esprime soddisfazione verso l'ambiente termico in esame”*. Per questo tipo di ambiente non esistono

¹⁶ 1 unità metabolica = 1 met = 50 Kcal/h.

¹⁷ 1 clothing unit = 1 clo = 0,155 m² °C/W = 0,180 m² °C h/Kcal.

vincoli per la quale non è possibile raggiungere il comfort, in effetti l'obiettivo è proprio il raggiungimento del comfort termico e di conseguenza l'ambiente viene definito moderabile¹⁸. I classici ambienti moderati sono ad esempio gli uffici in cui sono assenti importanti scambi termici soggetto-ambiente; le condizioni microclimatiche non hanno variazioni sostanziali, l'attività svolta dall'individuo coinvolto è di modesta entità e inoltre l'abbigliamento utilizzato è omogeneo.

- Ambienti severi: ambienti termici in cui le condizioni ambientali determinano uno squilibrio termico nel soggetto esposto e quindi possono rappresentare un fattore di rischio per la salute. Per questo tipo di ambiente esistono dei vincoli soprattutto sulla temperatura, ma anche sull'attività metabolica e sul vestiario che inficiano sul raggiungimento delle condizioni di comfort, in effetti l'obiettivo è la salvaguardia della salute e sicurezza dei lavoratori e in questo caso l'ambiente si definisce vincolato¹⁹. Gli ambienti termici vincolanti si suddividono a loro volta in ambienti caldi e in ambienti freddi. Gli ambienti caldi portano a possibili rischi di ipertermia, mentre gli ambienti freddi potrebbero portare a rischi da ipotermia. Per ambienti freddi si intendono ad esempio le celle frigorifere, industrie con particolari cicli produttivi o anche ambienti esterni a qualsiasi edificio chiuso, quali ad esempio i cantieri temporanei mobili. Questi ultimi ambienti possono anche essere inseriti nella categoria degli ambienti severi caldi in particolari periodi dell'anno insieme alle industrie che hanno cicli produttivi che comportano temperature elevate.

Di fondamentale importanza, prima di effettuare la valutazione dei rischi, è analizzare tutti i vincoli, recepire tutte le informazioni necessarie inerenti alle postazioni di lavoro e i tempi di permanenza nelle stesse, attraverso analisi documentale che fa riferimento all'ambiente oggetto di indagine; i vincoli possono essere relativi a condizioni termigrometriche ambientali e relativi a caratteristiche dell'abbigliamento e/o all'attività metabolica dell'individuo.

¹⁸ ai sensi del 1.9.2 dell'allegato IV del D.lgs 81/08.

¹⁹ ai sensi del Titolo VIII del D.lgs 81/08, art. 180-186.

3.2.3.1 Ambienti moderati

Il lavoratore coinvolto in una determinata attività e in un determinato ambiente deve operare in salute e sicurezza e soprattutto, considerazione da non sottovalutare, non deve avere né caldo né freddo, quindi, non deve sussistere nessuna sensazione di discomfort in nessuna parte del corpo. Deve trovarsi in una situazione di comfort termico, tale da avere un benessere mentale nei confronti dell'ambiente termico in cui svolge l'attività. Molto importanti sono le condizioni microclimatiche a cui sono sottoposti i lavoratori, che condizionano lo scambio termico dell'uomo con l'ambiente e influenzano la percezione del luogo di lavoro. Il comfort termico del soggetto coinvolto nelle lavorazioni può essere di tipo globale o di tipo locale:

- locale: gli scambi termici sono localizzati in aree specifiche superficiali del corpo coinvolto;
- globale: la risposta della termoregolazione fisiologica permette di mantenere le condizioni di neutralità, rendendo costante la temperatura centrale della persona coinvolta.

Obbligo del datore di lavoro, secondo il D.lgs 81/08 e s.m.i., è effettuare la valutazione dei rischi, in cui è compresa anche la valutazione dei rischi da agenti fisici; ha anche l'obbligo di mantenere un luogo di lavoro in condizioni tali da far operare il lavoratore in condizioni di benessere. In riferimento al T.U., il legislatore nel titolo IV fornisce anche delle indicazioni riguardo all'adeguatezza degli ambienti di lavoro, in particolare l'areazione, la temperatura e l'umidità. L'obiettivo "comfort termico" si raggiunge solamente misurando la variazione, cioè lo scostamento delle condizioni microclimatiche di benessere dalle condizioni reali.

Gli ambienti moderati sono ambienti termici in cui gli scambi termici soggetto-ambiente consentono di raggiungere l'equilibrio termico, ovvero il comfort. Uno dei più importanti ambienti moderati è l'ambiente ufficio, luogo in cui non sussistono importanti scambi termici tra soggetto-ambiente, per cui in questi ambienti non si definisce lo stress termico in quanto le condizioni microclimatiche non variano eccessivamente. L'incolumità del lavoratore non è compromessa totalmente, ma esso potrebbe presentare disagio e automaticamente ridurre la performance lavorativa.

Non esiste nessun obbligo di legge riguardo al rispetto di determinati valori per quanto riguarda la misura delle condizioni microclimatiche; il legislatore, vista la mancata indicazione di valori specifici, raccomanda al datore di lavoro di fare particolare attenzione alle attività svolte dal lavoratore. La norma UNI EN ISO 7730:2006 indica, specificatamente per gli ambienti moderati, i range all'interno dei quali i valori dei parametri oggettivi son compresi:

- 10 °C < la temperatura dell'aria < 30 °C
- 0 m/s < velocità dell'aria < 1 m/s
- 30 % < umidità relativa < 70%
- 10 °C < temperatura media radiante < 30°C

I due principali indici su cui si basa la valutazione sono:

- Predicted Mean Vote (PMV) – Voto medio previsto;
- Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) – Percentuale prevista di insoddisfatti.

Gli indici PMV e PPD permettono di valutare se il soggetto si trova in una condizione di comfort termico o quanto è distante da quella condizione, ma permettono anche di valutare se esistono le condizioni termiche locali che possono creare dei discomfort per particolari parti corporee. Nel primo caso quindi si tratta il soggetto coinvolto nella sua globalità, mentre nel secondo caso il soggetto coinvolto è analizzato localmente.

3.2.3.1.1 Indici PMV e PPD per la valutazione del comfort globale

Gli indici legati al comfort globale sono legati ad un approccio teorico che è basato sull'equazione (3.1) del bilancio termico. L'indice PMV è quello più utilizzato e deriva da un modello predittivo che si basa sul confronto dei risultati dell'equazione di bilancio termico ottenuti da un campione di studenti esposti in una camera climatica per 3 ore.

L'indice PMV è calcolato come nell'equazione (3.2) che viene risolta tramite iterazione:

$$PMV = CT \cdot (0,303 \cdot e^{(-0.36M)} + 0.028) \quad (3.2)$$

dove CT è il carico termico, ovvero la differenza tra potenza termica ceduta dal soggetto coinvolto all'ambiente termico e quella scambiata dello stesso lavoratore in condizioni

omeoterme²⁰. Il PMV è un giudizio medio, esisterà per cui una percentuale di soggetti non soddisfatti, espresso da un campione ampio di persone esposto alle stesse condizioni microclimatiche in esame, ma che esegue anche le stesse attività e rappresenta una scala di sensazione termica a 7 punti visualizzabile in *Tabella 3.2*:

Tabella 3.2: Scala di sensazione termica quantificata attraverso 7 punti.

VOTO	SENSAZIONE
+3	molto caldo
+2	caldo
+1	leggermente caldo
0	né caldo né freddo
-1	leggermente freddo
-2	freddo
-3	molto freddo

Il range considerato affidabile varia da -2 a +2 e la norma tecnica afferma che è raccomandato utilizzare questo indice quando i sei parametri principali assumono i seguenti valori, *Tabella 3.3*:

Tabella 3.3: Intervalli raccomandati che devono assumere i 6 parametri fondamentali per utilizzare l'indice PMV.

PARAMETRO	INTERVALLO
Attività metabolica	0.8 Met ÷ 4 Met
Isolamento termico	0 clo ÷ 2clo
Temperatura dell'aria	10°C ÷ 30°C
Temperatura media radiante	10°C ÷ 40°C
Velocità relativa	0 m/s ÷ 1 m/s
Pressione parziale di vapore (umidità relativa)	0 Pa ÷ 2700 Pa

Se anche un solo parametro non ricade all'interno dell'intervallo indicato in *Tabella 3.3*, l'indice PMV non è più utilizzabile in quanto non rappresenta più un indicatore di comfort termico; il soggetto coinvolto si trova già in un particolare caso di alterazione della termoregolazione e devono essere adottati interventi immediati per riportare il/i

²⁰ Condizione di stabilità termica del corpo, per cui, entro certi limiti, la temperatura rimane stazionaria, indipendentemente dalle oscillazioni termiche dell'ambiente e dal variare della quantità di calore prodotto nei processi metabolici – Dizionario di medicina.

parametro/i all'interno degli intervalli di applicabilità e prevenire possibili effetti gravi sulla salute dei lavoratori.

L'indice PPD, noto PMV, è calcolato come nell'equazione (3.3):

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2)} \quad (3.3)$$

La percentuale di persone insoddisfatte rispetto alle condizioni termiche prese in esame è quantificata dall'indice PPD ed è funzione dell'indice PMV come illustrato in *Figura 3.1* in cui si può notare che anche nella condizione di neutralità termica $PMV=0$ esiste una percentuale del 5% di persone insoddisfatte.

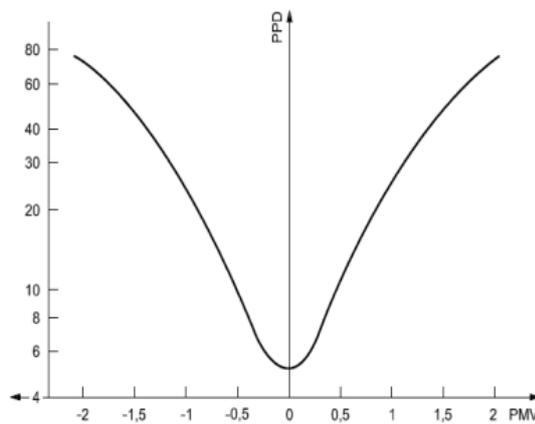


Figura 3.1: Rappresentazione grafica dell'indice PPD in funzione dell'indice PMV [17].

3.2.3.1.2 Valutazione del discomfort locale

L'indice PMV tiene conto del corpo del soggetto coinvolto in modo globale, senza considerare i dettagli delle specifiche disomogeneità relative all'ambiente che potrebbero causare problematiche locali sul corpo. Facendo riferimento alla medesima norma UNI EN ISO 7730:2006 si possono individuare quattro principali cause di discomfort locali:

- Correnti d'aria;
- Differenza verticale di temperatura tra la testa e le caviglie;
- Pavimento troppo caldo o troppo freddo;
- Asimmetria della temperatura radiante.

Esaminiamo più nel dettaglio le quattro principali cause di disagio termico:

Correnti d'aria:

$$DR = (34 - t_{a,l}) \cdot (\bar{v}_{a,l} - 0.05)^{0.62} \cdot (0.37 \cdot \bar{v}_{a,l} \cdot T_u + 3.14) \quad (3.4)$$

Nell'equazione (3.4) è indicato il calcolo della percentuale dei soggetti disturbati dalla corrente d'aria dove:

- $t_{a,l}$ è la temperatura dell'aria locale, in °C, con $20\text{ °C} < t_{a,l} < 26\text{ °C}$;
- $\bar{v}_{a,l}$ è il valore medio della velocità locale, in m/s, con $\bar{v}_{a,l} < 0.5\text{ m/s}$;
- T_u è l'intensità della turbolenza locale, con $10\% < T_u < 60\%$ (se non è nota può essere assunta pari a 40%);
- DR è la % di soggetti insoddisfatti rispetto alle correnti d'aria.

Per valori di $\bar{v}_{a,l} < 0.5\text{ m/s}$ porre $\bar{v}_{a,l} = 0.5\text{ m/s}$.

Per valori di $DR < 100\%$ porre $DR = 100\%$.

Questo specifico modello può essere applicato per attività sedentarie e quando si è vicini al caso di equilibrio termico oppure quando le correnti d'aria sono all'altezza della nuca del soggetto coinvolto.

Differenza verticale di temperatura tra la testa e le caviglie ovvero il gradiente verticale della temperatura dell'aria:

La differenza verticale di temperatura, se elevata, può essere causa di disagio e viene indicata, nell'equazione (3.5) dall'indice $\Delta t_{a,v}$:

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(5.76 - 0.856 \cdot \Delta t_{a,v})}} \quad (3.5)$$

La formula precedente indica la percentuale di insoddisfatti rispetto al gradiente di temperatura ed è valida solo per $\Delta t_{a,v} < 8\text{ °C}$.

Pavimento troppo caldo o troppo freddo:

La percentuale di insoddisfatti rispetto a questo specifico parametro è calcolata tramite l'equazione (3.6):

$$PD = 100 - 94 \cdot e^{(-1.387 + 0.118 \cdot t_f - 0.0025 \cdot t_f^2)} \quad (3.6)$$

dove t_f è la temperatura del pavimento in °C e PD è la % di insoddisfatti rispetto alla causa pavimento troppo caldo o troppo freddo. Bisogna fare attenzione quando il soggetto svolge attività in luoghi con pavimenti riscaldati elettricamente in quanto i risultati non sono più validi per questo tipo di parametro, ma anche quando il lavoratore opera a piedi nudi²¹.

Asimmetria della temperatura radiante:

La percentuale di insoddisfatti rispetto a questo specifico parametro viene suddivisa in 4 condizioni differenti: soffitto caldo (equazione 3.7 a), parete fredda (equazione 3.7 b), soffitto freddo (equazione 3.7 c), parete calda (equazione 3.7 d),

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(2.846 - 0.174 \cdot \Delta t_{pr})}} - 5.5 \quad \text{Per } \Delta t_{pr} < 23 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.7 \text{ a})$$

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(6.61 - 0.345 \cdot \Delta t_{pr})}} \quad \text{Per } \Delta t_{pr} < 15 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.7 \text{ b})$$

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(9.93 - 0.5 \cdot \Delta t_{pr})}} \quad \text{Per } \Delta t_{pr} < 15 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.7 \text{ c})$$

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(3.72 - 0.052 \cdot \Delta t_{pr})}} - 3.5 \quad \text{Per } \Delta t_{pr} < 35 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.7 \text{ d})$$

3.2.3.1.3 Criteri di comfort:

La norma UNI EN ISO 7730 indica 3 categorie di comfort in cui si ha il simultaneo soddisfacimento dei criteri globali e locali appena valutati, secondo la *Tabella 3.4*.

²¹ In questo particolare caso bisogna fare riferimento alla norma tecnica ISO/TS 13732-2:2001.

Tabella 3.4: Limiti per l'esposizione in ambienti non vincolati tramite gli indici di comfort globale (PMV e PPD) e di discomfort locale (DR e PD).

Categoria	Stato termico del corpo nella sua interezza – Comfort globale		Discomfort locali			
	PPD %	PMV	DR %	PD % Causato da		
				Differenza verticale di temperatura dell'aria	Pavimento caldo o freddo	Asimmetria radiante
A	<6	-0.2<PMV<+0.2	<10	<3	<10	<5
B	<10	-0.5<PMV<+0.5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0.7<PMV<+0.7	<30	<10	<15	<10

3.2.3.1.4 Calcolatore degli indici

Il CBE (Center of the Built Environment)²² ha sviluppato un calcolatore dell'indice PMV disponibile online basato sulla norma ANSI/ASHRAE Standard 55-2020²³. È possibile selezionare, a discrezione del tecnico che effettua la valutazione, degli indici di input quali: temperatura operativa, velocità dell'aria, umidità relativa (oppure pressione di vapore, tasso metabolico) e isolamento termico. Per quanto riguarda la velocità dell'aria si può selezionare la presenza o l'assenza del controllo locale dell'ambiente. Inoltre, è possibile associare l'isolamento termico dovuto all'abbigliamento tramite la temperatura dell'aria esterna alle 6 del mattino. Molto utile è anche la valutazione rispetto alle radiazioni solari a onde corte all'interno dell'ambiente, in quanto la luce solare produce diversi effetti sul lavoratore coinvolto; si possono selezionare:

- la temperatura dell'aria [°C];
- la temperatura media radiante (temperatura superficiale attorno ad uno spazio) [°C];

²² Centro di ricerca che effettua studi sugli edifici.

²³ Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Norma utilizzata per la progettazione, nel funzionamento e nella messa in servizio di ambienti chiusi che specifica le condizioni per gli ambienti termici accettabili.

- l'altitudine solare sopra l'orizzonte espressa tramite l'angolo tra i raggi del sole che penetrano tramite le aperture degli edifici (finestre, porte) e un piano orizzontale [°];
- l'angolo orizzontale solare rispetto alla parte anteriore della persona tramite proiezione dei raggi solari sull'orizzontale [°];
- radiazione solare a fascio diretto che dipende dall'angolo dell'altitudine solare [W/m²];
- trasmittanza solare totale della finestra ovvero il rapporto tra la radiazione incidente e la radiazione totale che passa attraverso il vetro;
- fattore di visualizzazione della volta celeste, varia tra 0 e 1;
- frazione del corpo esposta al sole, varia tra 0 e 1;
- assorbimento medio delle onde corte che varia in base al colore della pelle del soggetto coinvolto e anche all'abbigliamento indossato. Se abbigliamento è medio e la pelle è bianca il fattore vale circa 0,67.

Ovviamente il programma permette anche di valutare il discomfort locale attraverso valutazioni di temperatura a parete o a soffitto. Esistono dei limiti di applicabilità che non consentono l'utilizzo del software, ad esempio per individui non sani, per occupanti dell'ambiente interno che hanno un isolamento superiore a 1,5 clo oppure per l'utilizzo di indumenti altamente permeabili e per occupanti che dormono o sono sdraiati che utilizzano isolamento aggiuntivo. Infine, il software è in grado di restituire il corretto valore di PMV con il relativo grado di sensazione, e la percentuale di PPD.

Questo appena descritto è solo uno dei tanti calcolatori disponibili online e permette di comprendere come il comfort dei soggetti occupanti gli ambienti moderati sia fondamentale per il raggiungimento del comfort termico. Questi strumenti devono essere utilizzati dal datore di lavoro o dal responsabile del servizio di prevenzione e protezione, con collaborazione eventuale del medico competente, per la redazione del documento di valutazione dei rischi che sarà analizzato in un capitolo successivo nel presente elaborato. È ovvio che se nessuno nei soggetti appena citati è in grado di effettuare una valutazione corretta, chi ne ha specifico obbligo deve rivolgersi a un tecnico specializzato.

3.2.3.2 Ambienti severi caldi

Gli ambienti severi, in generale, sono ambienti termici in cui le condizioni ambientali determinano uno squilibrio termico nel soggetto esposto e possono rappresentare un fattore di rischio per la salute. In particolare, nel presente capitolo si analizzeranno gli ambienti severi caldi e successivamente si porrà attenzione sulle misure di protezione e prevenzione.

Gli ambienti severi caldi sono caratterizzati da condizioni ambientali che non si mantengono costanti nel tempo e quindi comportano uno “*stress termico*”, dovuto a intense fonti di calore insieme ad alte temperature dell’aria, alte temperature radianti ed elevate umidità. Questi tipi di ambienti, caratterizzati da elevate temperature, portano in automatico ad un innalzamento della temperatura centrale corporea del soggetto, il sistema di termoregolazione attiva quindi i meccanismi per dissipare l’eccesso di calore soprattutto attraverso la vasodilatazione²⁴ e la sudorazione. Se i meccanismi attivati dal sistema di termoregolazione non sono sufficienti ad assicurare lo stato di omeotermia, quindi di mantenere costante la temperatura corporea indipendentemente dalle variazioni dell’ambiente esterno, si riscontrano sul soggetto coinvolto particolari patologie che potrebbero anche essere fatali.

Per quanto riguarda la valutazione del rischio negli gli ambienti severi caldi esistono tre diverse metodologie, due basate rispettivamente su due norme tecniche, la UNI EN ISO 7243:2017 e la UNI EN ISO 7933:2005, quest’ultima più dettagliata rispetto alla precedente. Il terzo metodo, più semplice, è basato sull’Indice di calore. Di seguito verranno trattati separatamente i tre diversi metodi appena citati.

3.2.3.2.1 La norma UNI EN ISO 7243:2017 e l’indice WBGT

Questo tipo di valutazione deve essere applicata sul soggetto, sottoposto a effetti dovuti al calore, nel corso di una intera giornata lavorativa (fino a 8 ore) e non su esposizioni di breve durata; inoltre è un metodo che può essere applicato sia per ambienti

²⁴ La vasodilatazione è l'aumento del calibro dei vasi sanguigni. Questo processo deriva dal rilassamento della muscolatura liscia costituente la parete dei vasi sanguigni, in particolare delle arterie, delle arteriole e delle vene di grande calibro. Il processo si oppone alla vasocostrizione, il meccanismo che conduce alla diminuzione del volume del vaso sanguigno.

lavorativi interni che esterni e per aumento di temperature fino ad un massimo di 38°C, e fondamentale non su soggetti sensibili, in quanto devono essere valutati singolarmente a seconda dall'attività che verrà svolta.

L'indice WBGT, basato sulla valutazione dello scambio termico tra soggetto coinvolto e ambiente, è un indice semplice e veloce da calcolare nella maggior parte degli ambienti e permette di effettuare una prima analisi approssimativa per stabilire la presenza o meno di stress termico. Il suddetto parametro viene valutato sulla base della classe metabolica e deriva da tre principali parametri a seconda se il soggetto esposto si trovi in ambienti interni, non soggetto alla radiazione solare, o in ambienti esterni, soggetto alla radiazione solare.

- Temperatura a bulbo umido a ventilazione naturale (tnw) che dipende dalla temperatura, dalla velocità dell'aria e dall'umidità relativa;
- Temperatura del globotermometro (tg) che dipende dalla temperatura media radiante e dalla temperatura e velocità dell'aria;
- Temperatura dell'aria (ta).

L'indice, supponendo un abbigliamento di riferimento con camicia a maniche lunghe e pantaloni in cotone ($I_{cl}=0.6$ clo), viene calcolato tramite l'equazione (3.8 a) se l'ambiente oggetto di valutazione è definito interno, altrimenti si utilizza l'equazione (3.8 b).

$$WBGT=0.7tnw+0.2tg+0.1ta \quad (\text{ambienti esterni}) \quad (3.8 a)$$

$$WBGT=0.7tnw+0.3tg \quad (\text{ambienti interni}) \quad (3.8 b)$$

Se l'abbigliamento è diverso da quello preso come riferimento, bisognerà valutare $WBGT_{eff}$, attraverso l'equazione (3.9)

$$WBGT_{eff} = WBGT + CAV \quad (3.9)$$

dove CAV (Clothing Adjustment Value) rappresenta il valore che tiene conto degli effetti dei diversi indumenti indossati e si basa su una particolare tabella presente all'interno della norma oggetto di valutazione. Il valore di WBGT, che dipende sia dall'attività metabolica del lavoratore, sia dal grado di acclimatazione²⁵ del soggetto, dovrà essere

²⁵ Tendenza del soggetto a sopportare un clima sfavorevole. Il soggetto acclimatato è una persona esposta all'ambiente severo caldo per almeno una settimana subito prima della valutazione.

confrontato con i valori limite di riferimento. Dalla *Tabella 3.5* è possibile valutare, a seconda dell'attività svolta, il valore del metabolismo energetico, e successivamente, in *Tabella 3.6* calcolare il valore di WBGT di riferimento.

Tabella 3.5: Classificazione delle classi del metabolismo.

Classe	Livello metabolico	Esempio
0 - classe metabolica riposo	115 (da 100 a 125)	Riposo, seduto a proprio agio
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 i veicoli in condizioni normali, interruttore a pedale o pedale funzionante). Foratura in piedi (piccole parti); fresatrice (minuteria); avvolgimento della bobina; avvolgimento di piccola armatura; lavorazione con utensili a bassa potenza; camminata casuale su una superficie piana (velocità fino a 2,5 km/h)
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.
3 - classe metabolica alta	415 (da 360a 465)	Braccio intenso e lavoro sul tronco; trasportare materiale pesante; spalare; diserbare; lavoro al martello; segatura; progettare o scalpellare il legno duro; falciatura mano; scavare; camminare a una velocità compresa tra 5,5 e 7 km/h su una superficie piana. Spingere o tirare carrelli a mano o carriole caricate pesantemente; scalpellare, levigatura; posa in blocchi di calcestruzzo.
4 - classe metabolica molto alta	520 (>465)	Attività molto intensa a velocità veloce e massima; lavorare con un'ascia; spalare o scavare intensamente; salire le scale, rampe o scalette; camminare velocemente con piccoli passi; correre su una superficie piana camminare a una velocità maggiore di 7 km su una superficie piana.

Tabella 3.6: $WBGT_{eff}$ valori di riferimento per le persone acclimatate e non acclimatate per cinque classi di metabolismo.

Classi metaboliche	Classe metabolica (watt)	WBGT - limiti di riferimento persone acclimatate °C	WBGT - limiti di riferimento persone non acclimatate °C
0 - classe metabolica riposo	115	33	32
1 - classe metabolica bassa	180	30	29
2 - classe metabolica moderata	300	28	26
3 - classe metabolica alta	415	26	23
4 - classe metabolica molto alta	520	25	20

I parametri WBGT e l'attività fisica, quindi l'attività metabolica, sono inversamente proporzionali, in effetti, come si vede in *Tabella 3.6*, maggiore è l'attività fisica, minore sarà l'indice WBGT. Se si ricava un valore di attività metabolica non coincidente con quello in tabella, è possibile comunque effettuare un'interpolazione. Dalla medesima tabella è anche possibile notare come il valore minimo di WBGT per le persone acclimatate è di 33 °C.

Esiste anche un altro metodo per ricavare $WBGT_{ref}$, attraverso l'equazione (3.10 a) e l'equazione (3.10 b) che rappresentano il *Figura 3.2*.

$$WBGT_{ref} = 56.7 - 11.5 \times \log_{10}(M) \text{ in } ^\circ C \quad \text{Soggetto acclimatato} \quad (3.10 \text{ a})$$

$$WBGT_{ref} = 59.9 - 14.1 \times \log_{10}(M) \text{ in } ^\circ C \quad \text{Soggetto non acclimatato} \quad (3.10 \text{ b})$$

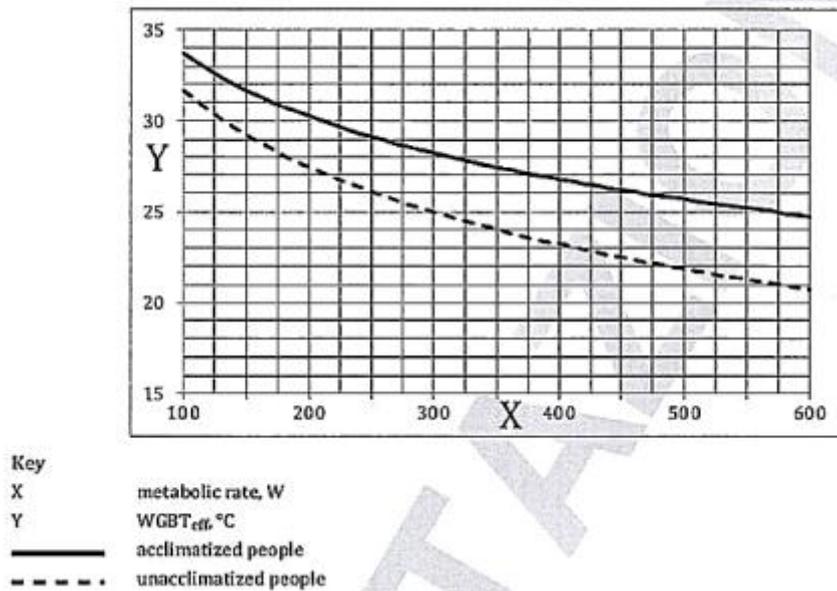


Figura 3.2: Rappresentazione grafica dell'indice $WBGT_{ref}$ in funzione del tasso metabolico.

Quindi se:

- $WBGT_{eff} \leq WBGT_{ref}$ l'individuo può non essere ritenuto esposto al rischio stress calorico e non sono richieste altre valutazioni;
- $WBGT_{eff} \geq WBGT_{ref}$ l'individuo può essere ritenuto esposto a stress calorico e quindi bisognerà effettuare alcune valutazioni sull'ambiente lavorativo e sul tipo di attività che si sta svolgendo, dopodiché effettuare un'analisi più accurata, utilizzando il metodo PHS.

Alcuni accorgimenti riguardo le varie misure dell'indice WBGT sono ad esempio che occorre effettuare le misure ad altezza dell'addome del soggetto preso in esame e se l'ambiente termico non è omogeneo, bisogna effettuare una media pesata nel tempo.

3.2.3.2.2 La norma UNI EN ISO 7933:2005 e l'indice PHS

Avendo superato i valori limite dell'indice WBGT, si consiglia di effettuare la valutazione secondo l'indice PHS (Predicted Heat Strain), metodo molto più approfondito ed affidabile. È un metodo utilizzato per caratterizzare e interpretare lo stress termico e ha due principali obiettivi: il primo obiettivo è quello di valutare lo stress termico quando si è in condizioni tali da avere un eccessivo aumento di temperatura interna centrale e una perdita eccessiva di acqua per il soggetto; il secondo obiettivo è determinare e valutare i

tempi di esposizione (tempi massimi ammissibili di esposizione) tale per cui la variazione fisiologica dell'organismo oggetto di valutazione, sia accettabile, quindi sostanzialmente senza particolari danni fisici.

La procedura per determinare questo tipo di parametro PHS è molto articolata ed è di tipo iterativo e, assegnato un range temporale, è possibile determinare la risposta fisiologica del corpo del soggetto coinvolto. Il modello restituisce valori in termini di temperatura rettale t_{re} e perdita totale di acqua SW_{tot} . Sostanzialmente maggiore è l'energia interna del corpo, maggiore sarà lo stress termico. I sei parametri principali che sono stati elencati nei capitoli precedenti, per poter applicare questo specifico modello, devono essere compresi tra i valori indicati in *Tabella 3.7*.

Tabella 3.7: Intervallo di applicabilità del metodo PHS.

PARAMETRI	MINIMO	MASSIMO
Temperatura dell'aria t_a (°C)	15.0	50.0
Differenza tra t_a e t_r (°C)	0.0	60.0
Pressione parziale del vapore acqueo p_a (kPa)	0.0	4.5
Velocità dell'aria v_a (m/s)	0.0	3.0
Attività metabolica M (W)	100.0	450.0
Isolamento termico del vestiario I_{cl} (clo)	0.1	1.0

In riferimento alla tabella precedente, i primi 4 parametri sono da valutare necessariamente con centralina, mentre per quanto riguarda l'attività metabolica e l'indice del vestiario bisogna fare riferimento alle norme tecniche. I dati di input per la valutazione di questo indice sono: peso, altezza e postura del soggetto coinvolto, possibilità di idratazione, soggetto acclimatato oppure no. Il metodo inoltre impone che la permeabilità del vapore dell'abbigliamento deve essere uguale a 0.38. Effettivamente questo tipo di metodo non può essere applicato per particolari attività lavorative in cui si usano specifici abbigliamento protettivi (vigili del fuoco, forze dell'ordine, esercito, addetti delle acciaierie, addetti nelle vetrerie). La procedura di calcolo del metodo, secondo il Portale degli Agenti Fisici²⁶, è così definita:

²⁶ Strumento che permette di effettuare valutazione sugli agenti fisici sviluppato dall'INAIL.

- Calcolo dell'andamento nel tempo della temperatura rettale (t_{re}) e della perdita totale di acqua;
- Calcolo dei valori limite per la temperatura rettale e per la perdita totale d'acqua;
- Confronto tra gli andamenti temporali ed i valori limite;
- Calcolo dei tempi in cui si raggiungono i valori limite per la temperatura rettale e per la perdita totale di acqua;
- Determinazione del limite di tempo massimo di esposizione come il minimo dei tempi calcolati nel punto precedente.

La temperatura rettale limite è pari a 38 °C.

La massima perdita totale di acqua D_{Max} per mantenere comunque i parametri fisiologici, si divide in due diversi limiti:

- D_{Max50} : protegge il 50% della popolazione lavorativa;
- D_{Max95} : protegge il 95% della popolazione lavorativa (limite più protettivo).

Effettuando un confronto con gli andamenti nel tempo della t_{re} e della D_{Max} si ha che:

- D_{limTre} : tempo dopo il quale la temperatura rettale raggiunge il valore limite;
- $D_{limloss50}$: il tempo dopo il quale la perdita totale di acqua supera il limite D_{Max50} ;
- $D_{limloss95}$: tempo dopo il quale la perdita totale di acqua supera il limite D_{Max95} .

$$D_{lim} = \text{MIN}(D_{limTre}; D_{limloss95})$$

Un vantaggio di questo metodo è quindi quello di prevedere lo stato di sollecitazione dell'individuo in ogni momento dell'esposizione all'agente fisico, permettendo, una volta terminata la valutazione, di definire una durata di esposizione sicura tale da non porre a rischio il lavoratore, e definire anche i vari periodi di recupero.

3.2.3.2.3 L'indice di calore (Heat Index HI)

Il terzo metodo per la valutazione del rischio negli ambienti severi caldi è basato sull'utilizzo dell'indice di calore, calcolato in gradi Fahrenheit (°F), valore che è utilizzato per stimare il disagio fisiologico del soggetto coinvolto in ambienti con temperatura dell'aria elevata (T_a) e dell'umidità relativa elevata (UR). Maggiore sarà questo indice, più caldo è il clima che l'analisi valuterà e maggiore quindi sarà il rischio che i lavoratori

esposti a calore possano presentare malattie legate al calore. Infatti, tanto più l'umidità relativa è elevata, più l'organismo del soggetto coinvolto farà fatica a smaltire il calore in quanto il fenomeno dell'evaporazione del sudore diventa più difficoltoso; sulla pelle si forma uno strato d'acqua che ostruisce i pori, rendendo il corpo del lavoratore isolato rispetto all'ambiente. Questo tipo di metodo è applicabile unicamente per attività che si svolgono all'aperto ed è valido per lavorazioni che si svolgono all'ombra con una leggera ventilazione.

Per effettuare la valutazione dell'indice di calore si utilizza l'equazione (3.11):

$$\begin{aligned}
 HI = & -42.379 + 2.04901523 \cdot T_a + 10.14333127 \cdot UR - 0.22475541 \quad (3.11) \\
 & \cdot T_a \cdot UR - 0.00683783 \cdot T_a^2 - 0.05481717 \cdot UR^2 \\
 & + 0.00122874 \cdot T_a^2 \cdot UR + 0.00058282 \cdot T_a \cdot UR^2 \\
 & - 0.00000199 \cdot T_a^2 \cdot UR^2
 \end{aligned}$$

dove i valori numerici sono stati ricavati da ulteriori calcoli che contengono pressione del vapore, dimensioni del soggetto coinvolto, temperatura interna del corpo del soggetto, tasso di sudorazione e velocità effettiva del vento.

Nell'equazione (3.12) è espressa la trasformazione da °F a °C:

$$T_a(^{\circ}F) = T_a(^{\circ}C) \frac{9}{5} + 32 \quad (3.12)$$

Effettuato il calcolo dell'indice di calore, per valutare il rischio, viene utilizzata una "carta dell'indice di calore", visibile in *Figura 3.3* che mostra i possibili livelli di temperatura dell'aria (misurata tramite termometro) e dell'umidità relativa (misurata tramite igrometro). I valori di temperatura dell'aria da inserire all'interno dell'equazione per valutare l'indice di calore devono essere superiori a 27°C, che corrispondono a 80°F, mentre per quanto riguarda l'umidità relativa questa deve avere un valore superiore al 40% (non considerando né la radiazione solare diretta, né l'effetto del vento).

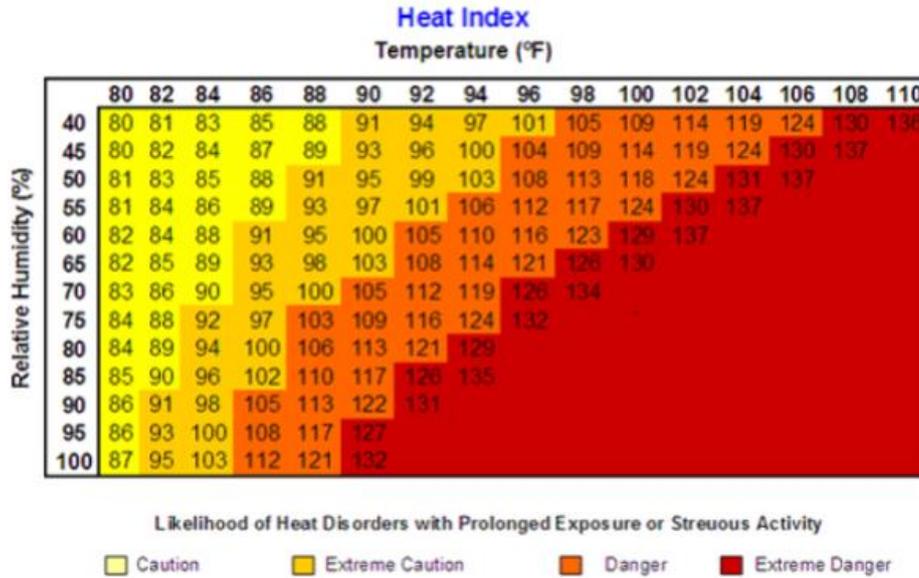


Figura 3.3: Carta di valutazione del rischio.

L'indice di calore identifica 4 diversi livelli di allerta, indicati con un colore diverso nella Figura 3.3:

Tabella 3.8: Valutazione dei disturbi e delle precauzioni in funzione dell'indice di calore.

Heat index °F	Livello di rischio	Disturbi possibili per esposizione prolungata a calore e/o a fatica fisica intensa	Precauzioni
Da 80 a 90	Basso	Cautela per possibile affaticamento (cautela per soggetti sensibili), fatica	Applica misure di sicurezza base
Da 90 a 104	Moderato	Estrema cautela, possibili crampi muscolari, colpi di sole, esaurimento fisico	Implementare le precauzioni e aumentare la consapevolezza
Da 105 a 129	Alto	Rischio possibile di colpo di calore, esaurimento fisico	Ulteriori precauzioni per proteggere il lavoratore
130	Molto alto o estremo	Rischio elevato di colpo di calore, colpo di sole	Utilizzare misure di precauzione ancora più efficaci

Il metodo basato sull'indice di calore viene anche utilizzato dal National Weather Service (servizio meteorologico nazionale) del NOAA (National Oceanic and Atmospheric

Administration)²⁷ per allertare la popolazione americana nel caso in cui la radiazione solare sia così elevata da creare un disagio termico durante il periodo estivo.

In *Tabella 3.8*, a seconda del rischio sono indicate le precauzioni che bisognerà attivare per tutelare la sicurezza e la salute dei lavoratori. Nel momento in cui si ha un rischio basso, bisognerà comunque sia attivare lo stesso le misure preventive, valutando il rischio caso per caso. Se si usano DPI²⁸ ad esempio tute integrali senza consentire una traspirazione, bisognerà attivare le misure preventive per evitare l'affaticamento. Come detto in precedenza, l'indice di calore viene valutato all'ombra, se si dovesse lavorare al sole, il valore HI, calcolato con l'equazione (3.11) deve essere aumentato di 15°C; con un incremento del genere si può passare da un rischio basso a un rischio alto, con la possibilità di avere un colpo di calore; tuttavia, si ha la necessità di aumentare i livelli di precauzioni, magari anche nello stesso ambiente lavorativo a distanza di pochi metri.

Per valutare gli indici appena descritti, si ha la necessità di avere misure strumentali specifiche effettuate da personale competente. Senza una determinata strumentazione non è possibile fare una valutazione specifica del rischio e definire le possibili azioni di miglioramento.

3.2.3.3 Ambienti severi freddi

Lo stress termico potrebbe anche derivare dall'ambiente severo freddo, caratterizzato da temperature molto basse e uniformi. In questi tipi di ambienti il sistema di termoregolazione del soggetto coinvolto deve svolgere un lavoro inverso rispetto agli ambienti severi caldi; dovrà limitare la diminuzione di temperature sia delle varie parti del corpo singolarmente (mani, piedi e testa), ma anche la temperatura centrale del corpo. I meccanismi che la termoregolazione attiva in questi casi sono la vasocostrizione²⁹ e i brividi. Quest'ultimo si attiva nel momento in cui la quantità di energia termica ceduta

²⁷ Amministrazione nazionale per l'oceano e l'atmosfera - è un'agenzia scientifica e normativa statunitense, che si occupa di previsioni meteorologiche, monitoraggio delle condizioni oceaniche e atmosferiche e tracciamento di mappe dei mari.

²⁸ Dispositivi di Protezione Individuale.

²⁹ La diminuzione diametro del vaso sanguigno.

dal corpo è maggiore di quella prodotta; se avviene ciò vuol dire che il sistema di termoregolazione non è in grado di mantenere lo stato di omeotermia. Quindi se i meccanismi attivati dal sistema di termoregolazione non sono sufficienti ad assicurare lo stato di omeotermia, si riscontrano sul soggetto coinvolto particolari patologie che potrebbero anche essere fatali. Gli ambienti severi freddi sono soprattutto quelli caratterizzati da cicli produttivi che servono per la conservazione di alimenti, quindi utilizzo di celle frigorifere, oppure ambienti in sotterraneo come cave o gli stessi cantieri durante i periodi invernali.

Per quanto riguarda la valutazione del rischio negli gli ambienti severi freddi esistono tre diverse metodologie, due basate rispettivamente su due norme tecniche, la UNI EN ISO 11079:2008 e la UNI EN ISO 13732 - 3:2009. La prima prevede il calcolo dell'indice IREQ che successivamente viene messo a confronto con l'indice dell'isolamento termico I_{clo} e infine si valuta se il vestiario indossato dal soggetto coinvolto è idoneo. Purtroppo, specificatamente questo metodo non è utilizzabile quando ci sono eventi di precipitazione, però è possibile applicarlo con qualunque tipo di esposizione, che sia continua oppure no e sui soggetti coinvolti che lavorano in ambienti chiusi o all'aperto. La seconda norma citata invece consiste nella valutazione del rischio quando il soggetto coinvolto è esposto a superfici solide talmente fredde da causare effetti negativi, quali ad esempio congelamento o dolore; fornisce dei valori soglia di temperatura su superfici fredde che la pelle nuda è in grado di sopportare.

3.2.3.3.1 Norma UNI EN ISO 11079:2008

Principale suddivisione della norma, come per gli ambienti severi caldi, è riferita a tutto il corpo del soggetto coinvolto, quindi un raffreddamento globale, oppure alle singole parti del corpo dell'individuo.

Raffreddamento locale

Riferendosi esclusivamente al raffreddamento locale, la norma effettua una suddivisione secondo la *Tabella 3.9*.

Tabella 3.9: Classificazione dei diversi tipi di raffreddamento.

Raffreddamento locale	Effetto	Valutazione
Convective cooling	Raffreddamento dovuto all'effetto del vento in presenza di bassa temperatura. Il vento accelera le perdite di calore. Rischio di raffreddamento per le parti non protette (viso e a volte mani)	Viene valutato attraverso la Wind Chill temperature ³⁰
Conductive cooling	Raffreddamento da contatto con superfici fredde.	Far riferimento alla norma UNI EN ISO 13732 – 3 “Ergonomia degli ambienti termici. Metodi per la valutazione della risposta dell'uomo al contatto con le superfici. Parte 3: Superfici fredde”
Extremity cooling	Raffreddamento delle estremità (soprattutto dita delle mani e dei piedi) dovuto alla vasocostrizione.	Il raffreddamento delle estremità può essere prevenuto o ridotto utilizzando i guanti. Per i guanti di protezione far riferimento alla UNI EN 511 “Guanti di protezione contro il freddo”.
Airway cooling	Raffreddamento delle prime vie respiratorie dovuto all'inalazione di aria a bassa temperatura, che può essere dannoso per i tessuti. Alti livelli di attività fisica rendono questo tipo di raffreddamento evidente perché coinvolgono grandi volumi di aria inspirata.	

Per quanto riguarda il primo tipo di raffreddamento locale, il convective cooling, questo è determinato attraverso il calcolo della Wind Chill Temperature, definita come *la temperatura dell'ambiente che, in presenza di una velocità del vento pari a 4,2 Km/h, produce lo stesso potere di raffreddamento (sensazione) dell'ambiente in esame* [18].

³⁰ Parametro che tiene conto del raffreddamento da parte del vento in quanto la temperatura percepita dal soggetto coinvolto è inferiore alla temperatura dell'aria.

Il calcolo della Wind Chill Temperature (t_{wc}) può essere individuato in due modi, attraverso la *Tabella 3.10* o attraverso l'equazione (3.13). Come si può notare, la t_{wc} [°C] è in funzione della velocità del vento v_{10} , definita come *il valore meteorologico standard misurato alla quota di 10 m dal livello del terreno* [18]. Ovviamente per ottenere la misura della velocità del vento bisogna prendere come riferimento i valori delle stazioni meteo più vicine al sito di interesse. Se la misura della velocità del vento alla quota di 10 m dal livello del terreno non è disponibile, si può utilizzare la velocità del vento alla quota del terreno v_a , moltiplicata per un valore pari a 1,5.

Tabella 3.10: Wind Chill Temperature in funzione della velocità del vento.

v_{10}		t_a °C										
km·h ⁻¹	m·s ⁻¹	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
5	1,4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58
10	2,8	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63
15	4,2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60	-66
20	5,6	-5	-12	-18	-24	-31	-37	-43	-49	-56	-62	-68
25	6,9	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-45	-51	-57	-64	-70
30	8,3	-7	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65	-72
35	9,7	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73
40	11,1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68	-74
45	12,5	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69	-75
50	13,9	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-70	-76
55	15,3	-9	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70	-77
60	16,7	-9	-16	-23	-30	-37	-43	-50	-57	-64	-71	-78
65	18,1	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
70	19,4	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-59	-66	-73	-80
75	20,8	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80
80	22,2	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81

$$t_{wc} = 13,12 + 0,6215 \cdot t_a - 11,37 \cdot v_{10}^{0,16} + 0,3965 \cdot t_a \cdot v_{10}^{0,16} \quad (3.13)$$

Dopo aver ottenuto il valore della Wind Chill Temperature si può procedere con la valutazione del rischio, visibile in *Tabella 3.11*.

Tabella 3.11: Classificazione del rischio raffreddamento locale convective cooling.

Classificazione del rischio	t_{wc} [°C]	Effetti
1	da -10 a -24	Freddo non confortevole
2	da -25 a -34	Molto freddo, rischio di congelamento della pelle
3	da -35 a -59	Freddo pungente, la pelle esposta può congelare in 10 minuti
4	da -60 in poi	Estremamente freddo, la pelle esposta può congelare in 2 minuti

Raffreddamento globale

Il raffreddamento globale del soggetto coinvolto è valutato attraverso l'indice IREQ e, se ce ne fosse la necessità, attraverso il tempo massimo di esposizione D_{lim} . L'indice IREQ (Insulation Required) per definizione è *l'isolamento termico risultante richiesto nelle condizioni termiche in esame per mantenere il corpo in equilibrio termico per livelli accettabili di temperatura interna del corpo e di temperatura della pelle* [18]. Il valore dell'indice IREQ è calcolato sulla base dell'equazione del bilancio termico (1.1), ipotizzando comunque particolari condizioni dell'attivazione del sistema di regolazione. Dalla risoluzione dell'equazione di bilancio termico, dopo aver valutato l'isolamento termico I_{cl} , si otterranno due valori, $IREQ_{min}$ e $IREQ_{neutral}$, definiti in *Tabella 3.12*, con $IREQ_{min} < IREQ_{neutral}$

Tabella 3.12: Definizione e condizioni dei valori di $IREQ_{min}$ e $IREQ_{neutral}$.

Valore di IREQ	Definizione	Condizione del sistema di termoregolazione	Condizioni analitiche impostate
$IREQ_{min}$	Isolamento termico minimo richiesto per mantenere il corpo in equilibrio termico per livelli subnormali di temperatura media interna corporea	Condizione I - high strain condition Condizione limite di inizio di attivazione del sistema di termoregolazione in cui l'equilibrio viene mantenuto attraverso il meccanismo della vasocostrizione in assenza di sudore. In questa condizione una persona percepirebbe la sensazione di "freddo"	temperatura superficie della pelle $t_{sk}=33,34-0,0354M$ frazione di pelle bagnata $w= 0,06$
$IREQ_{neutral}$	Isolamento termico richiesto per garantire l'equilibrio termico	Condizione I - low strain condition Condizione di neutralità termica con livelli normali di temperatura media interna.	temperatura superficie della pelle $t_{sk}=(35,7-0,0285M)$ frazione di pelle bagnata $w= 0,001M$

Per garantire l'affidabilità del calcolo dell'indice IREQ bisogna verificare che si rispettino le condizioni sotto portate:

- $t_a \leq 10^\circ\text{C}$;
- $0,4 \text{ m/s} \leq v_a \leq 18 \text{ m/s}$;
- $I_{cl} > 0,5 \text{ clo}$.

Dalla valutazione dell'indice IREQ e dell'indice I_{cl} è possibile ottenere uno dei casi indicati in *Tabella 3.13*.

Come si può notare nella tabella successiva, se la valutazione effettuata ricade nel primo caso, bisogna calcolare la durata limite di esposizione D_{lim} per tutelare il lavoratore dal raffreddamento progressivo che si potrebbe instaurare; è necessario, tuttavia, calcolare anche il tempo di recupero D_{rec} che è il tempo necessario a riportare il corpo del soggetto coinvolto ad un normale equilibrio termico.

Tabella 3.13: Casi che si possono verificare dal confronto dell'indice IREQ e l'indice I_{cl} .

N°	Condizione	Interpretazione	Azione	Necessario calcolare D_{lim} ?
1	$I_{cl} < IREQ_{min}$	isolamento termico insufficiente	Aumentare l'isolamento termico: l'abbigliamento non fornisce adeguato isolamento per prevenire il raffreddamento; Dopo l'esposizione al freddo prevedere un periodo di ricovero per riportare il corpo in condizioni di equilibrio	Si. Bisogna calcolare la durata di ricovero D_{rec}
2	$IREQ_{min} < I_{cl} < IREQ_{neutral}$	isolamento termico sufficiente	Nessuna azione ai fini del raffreddamento globale; valutazioni degli effetti dei raffreddamenti locali	no
3	$I_{cl} > IREQ_{neutral}$	isolamento termico eccessivo, rischio di sudorazione	Ridurre l'abbigliamento	no

3.2.4 Misure di Prevenzione e Protezione

Negli ambienti microclimatici le condizioni sfavorevoli dei particolari fattori che sono stati descritti nei capitoli precedenti possono provocare notevole disagio nel soggetto coinvolto. Per difendere i lavoratori bisogna quindi adottare misure di prevenzione, oppure se queste non sufficienti, adottare misure di protezione individuale (DPI).

Per quanto riguarda le misure di prevenzione, il principio fondamentale si basa sulla sorveglianza obbligatoria che deve essere effettuata da un medico competente che valuti, in base a tutte le lavorazioni che svolge il lavoratore, lo stato di salute dello stesso.

L'informazione dei lavoratori da parte del datore di lavoro è obbligo di legge; tutti i lavoratori devono essere informati sul rischio da microclima e devono essere a conoscenza sui possibili danni e sui sintomi che si possono riscontrare in modo da poter prevenire lo specifico rischio; inoltre devono essere anche informati sulle specifiche misure di prevenzione da adottare e sui comportamenti corretti da seguire per tutelare se stessi e non solo.

Anche se l'esito della sorveglianza dovesse essere positivo, al momento dell'esposizione ai microclimi caldi, bisogna effettuare una progressiva acclimatazione, in modo da non alterare in pochi secondi la temperatura interna centrale dell'organismo e creare scompensi fisici. Nella fascia oraria dalle ore 12,00 alle ore 16,00 le radiazioni solari sono molto più intense e la temperatura è molto più elevata; si prescrive tuttavia di rifugiarsi in ambienti coperti e privilegiare lavorazioni in ambienti provvisori o fissi. È bene quindi iniziare a lavorare magari già dalle prime ore del mattino quando non sussistono queste particolari condizioni di temperatura e radiazione solare, oppure prevedere la rotazione di lavorazioni al sole e all'ombra, all'aperto e al chiuso. Quando si è in condizioni di temperature maggiori di 30°C si consiglia anche di fare una pausa di 5 minuti ogni ora all'ombra o comunque in un luogo fresco. Se si superano i 35°C o i 32°C con un'umidità relativa maggiore del 75%, la pausa ogni ora deve essere invece di 15 min. Di fondamentale importanza è assumere liquidi in modo da reintegrare persi durante la sudorazione, evitando bevande alcoliche o tanto zuccherate, ma favorendo bevande con sali minerali. Altra misura di prevenzione che è possibile adottare per diminuire il rischio fisico da microclima è quella di adottare turni di lavoro articolati diversamente dal solito turno lavorativo, in modo da non far operare il soggetto nelle ore più calde della giornata.

Per quanto riguarda invece le misure di protezione da adottare negli ambienti severi caldi, esistono delle particolari barriere, schermi, coibentazioni che sono in grado di limitare l'esposizione dei lavoratori alla radiazione solare. In cantiere, comunque, si possono costruire delle tettoie in legno o in metallo in modo da creare zone d'ombra ai lavoratori oppure esistono anche strutture portatili, tipo ombrelli, che si possono spostare a seconda dell'esigenza del soggetto coinvolto. Si possono anche adottare sistemi localizzati di aspirazione d'aria oppure sistemi di raffrescamento o climatizzazione.

Per contrastare il rischio microclima negli ambienti severi caldi, le misure adottate sono sostanzialmente di protezione, ad esempio si contrasta il freddo con un vestiario e dispositivi di protezione individuali idonei per proteggere mani, piedi, e testa che sono le parti locali più soggette a raffreddamento; si ricorda che la temperatura interna del corpo umano deve rimanere in media sui 37°C. Ovviamente bisogna fare anche molta attenzione al vestiario che viene prescritto ai lavoratori in quanto potrebbe limitare eccessivamente i movimenti e creare infortuni di altro genere, oppure potrebbe limitare completamente la traspirazione.

Se le misure appena descritte non sono idonee per la difesa dei lavoratori, bisogna adottare misure tecniche di protezione individuale, ultima risorsa da considerare per la riduzione dei rischi.

In questi ultimi anni sono stati progettati prototipi di sistemi previsionali utili per supportare all'individuazione di misure di prevenzione di sicurezza nei diversi ambienti di lavoro. Uno di questi è proprio il prototipo sviluppato durante il progetto Workclimate³¹ ed è un sistema che utilizza l'indice WBGT visto nei capitoli precedenti; è un sistema che presenta delle incertezze in quanto all'interno del modello sono state fatte alcune semplificazioni e quindi questo tipo di strumento che può essere utilizzato per la valutazione dei rischi ai sensi del D.lgs 81/08, non può sostituire la vera e propria osservazione e valutazione direttamente sul luogo di lavoro stesso.

³¹ Progetto di ricerca avviato il 30 giugno 2020 in collaborazione con CNR e INAIL, con l'obiettivo di valutare più nel dettaglio l'effetto dello stress termico ambientale sui lavoratori.

4 ANALISI E VALUTAZIONE DEI RISCHI NEI DOCUMENTI DI SICUREZZA

La valutazione dei rischi è uno degli obiettivi principali della sicurezza in quanto mira ad individuare le misure di prevenzione e protezione idonee per migliorare la salute e la sicurezza dei lavoratori; lo scopo della valutazione è l'individuazione dei pericoli e di conseguenza i loro effetti e la loro capacità di trasmettersi nell'ambiente di lavoro per poi capire quali misure mettere in atto per eliminare o ridurre i pericoli. Analizzando più nel dettaglio una dinamica tipica di esposizione per poter descrivere e trasmettere in modo chiaro le analisi e la valutazione, si suddivide il tutto in individuazione delle sorgenti dei pericoli, individuazione dell'ambiente, che ha la capacità di trasmissione del pericolo e individuazione del lavoratore che è il ricettore del pericolo. La descrizione delle sorgenti avviene tramite una suddivisione dettagliata del ciclo produttivo che può essere più o meno articolato a seconda delle lavorazioni effettuate all'interno. Questa descrizione del ciclo produttivo è soggettiva e deve essere effettuata da chi ha l'obbligo della valutazione dei rischi all'interno dei documenti, però deve essere anche una descrizione fatta a regola d'arte in quanto deve essere opportunamente oggettivata per un'eventuale verifica in futuro degli enti competenti. Il ciclo produttivo, per effettuare l'analisi e la valutazione dei rischi, viene quindi suddiviso in fasi, sottofasi e lavorazioni elementari che saranno alla base della descrizione delle lavorazioni; si effettua quindi una descrizione analizzando macchinari, materiali, ambienti e organizzazione caratterizzando l'ambiente di lavoro per poi identificare i fattori di pericolo che derivano dalle analisi e dalle valutazioni precedenti. Individuati i pericoli, si farà una stima del rischio e una sua successiva ponderazione per poi arrivare all'obiettivo finale, ovvero la riduzione del rischio. La valutazione dei rischi provvede a disporre le misure necessarie per la salvaguardia della sicurezza e la salute dei lavoratori individuando i pericoli, eliminandoli alla fonte, ma se questo non è possibile bisogna adottare misure di protezione. Bisogna sempre predisporre attività di formazione e informazione per adempire alla normativa.

Il decreto vigente 81/08 non tratta in maniera specifica dall'agente fisico microclima ma prevede degli obblighi che sono a carico dei datori di lavoro, in particolare negli ambienti indoor all'articolo 15 – “Misure generali di tutela”:

1. Le misure generali di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori nei luoghi di lavoro sono:

a) la valutazione di tutti i rischi per la salute e sicurezza;

c) l'eliminazione dei rischi e, ove ciò non sia possibile la loro riduzione al minimo in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico.

Articolo 28 – “Oggetto della valutazione dei rischi”:

1. La valutazione di cui all'articolo 17, comma 1, lettera a), [...], deve riguardare tutti i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, ivi compresi quelli riguardanti gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari

2. Il DVR³² redatto a conclusione della valutazione [...] deve contenere ...

a) una relazione sulla valutazione di tutti i rischi per la sicurezza e la salute;

b) l'indicazione delle misure di prevenzione e di protezione attuate e dei DPI;

c) il programma delle misure;

d) l'individuazione delle procedure per l'attuazione delle misure ed i ruoli.

Per quanto riguarda gli ambienti outdoor e in particolare il settore edile, all'interno del decreto vengono indicate delle misure generiche, di cui all'articolo 96 – “Obblighi del datore di lavoro, dei dirigenti e dei preposti”:

1. I datori di lavoro delle imprese affidatarie e delle imprese esecutrici, anche nel caso in cui nel cantiere operi una unica impresa, anche familiare o con meno di dieci addetti:

a) adottano le misure conformi alle prescrizioni di cui all'Allegato XIII;

d) curano la protezione dei lavoratori contro le influenze atmosferiche che possono compromettere la loro sicurezza e la loro salute.

³² Documento di Valutazione dei Rischi.

Allegato XIII – “prescrizioni per i posti di lavoro nei cantieri”:

2. Aerazione e temperatura;

2.3. Durante il lavoro, la temperatura per l’organismo umano deve essere adeguata, tenuto conto dei metodi di lavoro applicati e delle sollecitazioni fisiche imposte ai lavoratori.

Alcune indicazioni specifiche sulle condizioni climatiche, non applicabili per i cantieri temporanei mobili sono fornite dall’Allegato IV, già nominato in precedenza nel presente trattato:

1.9.2. Temperatura dei locali:

1.9.2.1. La temperatura nei locali di lavoro deve essere adeguata all’organismo umano durante il tempo di lavoro, tenuto conto dei metodi di lavoro applicati e degli sforzi fisici imposti ai lavoratori;

1.9.2.2. Nel giudizio sulla temperatura adeguata per i lavoratori si deve tener conto della influenza che possono esercitare sopra di essa il grado di umidità ed il movimento dell’aria concomitanti;

1.9.2.3. La temperatura dei locali di riposo, dei locali per il personale di sorveglianza, dei servizi igienici, delle mense e dei locali di pronto soccorso deve essere conforme alla destinazione specifica di questi locali;

1.9.2.4. Le finestre, i lucernari e le pareti vetrate devono essere tali da evitare un soleggiamento eccessivo dei luoghi di lavoro, tenendo conto del tipo di attività e della natura del luogo di lavoro;

1.9.2.5. Quando non è conveniente modificare la temperatura di tutto l’ambiente, si deve provvedere alla difesa dei lavoratori contro le temperature troppo alte o troppo basse mediante misure tecniche localizzate o mezzi personali di protezione;

1.9.2.6. Gli apparecchi a fuoco diretto destinati al riscaldamento dell’ambiente nei locali chiusi di lavoro di cui al precedente articolo, devono essere muniti di condotti del fumo privi di valvole regolatrici ed avere tiraggio sufficiente per

evitare la corruzione dell'aria con i prodotti della combustione, ad eccezione dei casi in cui, per l'ampiezza del locale, tale impianto non sia necessario.

1.9.3. Umidità:

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

Per i cantieri temporanei mobili, la normativa specifica obblighi a carico dei coordinatori della sicurezza in fase di progettazione e in fase di esecuzione anche per ciò che riguarda le condizioni meteorologiche, ad esempio le ondate di calore. In riferimento quindi al titolo IV, allegato XV – “Contenuti minimi dei piani di sicurezza nei cantieri temporanei mobili”:

2.2. - Contenuti minimi del PSC³³ in riferimento all'area di cantiere, all'organizzazione del cantiere, alle lavorazioni.

2.2.3. In riferimento alle lavorazioni, il CSP³⁴ suddivide le singole lavorazioni in fasi di lavoro e, quando la complessità dell'opera lo richiede, in sottofasi di lavoro, ed effettua l'analisi dei rischi presenti, con riferimento all'area e alla organizzazione del cantiere, alle lavorazioni e alle loro interferenze, ad esclusione di quelli specifici propri dell'attività dell'impresa ...

Per quanto invece riguarda gli obblighi del coordinatore della sicurezza in fase di esecuzione, questi vengono descritti nell' art 92 – “Obblighi del coordinatore per l'esecuzione dei lavori”:

³³ Piano di Sicurezza e Coordinamento.

³⁴ Coordinatore della Sicurezza in fase Progettuale.

1. Durante la realizzazione dell'opera, il CSE³⁵:

a) verifica, con opportune azioni di coordinamento e controllo, l'applicazione, da parte delle imprese esecutrici e dei lavoratori autonomi, delle disposizioni loro pertinenti contenute nel PSC di cui all'articolo 100 ove previsto;

b) verifica l'idoneità del POS³⁶, da considerare come piano complementare di dettaglio del PSC di cui all'articolo 100, assicurandone la coerenza con quest'ultimo, ove previsto;

f) sospende, in caso di pericolo grave e imminente, direttamente riscontrato, le singole lavorazioni fino alla verifica degli avvenuti adeguamenti effettuati dalle imprese interessate.

Se le lavorazioni previste nel cantiere temporaneo mobile rientrano all'interno dei periodi in cui sono previste ondate di calore oppure eventi di tipo estremo, il coordinatore della sicurezza in fase di progettazione deve valutare la gestione del rischio microclima riportando all'interno del piano di sicurezza le misure organizzative che intende adottare e conseguentemente il coordinatore della sicurezza in fase di esecuzione deve verificare che queste siano applicate dalle imprese esecutrici e dagli eventuali lavoratori autonomi. Dovesse presentarsi un evento estremo, quindi un evento "grave e imminente", il CSE provvede alla sospensione dei lavori.

Nei paragrafi successivi verranno analizzati più nel dettaglio il documento di valutazione dei rischi "DVR", il piano di sicurezza e coordinamento "PSC" e il POS. Il DVR e il POS sono due documenti redatti entrambi dal datore di lavoro, il primo però è un documento che ha come base la valutazione dei rischi generali e totali all'interno della propria azienda, mentre il secondo documento è un piano stilato per ogni specifico cantiere contestualmente alla ricezione dell'affidamento dell'appalto.

³⁵ Coordinatore della Sicurezza in fase Esecutiva.

³⁶ Piano Operativo di Sicurezza.

4.1 Documento di Valutazione dei Rischi

Per essere in regola con la normativa attualmente vigente in Italia in materia di tutela della salute e della sicurezza sui luoghi di lavoro, le imprese devono innanzitutto redigere un documento che si chiama documento di valutazione dei rischi (DVR). La valutazione dei rischi rappresenta il primo adempimento imprescindibile che devono attuare le aziende ed è un documento fondamentale. Con la redazione di questo documento, infatti, il datore di lavoro, oltre ad elencare i rischi presenti all'interno della propria attività costituita da fasi e cicli di lavoro, indicherà anche le misure di prevenzione e protezione attuate e da attuare per migliorare il livello di sicurezza all'interno della propria azienda. Il DVR va redatto dal datore di lavoro, essendo questo uno dei due obblighi non delegabili; si rammenta che l'altro obbligo non delegabile è la nomina dell'RSPP³⁷ e per redigere questo documento, tuttavia, il datore di lavoro non può agire in autonomia ma dovrà farsi aiutare da altre due figure molto importanti ossia l'RSPP il medico competente che predispone un corretto protocollo di sorveglianza sanitaria. Oltre a coinvolgere queste due figure, il datore di lavoro dovrà comunque consultare l'RLS³⁸, che sarebbe quella figura che viene scelta, e quindi eletto o designato dai lavoratori per rappresentare gli stessi in materia di sicurezza sul lavoro. La redazione è obbligatoria non appena l'azienda ha in forza un lavoratore. Tuttavia, si distinguono due casi ossia il primo caso quando ci troviamo di fronte ad un'azienda neocostituita: l'obbligo di dover redigere il DVR deve essere espletato entro i 90 giorni dalla costituzione dell'azienda. Discorso diverso invece nel secondo caso ossia quando vi è l'assunzione di un lavoratore all'interno di un'azienda preconstituita: in questo caso, dato che la normativa attualmente vigente, ossia il D.lgs 81/80 e s.m.i., dato che non specifica altre particolarità, allora il datore di lavoro sarà obbligato nell'immediato, quindi contestualmente all'assunzione, a dover redigere il documento di valutazione dei rischi e poi procedere con gli altri obblighi. Il DVR non deve necessariamente essere emesso in forma cartacea ma è possibile anche poter conservare il documento in forma elettronica, l'importante è che, in entrambi i casi, sia apposta una data certa. Per attestare la data di emissione del documento si può far sottoscrivere il documento contestualmente al datore di lavoro all' RSPP, agli RLS e al

³⁷ Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione.

³⁸ Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza.

medico competente. È molto importante procedere con la redazione di DVR poiché è il documento che costituisce la base della tutela della sicurezza e della salute sul lavoro all'interno dell'azienda ed è molto importante anche perché la mancata redazione del documento prevede pesanti sanzioni.

La valutazione dei rischi, quindi, è raccolta all'interno del DVR in cui sono presenti le analisi e le informazioni delle varie disamine dei rischi potenziali specifici³⁹, ma anche quelle relative ai rischi non specifici presenti in azienda. All'interno del documento è presente un'analisi specifica dei principali fondamenti di cui si compone l'azienda quali luoghi di lavoro, attività lavorative, processi lavorativi, macchine e attrezzature. L'aggiornamento del DVR è legato all'aggiornamento tecnologico dei materiali, cui quali vige l'obbligo di verifica del ciclo produttivo che potrebbe anche essere rinnovato; se l'aggiornamento porta significativi miglioramenti alla parte occupazione oppure ad esempio alla parte ambientale, il DVR deve essere aggiornato. Inoltre, il DVR deve essere revisionato ogni qualvolta ci sia un infortunio significativo, oppure quando il medico competente rilevi un inizio di patologia, oppure quando, grazie alle evoluzioni, si riportano modifiche alle misure di prevenzione e protezione. I rischi specifici, ad esempio rumore, vibrazioni e stress lavoro correlato, devono essere aggiornati secondo delle scadenze periodiche.

Per una corretta valutazione dei rischi bisogna innanzitutto identificare i pericoli a cui i lavori sono soggetti all'interno dell'ambiente di lavoro, prendendo in considerazione tutte le attrezzature, i macchinari, gli impianti e i materiali utilizzati, ma non solo, bisogna identificare anche tutte le attività svolte all'interno del ciclo produttivo, comprese le fasi che non avvengono in modo frequente⁴⁰; tutto ciò deve essere associato alla presenza di lavoratori all'interno dell'ambiente di lavoro, anche perché in assenza di personale coinvolto, il rischio non sussiste. Dopo aver individuato correttamente i pericoli, questi verranno analizzati uno ad uno in modo da determinare il livello di rischio;

³⁹ Sono rischi relazionati allo specifico ambiente, alla specifica organizzazione e alla specifica modalità in cui l'attività viene svolta.

⁴⁰ Quando si effettua la descrizione del ciclo produttivo, ci deve sempre essere ad esempio la pulizia dell'ambiente, il mantenimento della funzione degli impianti e delle macchine e anche la manutenzione, che nei cantieri presenta un'attività ad alto rischio.

ciò avviene considerando tutte le schede di sicurezza del prodotto, quindi delle macchine degli impianti e delle attrezzature, considerando le norme tecniche, in quanto il datore di lavoro o chi per lui redige il DVR non ha il diritto di considerare situazioni fuori dalle condizioni di legge. Se si individua un caso che non è a norma di legge, questo deve essere considerato all'interno di un documento di miglioramento e non all'interno del DVR, in quanto il caso in questione non può più essere considerato un ambiente di lavoro, una macchina, un'attrezzatura, un impianto a norma di legge. Le BAT⁴¹, ovvero le migliori tecnologie disponibili, sono un altro fattore importante per l'analisi dei rischi in quanto definiscono l'evoluzione dell'adeguamento tecnico; inoltre bisogna far riferimento anche a tutti i risultati dei monitoraggi che sono stati effettuati nell'ambiente di riferimento, recepire tutte le informazioni riguardo infortuni, malattie e near misses⁴² e raccogliere informazioni direttamente dai lavoratori in quanto sono loro i protagonisti a stretto contatto con l'ambiente, le macchine, gli impianti e le attrezzature. È strettamente necessario, vista la complessità dell'analisi, effettuare dei sopralluoghi in campo per analizzare più nel dettaglio tutti i pericoli individuati e se ce ne fosse la necessità aggiungerne a quelli già rintracciati in precedenza. Il livello di rischio inoltre può essere aumentato anche in funzione delle diverse condizioni operative, delle diverse sorgenti che possono causare danno⁴³ e in funzione dell'esposizione del soggetto coinvolto.

Di seguito verranno descritti gli elementi di cui ne viene effettuata un'attenta valutazione:

- Luoghi di lavoro: l'analisi e la valutazione dei rischi nei luoghi di lavoro viene effettuata nel rispetto delle disposizioni di cui al Titolo II, Capo I del D.lgs 81/08 e di cui all'Allegato IV del medesimo D.lgs 81/08. Vengono verificati tutti i luoghi di lavoro in modo da tutelare l'incolumità dei lavoratori.
- Macchine e attrezzature: l'analisi e la valutazione dei rischi in riferimento alle macchine e alle attrezzature viene effettuata nel rispetto delle disposizioni di cui al Titolo III, Capo I del D.lgs 81/08, prima di ciò avviene la verifica della

⁴¹ Best Available Technologies.

⁴² Mancato incidente/infortunio.

⁴³ Ad esempio, le sorgenti possono causare danno per inalazione, ingestione, contatto etc.

conformità delle attrezzature di lavoro alle specifiche disposizioni legislative e regolamentari di recepimento delle direttive comunitarie di prodotto, altrimenti si deve fare riferimento all'Allegato V del T.U.

- Processi produttivi e attività lavorative: l'analisi e la valutazione dei rischi in riferimento ai processi produttivi e alle attività lavorative viene effettuata nel rispetto delle disposizioni ai sensi dell'art. 17, comma 1⁴⁴, e 28, comma 1⁴⁵, del D.lgs 81/08.

Identificati i pericoli, bisogna effettuare l'analisi e la valutazione dei rischi ai sensi del D.lgs 81/08, individuando un criterio generale da seguire, ovvero una metodologia specifica per definire gli interventi e le misure di miglioramento dell'azienda; l'analisi del rischio comporta il calcolo del rischio stesso derivante da ogni pericolo. Uno dei metodi più utilizzati per effettuare la valutazione dei rischi in ambito nazionale è il sistema matriciale che consiste nella determinazione del rischio attraverso il prodotto delle probabilità di accadimento del danno e l'entità del danno; il valore numerico ottenuto sarà associato ad una matrice in cui ci sono diversi gradi di rischio in modo da facilitare l'analisi e la comprensione per ulteriori decisioni future. In funzione della valutazione del rischio si individuano tutte le misure di prevenzione⁴⁶ e protezione⁴⁷ con step progettuali di verifica e di controllo in relazione al grado di rischio. All'interno dell'analisi dei rischi, oltre a effettuare un'attenta valutazione ai lavoratori esposti a rischi particolari quali stress lavoro correlato, lavoratrici in stato di gravidanza, lavoratori di

⁴⁴ Il datore di lavoro non può delegare le seguenti attività: a) la valutazione di tutti i rischi con la conseguente elaborazione del documento previsto dall'articolo 28; b) la designazione del responsabile del servizio di prevenzione e protezione dai rischi.

⁴⁵ La valutazione di cui all'articolo 17, comma 1, lettera a), anche nella scelta delle attrezzature di lavoro e delle sostanze o delle miscele chimiche impiegate, nonché nella sistemazione dei luoghi di lavoro, deve riguardare tutti i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, ivi compresi quelli riguardanti gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari, tra cui anche quelli collegati allo stress lavoro-correlato, secondo i contenuti dell'Accordo Europeo dell'8 ottobre 2004, e quelli riguardanti le lavoratrici in stato di gravidanza, secondo quanto previsto dal decreto legislativo 26 marzo 2001, n. 151, nonché quelli connessi alle differenze di genere, all'età, alla provenienza da altri Paesi e quelli connessi alla specifica tipologia contrattuale attraverso cui viene resa la prestazione di lavoro e i rischi derivanti dal possibile rinvenimento di ordigni bellici inesplosi nei cantieri temporanei o mobili, come definiti dall'articolo 89, comma 1, lettera a), del presente decreto, interessati da attività di scavo.

⁴⁶ Lo scopo delle misure di prevenzione è di non far giungere il pericolo al soggetto coinvolto, evitare che l'evento si trasmetta all'interno dell'ambiente di lavoro.

⁴⁷ Lo scopo delle misure di protezione è mitigare gli effetti del lavoratore ed evitare le conseguenze.

genere, età e nazionalità diversa, bisogna effettuare una valutazione di tutte le mansioni che svolgono i soggetti coinvolti esposti ai rischi specifici, che richiedono un'analisi dettagliata delle problematiche ad essi connessi. Per la valutazione dei rischi specifici, esistono disposizioni nazionali, norme tecniche pubblicate da organismi internazionali o europei e buone prassi e linee guida pubblicate dai veri enti regionali, quali INAIL o organismi paritetici. Di seguito, se esiste il rischio associato, vengono elencati le valutazioni dei rischi che devono essere effettuate in riferimento ai diversi artt. presenti nel T.U:

- Art. 71: rischi derivanti da uso attrezzature di lavoro;
- Art. 80: rischi di natura elettrica;
- Art. 168: rischi derivanti da Movimentazione Manuale dei Carichi;
- art 174 rischi derivanti da Attrezzature Muniti di Videoterminali;
- art 181 rischi derivanti da esposizione ad agenti fisici - Microclima;
- art 190 rischi derivanti da esposizione al Rumore;
- art 202 rischi derivanti da esposizione alle Vibrazioni;
- art 209 rischi derivanti da esposizione a Campi Elettromagnetici;
- art 216 rischi derivanti da esposizione Radiazioni Ottiche Artificiali;
- art 223 rischi derivanti da esposizione agenti Chimici;
- art 236 rischi derivanti da esposizione agenti Cancerogeni e Mutageni;
- art 249 rischi derivanti da esposizione ad Amianto;
- art 271 rischi derivanti da agenti Biologici;
- art 181 e D.lgs 230/95 rischi derivanti da Esposizione a Radiazioni Ionizzanti;
- art 290 rischi derivanti da esposizioni ad atmosfere esplosive;
- art 290 documento di protezioni per le esplosioni.

La sorveglianza sanitaria dei lavoratori è una procedura che deve essere sempre adottata dall'azienda ai sensi dell'art. 41 del D.lgs 81.08 e comprende:

- a) visita medica preventiva intesa a constatare l'assenza di controindicazioni al lavoro cui il lavoratore è destinato al fine di valutare la sua idoneità alla mansione specifica;*
- b) visita medica periodica per controllare lo stato di salute dei lavoratori ed esprimere il giudizio di idoneità alla mansione specifica. La periodicità di tali*

accertamenti, qualora non prevista dalla relativa normativa, viene stabilita, di norma, in una volta l'anno. Tale periodicità può assumere cadenza diversa, stabilita dal medico competente in funzione della valutazione del rischio. L'organo di vigilanza, con provvedimento motivato, può disporre contenuti e periodicità della sorveglianza sanitaria differenti rispetto a quelli indicati dal medico competente;

c) visita medica su richiesta del lavoratore, qualora sia ritenuta dal medico competente correlata ai rischi professionali o alle sue condizioni di salute, suscettibili di peggioramento a causa dell'attività lavorativa svolta, al fine di esprimere il giudizio di idoneità alla mansione specifica;

d) visita medica in occasione del cambio della mansione onde verificare l'idoneità alla mansione specifica;

e) visita medica alla cessazione del rapporto di lavoro nei casi previsti dalla normativa vigente.

e-bis) visita medica preventiva in fase pre-assuntiva;

e-ter) visita medica precedente alla ripresa del lavoro, a seguito di assenza per motivi di salute di durata superiore ai sessanta giorni continuativi, al fine di verificare l'idoneità alla mansione.

I programmi di informazione, formazione e addestramento sono procedure che devono sempre anch'esse essere adottate dall'azienda in modo da tutelare la salute e la sicurezza dei lavoratori e sono svolti secondo le disposizioni di legge ai sensi degli artt. 36 e 37 del D.lgs 81/08:

Ciascun lavoratore è adeguatamente informato:

- *sui rischi per la salute e la sicurezza sul lavoro connessi all'attività dell'impresa in generale;*
- *sulle procedure che riguardano il primo soccorso, la lotta antincendio, l'evacuazione dei luoghi di lavoro;*
- *sui nominativi dei lavoratori incaricati di applicare le misure di emergenza (primo soccorso e prevenzione incendi);*

- *sui nominativi del responsabile e degli addetti del servizio di prevenzione e protezione, e del medico competente.*

Inoltre, ciascun lavoratore è adeguatamente informato:

- *sui rischi specifici cui è sottoposto in relazione all'attività svolta, le normative di sicurezza e le disposizioni aziendali in materia;*
- *sui pericoli connessi all'uso delle sostanze e dei preparati pericolosi sulla base delle schede dei dati di sicurezza previsti dalla normativa vigente e dalle norme di buona tecnica;*
- *sulle misure e le attività di protezione e prevenzione adottate.*

Ciascun lavoratore riceve una formazione sufficiente ed adeguata in materia di salute e sicurezza, con particolare riferimento a:

- *concetti di rischio, danno, prevenzione, protezione, organizzazione della prevenzione aziendale, diritti e doveri dei vari soggetti aziendali, organi di vigilanza, controllo, assistenza;*
- *rischi riferiti alle mansioni e ai possibili danni e alle conseguenti misure e procedure di prevenzione e protezione caratteristici del settore o comparto di appartenenza dell'azienda.*

In relazione al rischio fisico microclima, si ricorda, secondo il Titolo VIII del D.lgs 81/08 e s.m.i, che il datore di lavoro ha l'obbligo di provvedere alla valutazione di ogni rischio per la salute e la sicurezza dei propri dipendenti; pertanto, dovrà anche considerare l'esposizione del microclima di un ambiente, al fine di individuare le misure di prevenzione e protezione più idonee per diminuire il rischio. Come già definito nei capitoli precedenti il problema del rischio microclima sorge negli ambienti severi, in cui le condizioni microclimatiche possono mettere a repentaglio la salute dei lavoratori, mentre negli ambienti moderati l'importante è mantenere un equilibrio tra i parametri ambientali.

All'interno del DVR devono essere prescritte anche le attività che i lavoratori svolgono negli ambienti outdoor, argomento che deve essere strutturato in maniera differente, in quanto non è possibile modificare i parametri fisici ambientali che caratterizzano l'esposizione dei lavoratori in condizioni di microclima caldo o microclima

freddo; l'ambiente di lavoro a cui può essere sottoposto il lavoratore può essere molto variabile a seconda della stagione o anche solo a seconda dell'orario della giornata, quindi definire una particolare soglia di rischio è molto difficile. Innanzitutto, va fatta una valutazione preliminare del rischio che deve partire dal prevedere quali potrebbero essere le condizioni di criticità che possono insorgere; siccome la valutazione va fatta nei quattro anni bisogna capire da lì nei quattro anni, quali potrebbero essere i possibili scenari che possono insorgere. Per i vari scenari bisogna prevedere già delle procedure di lavoro differenti che poi andranno messe in atto al momento del verificarsi del particolare scenario. La valutazione del rischio deve prevedere i possibili scenari anche a partire dai dati storici, soprattutto appunto con riguardo per i soggetti sensibili che sono i primi a dover essere tutelati.

4.2 Titolo IV D.lgs 81/08 - Piano di Sicurezza e Coordinamento

Il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) è uno dei documenti principali per quanto riguarda la sicurezza nei cantieri temporanei mobili, ovvero attività che ricadono nel campo di applicazione del Titolo IV del D.lgs 81/08. I lavori edili o civili che ricadono all'interno di questo specifico Titolo sono:

- Lavori di costruzione;
- Lavori di manutenzione;
- Lavori di riparazione;
- Lavori di demolizione;
- Lavori di conservazione;
- Lavori di risanamento;
- Lavori di ristrutturazione o equipaggiamento;
- Lavori di trasformazione;
- Lavori di rinnovamento o smantellamento;
- Lavori di opere fisse, permanenti o temporanee, in muratura, in cemento armato in metallo in legno o in altri materiali; comprese le parti strutturali delle linee elettriche e le parti strutturali degli impianti elettrici;
- Lavori di opere stradali, ferroviarie, idrauliche, marittime, idroelettriche;
- Lavori di opere di bonifica, di sistemazione forestale e di sterro;

- Lavori di scavo ed il montaggio e smontaggio di elementi prefabbricati utilizzati per la realizzazione di lavori edili o di ingegneria civile.

Nel presente trattato la valutazione dei rischi e lo studio della variazione degli indici non è stata trattata per i cantieri che si svolgono in ambienti con l'assenza di vincoli, in quanto sono soggetti a variabili che possono mantenere il comfort termico del lavoratore coinvolto, quali ad esempio lavori in galleria con la presenza di ventilazione o lavori di ristrutturazione, riparazione, risanamento e costruzioni interne. Si è limitati quindi alla definizione di suggerimenti per le lavorazioni in ambiente totalmente all'aperto, con un'esposizione diretta agli ambienti severi caldi e freddi legati alle ondate di calore estive e ad inverni rigidi.

Il PSC è redatto dal CSP su incarico del committente ed è un piano che coordina molti aspetti, ma l'aspetto principale è che coordina tutti i Piano Operativi di Sicurezza (POS), in quanto se in un cantiere operano più imprese, ovvero impresa affidataria e imprese subappaltatrici o lavoratori autonomi, ebbene le lavorazioni devono essere coordinate in questo unico grande piano. Per redigere un PSC si devono rispettare i contenuti minimi di carattere generale, di cui all'Allegato XV del D.lgs 81/08. Il PSC deve essere unico per ogni cantiere e deve essere redatto secondo le scelte progettuali, e organizzative in fase esecutiva, conformi alle prescrizioni ai sensi dell'art.15 del T.U. Il PSC è anche una relazione che deve contenere l'individuazione, l'analisi e la valutazione di tutti i rischi presenti nel cantiere con riferimento particolare all'ambiente di lavoro, quindi all'area operativa, all'organizzazione del cantiere, alle lavorazioni e alle loro possibili interferenze. Verrà effettuata una descrizione particolare riguardo a tutte le fasi lavorative che si svolgeranno in cantiere e per queste verranno riportate tutte le misure e le azioni necessarie a tutelare i lavoratori. Prima dell'affidamento dei lavori, il committente deve anche nominare il CSE, di solito coincidente con il CSP per mantenere una continuità lavorativa. Il CSE ha il compito di verificare la corretta applicazione del contenuto del PSC in fase di esecuzione e inoltre controlla e coordina tutti le imprese esecutrici e i lavoratori autonomi all'interno del cantiere, verificando i rispettivi POS, redatti tenendo conto dei contenuti del PSC. I POS sono documenti di maggiore dettaglio rispetto al PSC, in quanto il datore di lavoro di ogni impresa può prevedere diverse e/o aggiuntive misure di tutela per i propri lavoratori e più dettagliate fasi lavorative. Il CSE quindi dopo aver valutato i POS delle imprese deve eventualmente integrare anche i

contenuti del PSC redatto in precedenza e solo queste modifiche avranno un valore reale all'interno del cantiere. Prima dell'inizio e durante il cantiere, il CSE ha anche l'obbligo di effettuare informazione a tutte le imprese esecutrici e ai lavoratori autonomi con opportune riunioni di coordinamento, anche periodiche.

In riferimento al D.lgs 81/08, i contenuti minimi del piano di sicurezza e coordinamento sono:

a) l'identificazione e la descrizione dell'opera, esplicitata con:

1) l'indirizzo del cantiere;

2) la descrizione del contesto in cui è collocata l'area di cantiere;

3) una descrizione sintetica dell'opera, con particolare riferimento alle scelte progettuali, architettoniche, strutturali e tecnologiche;

b) l'individuazione dei soggetti con compiti di sicurezza, esplicitata con l'indicazione dei nominativi del responsabile dei lavori, del coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione e, qualora già nominato, del coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione ed a cura dello stesso coordinatore per l'esecuzione con l'indicazione, prima dell'inizio dei singoli lavori, dei nominativi dei datori di lavoro delle imprese esecutrici e dei lavoratori autonomi;

c) una relazione concernente l'individuazione, l'analisi e la valutazione dei rischi concreti, con riferimento all'area ed alla organizzazione del cantiere, alle lavorazioni ed alle loro interferenze;

d) le scelte progettuali ed organizzative, le procedure, le misure preventive e protettive, in riferimento:

1) all'area di cantiere, ai sensi dei punti 2.2.1 e 2.2.4;

2) all'organizzazione del cantiere, ai sensi dei punti 2.2.2 e 2.2.4;

3) alle lavorazioni, ai sensi dei punti 2.2.3 e 2.2.4;

e) le prescrizioni operative, le misure preventive e protettive ed i dispositivi di protezione individuale, in riferimento alle interferenze tra le lavorazioni, ai sensi dei punti 2.3.1, 2.3.2 e 2.3.3;

f) le misure di coordinamento relative all'uso comune da parte di più imprese e lavoratori autonomi, come scelta di pianificazione lavori finalizzata alla sicurezza, di apprestamenti, attrezzature, infrastrutture, mezzi e servizi di protezione collettiva di cui ai punti 2.3.4 e 2.3.5;

g) le modalità organizzative della cooperazione e del coordinamento, nonché della reciproca informazione, fra i datori di lavoro e tra questi ed i lavoratori autonomi;

h) l'organizzazione prevista per il servizio di pronto soccorso, antincendio ed evacuazione dei lavoratori, nel caso in cui il servizio di gestione delle emergenze è di tipo comune, nonché nel caso di cui all'articolo 94, comma 4s; il PSC contiene anche i riferimenti telefonici delle strutture previste sul territorio al servizio del pronto soccorso e della prevenzione incendi;

i) la durata prevista delle lavorazioni, delle fasi di lavoro e, quando la complessità dell'opera lo richieda, delle sottofasi di lavoro, che costituiscono il cronoprogramma dei lavori, nonché l'entità presunta del cantiere espressa in uomini-giorno;

l) la stima dei costi della sicurezza, ai sensi del punto 4.1.

In riferimento al punto c), il CSP deve effettuare una valutazione dei rischi in riferimento a tutte le fasi lavorative, sulla base delle attrezzature e dei macchinari che verranno utilizzate all'interno del cantiere e anche in funzione delle interferenze che si creeranno tra le lavorazioni o tra le diverse imprese esecutrici. Valutati i rischi quindi, si procederà con la scelta delle varie misure di prevenzione e protezione per tutelare i lavoratori. Molto importante all'interno del PSC è la definizione di un cronoprogramma ovvero quanto specificatamente durerà ogni lavorazione; su questo fondamento si baseranno inoltre le interferenze che possono essere presenti all'interno del cantiere, che possono essere coordinate con delle prescrizioni che potrebbero essere anche solo di sfasamento temporale o sfasamento spaziale, oppure coordinate senza particolari prescrizioni.

Esistono diversi software per la redazione dei PSC e tutti permettono una corretta valutazione di tutti i rischi che possono essere presenti all'interno del cantiere. Per quanto riguarda lo specifico rischio microclima caldo severo, questo può essere aggiunto

all'interno dello specifico settore del PSC ed essere valutato correttamente, effettuando una descrizione dettagliata dell'ambiente termico, dell'attività lavorativa e dell'abbigliamento di lavoro. Possono essere inseriti e valutati automaticamente dal software, attraverso i vari metodi descritti in precedenza, i parametri ambientali, quali temperatura dell'aria, temperatura radiante, pressione parziale del vapore e velocità dell'aria. Inoltre, si possono anche selezionare le attività che svolgerà il lavoratore per definire il metabolismo e tutti gli altri parametri per ottenere infine un esito della valutazione. L'esito della valutazione può affermare che le condizioni di lavoro sono accettabili oppure non accettabili; nell'ultimo caso, avendo quindi un rischio microclima caldo severo che comporta infortuni con lesioni molto gravi e irreversibili con conseguenze letali, bisogna agire subito e valutare quali dei vari valori inseriti in precedenza può essere diminuito con delle prescrizioni di tipo organizzativo, quindi magari prescrivendo turnazioni differenti, evitando l'esposizione nelle ore più calde della giornata, prescrivere la realizzazione di tettoie o pensiline per la protezione dei lavoratori quando svolgono lavorazioni su postazioni di lavoro fisse, prevedere l'uso anche della climatizzazione all'interno delle cabine dei mezzi utilizzati in cantiere.

Per quanto riguarda il rischio microclima freddo severo, il metodo di inserimento dei dati è sempre il medesimo, ovviamente cambiano i parametri a seconda del metodo di valutazione che si utilizza. Con una valutazione del rischio di tipo non accettabile, bisogna ovviamente fare in modo di diminuire il rischio in quanto le condizioni di lavoro non sono accettabili; effettuare quindi delle prescrizioni anche in questo caso di tipo organizzativo, diminuendo l'esposizione dei lavoratori al rischio microclima freddo severo, adottando all'interno degli ambienti di lavoro opportuni uffici, box o cabine anche di tipo prefabbricato opportunamente climatizzati. Anche in questo caso i mezzi che utilizzano i lavoratori all'interno del cantiere devono essere dotati di climatizzazione. Per quanto riguarda i dispositivi di protezione individuale è bene prescrivere indumenti protettivi idonei alle condizioni di lavoro.

4.3 Titolo IV D.lgs 81/08 – Piano Operativo di Sicurezza

Il Piano Operativo di Sicurezza (POS) è un documento che viene redatto obbligatoriamente ai sensi dell'art. 17, comma 1, lettera a) del D.lgs 81/08 prima dell'inizio delle attività operative all'interno di un cantiere temporaneo mobile. Come il PSC è un documento che è unico per ogni cantiere e anch'esso effettua l'analisi della valutazione dei rischi a cui sono sottoposti i lavoratori. All'interno del documento saranno presenti tutti i nominativi delle persone che entreranno in cantiere, le specifiche mansioni che ognuno di loro svolgerà in relazione ai macchinari, alle attrezzature e alle sostanze pericolose, gli specifici rischi e le specifiche misure da adottare per salvaguardare la salute di ogni lavoratore. I POS sono documenti di maggiore dettaglio rispetto al PSC, in quanto il datore di lavoro di ogni impresa può prevedere diverse e/o aggiuntive misure di tutela per i propri lavoratori e più dettagliate fasi lavorative. Il CSE quindi dopo aver valutato i POS delle imprese deve eventualmente integrare anche i contenuti del PSC redatto in precedenza e solo queste modifiche avranno un valore reale all'interno del cantiere. Sostanzialmente il POS è il piano operativo volto a prevenire, limitare e ridurre al minimo tutti i rischi individuati all'interno dello specifico cantiere e deve anche fornire essenziali indicazioni sul comportamento da seguire in materia di sicurezza. Per ogni specifica sottofase individuata deve essere fatta un'analisi e una valutazione del rischio più precisa possibile in modo da definire l'indicazione delle misure di prevenzione e protezione, le procedure di esecuzione e gli apprestamenti più idonei per l'assoluta tutela dei lavoratori. In riferimento all'Allegato XV del D.lgs 81/08, i contenuti minimi del POS sono:

a) i dati identificativi dell'impresa esecutrice, che comprendono:

1) il nominativo del datore di lavoro, gli indirizzi ed i riferimenti telefonici della sede legale e degli uffici di cantiere;

2) la specifica attività e le singole lavorazioni svolte in cantiere dall'impresa esecutrice e dai lavoratori autonomi subaffidatari;

3) i nominativi degli addetti al pronto soccorso, antincendio ed evacuazione dei lavoratori e, comunque, alla gestione delle emergenze in cantiere, del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza, aziendale o territoriale, ove eletto o designato;

- 4) *il nominativo del medico competente ove previsto;*
- 5) *il nominativo del responsabile del servizio di prevenzione e protezione;*
- 6) *i nominativi del direttore tecnico di cantiere e del capocantiere;*
- 7) *il numero e le relative qualifiche dei lavoratori dipendenti dell'impresa esecutrice e dei lavoratori autonomi operanti in cantiere per conto della stessa impresa;*
- b) *le specifiche mansioni, inerenti la sicurezza, svolte in cantiere da ogni figura nominata allo scopo dall'impresa esecutrice;*
- c) *la descrizione dell'attività di cantiere, delle modalità organizzative e dei turni di lavoro;*
- d) *l'elenco dei ponteggi, dei ponti su ruote a torre e di altre opere provvisorie di notevole importanza, delle macchine e degli impianti utilizzati nel cantiere;*
- e) *l'elenco delle sostanze e miscele pericolose, utilizzate nel cantiere con le relative schede di sicurezza;*
- f) *l'esito del rapporto di valutazione del rumore;*
- g) *l'individuazione delle misure preventive e protettive, integrative rispetto a quelle contenute nel PSC quando previsto, adottate in relazione ai rischi connessi alle proprie lavorazioni in cantiere;*
- h) *le procedure complementari e di dettaglio, richieste dal PSC quando previsto;*
- i) *l'elenco dei dispositivi di protezione individuale forniti ai lavoratori occupati in cantiere;*
- l) *la documentazione in merito all'informazione ed alla formazione fornite ai lavoratori occupati in cantiere.*

Secondo l'art. 96, comma 1, lettera d) del D.lgs 81/08 i datori di lavoro delle imprese affidatarie e delle imprese esecutrici, anche nel caso in cui nel cantiere operi un'unica impresa, anche familiare o con meno di dieci addetti: curano la protezione dei lavoratori contro le influenze atmosferiche che possono compromettere la loro sicurezza e la loro salute. È ribadito il fatto che i datori di lavoro di tutte le imprese devono assolutamente prevedere delle misure idonee di prevenzione e protezione contro qualsiasi influenza

atmosferica, che sia nel caso dell'elaborato anche l'ondata di calore o un particolare evento estremo.

4.4 Le principali carenze nei documenti di sicurezza e alcune proposte per migliorare la valutazione dei rischi e la gestione del rischio microclima.

Nei capitoli precedenti sono stati esaminati i documenti principali della sicurezza, il DVR relativo alle aziende e il PSC e il POS relativo ai cantieri temporanei mobili in cui vengono effettuate delle analisi e delle valutazioni dei rischi sulla base di molte variabili all'interno degli ambienti di lavoro. Per quanto riguarda il DVR è stato sottolineato quanto per gli ambienti moderati lo scopo sia mantenere l'equilibrio termico tra i parametri ambientali, ad ogni modo tramite ventilazione e climatizzazione il datore di lavoro può modificare tali parametri e mantenere il comfort termico dei propri dipendenti; comunque sia il datore di lavoro ha sempre l'obbligo di effettuare la valutazione dei rischi anche per gli ambienti moderati. Il mantenimento dell'equilibrio termico negli ambienti indoor è di facile risoluzione teorica, ma non è altrettanto semplice la modalità di intervento, in quanto, soprattutto nei grandi edifici e nelle grandi strutture, esiste una difficoltà applicativa progettuale. Effettuare una manutenzione completa o un rifacimento di un impianto di climatizzazione/ventilazione richiede molto tempo ed è anche molto oneroso sia a livello progettuale sia a livello realizzativo. Le soluzioni progettuali non sono sempre di semplice accesso per tutti gli edifici, in quanto bisogna effettuare un'attenta analisi delle sorgenti di calore interne, di tutte le parti strutturali che disperdono energia e della posizione idonea di un eventuale impianto; ad esempio, l'altezza di aspirazione del calore deve essere progettata e posizionata ad un'altezza idonea al fine di mantenere l'equilibrio termico dei soggetti coinvolti. La valutazione del bilancio energetico non consiste solo nella valutazione del calore interno proveniente da varie sorgenti, ma è determinato anche in funzione dell'irraggiamento; le caratteristiche tipologiche, le particolari caratteristiche termiche e costruttive dell'edificio in esame e i dati climatici esterni concorrono ad una corretta valutazione del bilancio energetico, ma sono fattori la cui definizione richiede molto tempo. Ristabilire l'equilibrio termico negli ambienti indoor non è immediato, anzi, ci potrebbero volere anche mesi o addirittura anni

per ottenere un corretto comfort in edifici con volumetrie elevate; è certo che i costi variano anche a seconda della grandezza e del rendimento dell'impianto, ma si sottolinea ulteriormente il fatto che il datore di lavoro, secondo il D.lgs 81/08, ha l'obbligo di mantenere un ambiente di lavoro adeguato ai propri lavoratori, effettuando la manutenzione degli impianti e dei luoghi di lavoro, aggiornando conseguentemente la valutazione dei rischi. Durante la fase di miglioramento o rifacimento degli impianti, per assicurare un corretto comfort termico, è consigliato compiere uno spostamento ad una sede più idonea per non arrestare del tutto le lavorazioni, o, se ce ne fosse la possibilità, avviare la procedura di smart working, modalità attuale che permette di ridurre al minimo i rischi e consente la continuità lavorativa.

Quando si tratta di valutare ambienti outdoor, la valutazione del microclima diventa più critica all'interno del DVR in quanto i parametri ambientali non possono essere modificabili, ma il datore di lavoro deve dare specifiche prescrizioni in merito a misure preventive e protettive da adottare. Un'analisi di questo tipo non è per niente semplice in quanto all'esterno i parametri climatici possono cambiare di giorno in giorno, anche di ora in ora in base alle stagionalità, tuttavia il DVR in realtà, per quanto riguarda la valutazione del microclima, presenta sempre una valutazione mediata rispetto ai lavoratori coinvolti, suddivisi ovviamente in soggetti sensibili e soggetti non sensibili.

Con il cambiamento climatico descritto nei capitoli iniziali del presente trattato, effettuare una corretta analisi e valutazione del microclima diventa sempre più importante, non tanto per le lavorazioni che si svolgono in ambiente interno, ma quanto per le lavorazioni che si svolgono all'aria aperta; ondate di calore e eventi estremi di qualsiasi tipo, pioggia intensa, vento grandine e quant'altro possono portare ad un malessere per il lavoratore ed è proprio per questo che i datori di lavoro devono prescrivere nel modo più dettagliato le specifiche modalità organizzative, le specifiche misure di prevenzione e protezione, ma non solo devono effettuare informazione e formazione a tutti i lavoratori, in maniera periodica. L'informazione nel caso del rischio microclima è fondamentale, gli eventi estremi non sono prevedibili in un arco temporale così lungo; la comunicazione è importante, ma conviene affermare anche che il lavoratore, secondo l'art. 20 del D.lgs 81/08 ha i seguenti obblighi:

1. Ogni lavoratore deve prendersi cura della propria salute e sicurezza e di quella delle altre persone presenti sul luogo di lavoro, su cui ricadono gli effetti delle sue azioni o omissioni, conformemente alla sua formazione, alle istruzioni e ai mezzi forniti dal datore di lavoro.

2. I lavoratori devono in particolare:

a) contribuire, insieme al datore di lavoro, ai dirigenti e ai preposti, all'adempimento degli obblighi previsti a tutela della salute e sicurezza sui luoghi di lavoro;

b) osservare le disposizioni e le istruzioni impartite dal datore di lavoro, dai dirigenti e dai preposti, ai fini della protezione collettiva ed individuale;

c) utilizzare correttamente le attrezzature di lavoro, le sostanze e le miscele pericolose⁴⁴, i mezzi di trasporto e, nonché i dispositivi di sicurezza;

d) utilizzare in modo appropriato i dispositivi di protezione messi a loro disposizione;

e) segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le deficienze dei mezzi e dei dispositivi di cui alle lettere c) e d), nonché qualsiasi eventuale condizione di pericolo di cui vengano a conoscenza, adoperandosi direttamente, in caso di urgenza, nell'ambito delle proprie competenze e possibilità e fatto salvo l'obbligo di cui alla lettera f) per eliminare o ridurre le situazioni di pericolo grave e incombente, dandone notizia al rappresentante dei lavoratori per la sicurezza;

f) non rimuovere o modificare senza autorizzazione i dispositivi di sicurezza o di segnalazione o di controllo;

g) non compiere di propria iniziativa operazioni o manovre che non sono di loro competenza ovvero che possono compromettere la sicurezza propria o di altri lavoratori;

h) partecipare ai programmi di formazione e di addestramento organizzati dal datore di lavoro;

i) sottoporsi ai controlli sanitari previsti dal presente decreto legislativo o comunque disposti dal medico competente.

3. I lavoratori di aziende che svolgono attività in regime di appalto o subappalto, devono esporre apposita tessera di riconoscimento, corredata di fotografia, contenente le generalità del lavoratore e l'indicazione del datore di lavoro. Tale obbligo grava anche in capo ai lavoratori autonomi che esercitano direttamente la propria attività nel medesimo luogo di lavoro, i quali sono tenuti a provvedervi per proprio conto.

In riferimento alla lettera e), il lavoratore deve segnalare qualsiasi situazione di pericolo, ma non solo deve, per quanto di propria competenza, ridurre o eliminare direttamente il rischio.

Il PSC, piano relativo dei cantieri temporanei mobili che si svolgono prettamente all'esterno⁴⁸, è un documento in cui anch'esso presenta un'analisi e una valutazione dei rischi specifica in base all'organizzazione del cantiere, al suo allestimento, alle lavorazioni e all'interferenze tra quest'ultime. I lavoratori durante i periodi più caldi e durante i periodi più freddi sono esposti al rischio microclima severo caldo e severo freddo, e dopo un'attenta valutazione del microclima, il Coordinatore della Sicurezza in fase Progettuale deve predisporre specifiche prescrizioni e misure di prevenzione e protezione. Il PSC è un documento che si redige nella fase di progettazione dell'opera, ad ogni modo è sicuramente possibile che l'analisi dei rischi venga effettuata in un periodo annuale, con condizioni di temperature e altri parametri fisici diversi da quelli che si avranno durante la cantierizzazione. Da qui si capisce l'importanza del POS, Piano Operativo di Sicurezza, documento redatto dal datore di lavoro della singola impresa - oppure ATI⁴⁹ - riferito sempre ad un unico cantiere. Come è stato sottolineato in precedenza il PSC è un documento che rappresenta anche tutte le lavorazioni che si svolgeranno durante il corso del cantiere, ma può essere aggiornato, a discrezione del CSE, se ce ne fosse la necessità, in quanto, valutati i POS dell'impresa esecutrici, queste hanno previsto diverse misure di tutela per i propri lavoratori. Per una corretta valutazione

⁴⁸ In questo elaborato non sono state analizzate le specifiche attività che si svolgono in ambienti che presentano ventilazione forzata in quanto i parametri ambientali quindi sono modificati.

⁴⁹ Associazione Temporanea di Impresa

del rischio negli ambienti outdoor, come è stato definito in precedenza, bisogna definire degli scenari che potrebbero insorgere in quanto la valutazione del rischio all'interno dei documenti aziendali è fatta nei quattro anni. Ma nei documenti di cantiere potrebbero essere definiti diversi scenari e diverse metodologie di lavoro e diverse misure di prevenzione, che dovranno essere messe in atto dal preposto a seconda dell'insorgere dello scenario. La definizione di diversi tipi di scenari all'interno del Piano di Sicurezza e coordinamento potrebbe risolvere il problema dell'aggiornamento del rischio microclima, escludendo da questo ovviamente l'aggiornamento invece relativo alle misure aggiuntive relative al POS. Quindi questa valutazione preliminare per quanto riguarda gli ambienti severi caldi, può essere fatta in realtà a partire per esempio dall'Heat Index, che è l'indice di calore analizzato in precedenza; dipende dalla temperatura e dall'umidità che ovviamente in fase preliminare non possono che essere un qualcosa che proviene da dati storici. A seconda dello scenario e del valore di Heat Index si possono definire range di rischio crescente in modo tale da associare il luogo di lavoro allo scenario. Nella valutazione dei rischi ci devono essere contemplati diversi scenari possibili e le varie soluzioni per ogni scenario. Sul campo, per una un'allerta anche istantanea basta un termoigrometro, strumento che misura temperatura e umidità. Se questo strumento viene fornito ad un preposto formato appositamente su questi argomenti, riesce a dare giorno per giorno, via via che passa il tempo e lo scenario, le giuste misure di tutela alle giuste persone e quindi ai lavoratori in base alla loro anche la loro suscettibilità.

La valutazione dei rischi all'interno del PSC, come anche all'interno del DVR o del POS, è spesso però effettuata in maniera superficiale, in quanto i datori di lavoro stessi o i CSP fanno fede ai software in commercio e ai parametri medi già all'interno predisposti, senza effettuare un corretto monitoraggio di tutti i parametri. È certo che riguardo il rischio microclima il PSC deve essere aggiornato rispetto al momento in cui è stato redatto per il motivo che è stato citato in precedenza, ma inoltre dovrebbe essere anche effettuato un monitoraggio concentrato nelle ore più calde per i microclimi severi caldi, e nelle ore più fredde per i rischi microclimi freddi. Il monitoraggio però potrebbe portare all'aumento dei costi di spesa degli strumenti e dei tecnici per l'utilizzo degli stessi, oltre che ad un aumento delle tempistiche per i vari aggiornamenti. Per effettuare quindi una corretta valutazione del rischio microclima e di tutti i parametri ambientali, bisognerebbe

prevedere un monitoraggio sofisticato, sia a livello di parametri oggettivi, ma soprattutto a livello di parametri soggettivi; la valutazione del microclima, come per tutti gli altri agenti fisici, si riferisce ad un soggetto medio che opera all'interno dell'ambiente di lavoro. È facile capire come però, in realtà, ogni soggetto coinvolto presenta dei parametri specifici che possono cambiare dal soggetto valutato precedentemente o successivamente. Per quanto riguarda gli ambienti moderati è possibile anche effettuare delle campagne di monitoraggio a seconda della stagione, due ogni anno, una in inverno e una in estate, quando si hanno le massime temperature inferiori e superiori. Ovviamente ogni ambiente moderato utilizza sistemi di climatizzazione, macchinari e impianti diversi, ma questo ovviamente sarà a descrizione del datore di lavoro capire dove e quando effettuare il monitoraggio. Per ottenere una campagna di monitoraggio completa bisognerebbe monitorare sicuramente le condizioni ambientali, quindi la temperatura media radiante, la temperatura dell'aria, la velocità del vento, l'umidità relativa, la pressione atmosferica e la radiazione solare. Il monitoraggio fisiologico del lavoratore è anche molto importante da tenere sotto controllo, facile tramite specifici strumenti; si possono monitorare ad esempio la frequenza cardiaca, il tasso metabolico, il consumo energetico, la temperatura corporea e anche la saturazione dell'ossigeno. Attraverso invece un monitoraggio di tipo comunicativo è possibile invece tenere sotto controllo le condizioni di comfort del lavoratore durante l'attività lavorativa capire quali potrebbero essere le problematiche in atto e mettere in atto immediatamente misure di tutela a seconda del riscontro. Tutto ciò ovviamente deve essere previsto da PSC precedentemente attraverso la definizione di tutti gli scenari possibili che possono essere previsti.

I datori di lavoro possono avere dipendenti in diversi cantieri e non solo in un cantiere specifico; tuttavia, è anche difficile aggiornare i POS ogni volta per diversi cantieri, magari situati in diverse province con temperature differenti, o almeno non è un aggiornamento così immediato. Alcuni eventi estremi sono imprevedibili, ed è proprio in questo caso che dovrebbe agire il preposto che secondo art. 2 del D.lgs 81/08 è definito come *la persona che, in ragione delle competenze professionali e nei limiti di poteri gerarchici e funzionali adeguati alla natura dell'incarico conferitogli, sovrintende alla attività lavorativa e garantisce all'attuazione delle direttive ricevute, controllandone la corretta esecuzione da parte dei lavoratori ed esercitando un funzionale potere di iniziativa.*

Gli obblighi del preposto, secondo l'art 19 del D.lgs 81/08 sono:

- a) *sovrintendere e vigilare sulla osservanza da parte dei singoli lavoratori dei loro obblighi di legge, nonché delle disposizioni aziendali in materia di salute e sicurezza sul lavoro e di uso dei mezzi di protezione collettivi e dei dispositivi di protezione individuale messi a loro disposizione e, in caso di rilevazione di comportamenti non conformi alle disposizioni e istruzioni impartite dal datore di lavoro e dirigenti ai fini della protezione collettiva e individuale, intervenire per modificare il comportamento non conforme fornendo le necessarie indicazioni di sicurezza. In caso di mancata attuazione delle disposizioni impartite o di persistenza della inosservanza, interrompere l'attività del lavoratore e informare i superiori diretti;*
- b) *verificare affinché soltanto i lavoratori che hanno ricevuto adeguate istruzioni accedano alle zone che li espongono ad un rischio grave e specifico;*
- c) *richiedere l'osservanza delle misure per il controllo delle situazioni di rischio in caso di emergenza e dare istruzioni affinché i lavoratori, in caso di pericolo grave, immediato e inevitabile, abbandonino il posto di lavoro o la zona pericolosa;*
- d) *informare il più presto possibile i lavoratori esposti al rischio di un pericolo grave e immediato circa il rischio stesso e le disposizioni prese o da prendere in materia di protezione;*
- e) *astenersi, salvo eccezioni debitamente motivate, dal richiedere ai lavoratori di riprendere la loro attività in una situazione di lavoro in cui persiste un pericolo grave ed immediato;*
- f) *segnalare tempestivamente al datore di lavoro o al dirigente sia le deficienze dei mezzi e delle attrezzature di lavoro e dei dispositivi di protezione individuale, sia ogni altra condizione di pericolo che si verifichi durante il lavoro, delle quali venga a conoscenza sulla base della formazione ricevuta;*
- f-bis) *in caso di rilevazione di deficienze dei mezzi e delle attrezzature di lavoro e di ogni condizione di pericolo rilevata durante la vigilanza, se necessario, interrompere temporaneamente l'attività e, comunque, segnalare tempestivamente al datore di lavoro e al dirigente le non conformità rilevate;*⁴³

g) frequentare appositi corsi di formazione secondo quanto previsto dall'articolo 37.

In riferimento al punto d) dell'art. 19 il preposto deve informare i lavoratori sul rischio grave e immediato e deve dare disposizioni a riguardo. Quindi non solo in realtà il datore di lavoro ha l'obbligo di effettuare la valutazione dei rischi all'interno dei documenti di sicurezza, ma i preposti devono farne rispettare le disposizioni e i lavoratori per quanto di propria competenza se si dovessero trovare in una situazione grave, dovrebbero cercare di eliminare o ridurre il rischio. La formazione dei preposti è un fattore critico e in effetti ci deve essere un preposto che riesca a valutare, a seconda dello scenario in cui si trova, quale sia il significato degli indicatori per poi valutare via via come evolve l'ambiente e i parametri ambientali del microclima, in modo tale da far partire le serie di prevenzioni specifiche per quel tipo di scenario che dovrebbero appunto essere già state previste in precedenza. Il preposto dovrebbe riuscire a evidenziare le misure di prevenzione in modo da far fronte a ciò che sta avvenendo come ambiente e anche come lavoratore ovviamente, perché sostanzialmente bisogna capire quali lavoratori possono esserci e possono lavorare tranquillamente in quell'ambiente e quali misure mettere in atto per i più sensibili. Tutto ciò appena descritto dovrebbe essere necessario anche nel caso, ad esempio, il cantiere temporaneo mobile si sviluppi in un arco temporale molto elevato, ma non solo; esistono cantieri, come ad esempio i cantieri stradali, che si sviluppano in lunghezza e possono presentarsi in situazioni climatiche differenti. Ovviamente il datore di lavoro può avere dipendenti in più sezioni e quindi gli viene difficile tenere sotto controllo l'intero cantiere, quindi i lavoratori, i preposti e le altre figure di sicurezza devono cooperare e comunicare in modo da tenere tutti informati sull'eventualità del rischio e individuare, se necessario, idonee misure previste già in precedenza nel PSC.

Ulteriore problema che si potrebbe riscontrare nella redazione del PSC potrebbe essere una corretta stesura del cronoprogramma. Il cantiere estivo e la valutazione del rischio microclima in ambienti severi caldi potrebbe estendersi nel periodo estivo, sostanzialmente dal 21 giugno fino al 23 settembre; come ben è stato sottolineato in precedenza però i cambiamenti climatici hanno modificato il periodo delle temperature estreme, allargando il range temporale di parecchie giornate. Non si dovrebbe più parlare di cantiere estivo solo durante i periodi tra giugno e settembre, ma bisognerebbe fare delle analisi più accurate giorno per giorno, almeno a partire dalle prime giornate annuali in

cui la temperatura raggiunge i 24°C, temperatura massima ideale alla quale si ha la massima produttività. Per quanto riguarda invece il cantiere invernale il problema è analogo con temperature inferiori. È bene rivalutare i range di valutazione del cantiere estivo e del cantiere invernale e il rischio microclima severo caldo e severo freddo in quando il lavoratore si trova nelle condizioni di comfort termico quando la temperatura centrale del corpo è in media a 37°C e la temperatura esterna varia tra i 16°C e i 24°C. Si ricorda che comunque anche il ruolo dell'umidità e il ruolo del vento giocano un ruolo importante per la definizione della temperatura del soggetto coinvolto.

La presenza di subappalti all'interno del cantiere può anch'essa essere un problema per quanto riguarda la valutazione dei rischi, non solo del microclima. L'impresa subaffidataria molte volte non applica l'analisi e la valutazione del rischio microclima perché, come già detto in precedenza, è un rischio molto sottovalutato. Il datore di lavoro dell'impresa subaffidataria esecutrice potrebbe avere in affido le lavorazioni anche per un giorno solo e magari non produrre neanche il POS; secondo il D.lgs 81/08 il datore di lavoro dell'impresa affidataria, secondo il comma 3 dell'art.97 del D.lgs 81/08 deve:

- a) coordinare gli interventi di cui agli articoli 95 e 96;*
- b) verificare la congruenza dei piani operativi di sicurezza (POS) delle imprese esecutrici rispetto al proprio, prima della trasmissione dei suddetti piani operativi di sicurezza al coordinatore per l'esecuzione.*

In riferimento al punto b) il datore di lavoro dell'impresa affidataria ha l'obbligo di verificare la congruenza del POS delle imprese subappaltatrici con il proprio POS; successivamente dovrebbe trasmettere al CSE il POS delle imprese subappaltatrici al fine di ottenere l'autorizzazione per l'ingresso al cantiere. Il problema inizia a monte, dall'impresa affidataria, in quanto, non autorizzando, permette l'ingresso in cantiere ad un'impresa non idonea; il CSE, ignaro magari della presenza dell'impresa in cantiere, allo stesso modo non ha avuto modo di verificare nulla, poiché la documentazione risulta essere completamente assente. Tutto ciò si potrebbe evitare aumentando i controlli da parte degli organi competenti. Sorvolando l'assenza del POS dell'impresa subaffidataria, l'assenza dell'analisi del rischio microclima è una grave mancanza in egual modo punibile con un arresto da 3 a 6 mesi o ammenda da 2'500 a 6'400 euro.

Dal punto di vista della formazione bisogna dare delle indicazioni per reagire, per capire quali siano i segni premonitori delle malattie, in modo tale da capire lo status precedente allo stress termico, e capire cosa fare per evitare che la situazione vada a peggiorare, per i lavoratori più sensibili soprattutto. L'auto-riconoscimento è molto importante per capire se c'è una condizione per la quale si diventa più sensibili; è necessario individuare personalmente quando c'è il bisogno di una maggiore attenzione maggiore per evitare problemi immediati o a lungo termine. La consapevolezza dei lavoratori sul rischio microclima è molto bassa e la formazione è fondamentale per rendere tutti i lavoratori più consapevoli. I lavoratori hanno una percezione del rischio più bassa in realtà di quanto realmente siano esposti; questo è tipico di tutti i settori. Chi è più a rischio non si sente a rischio, vede a rischio gli altri ma non se stesso.

Al fine di ottenere una corretta valutazione del rischio all'interno dei documenti della sicurezza, è importante evidenziare il progetto "workclimate" condotto da CNR e INAIL, che ha avuto come obiettivo quello di sviluppare un prototipo di piattaforma previsionale di allerta caldo. All'interno della piattaforma è possibile consultare le previsioni del luogo di interesse e definire se il lavoratore si troverà all'ombra oppure no ed è anche possibile definire quale attività fisica andrà a svolgere. Il programma restituisce automaticamente delle mappe di rischio a diverse ore per tre giorni successivi e fornisce anche delle indicazioni su come prevenire il rischio microclima in ambienti outdoor. La previsione effettuata con questo tipo di piattaforma non potrà mai sostituire i monitoraggi e le osservazioni effettuate direttamente sul luogo di lavoro e inoltre tutti i modelli meteorologici presentano incertezza a seconda anche delle caratteristiche del territorio.

Successivamente al progetto è stata pubblicata anche una nota dall'INL⁵⁰ all'inizio del mese di luglio del 2021 proprio per tutelare i lavoratori e per indicare le strategie per difendere i lavoratori dallo stress termico ambientale. In questa nota l'INL indica anche di consultare i contenuti disponibili sul sito del progetto workclimate per gestire al meglio la situazione prevista.

Il datore di lavoro, se non sono sufficienti le misure di prevenzione e protezione messe in atto e descritte anche all'interno dei documenti di sicurezza, nel peggiore dei

⁵⁰ Ispettorato Nazionale del Lavoro

casi può sospendere o ridurre l'attività lavorativa a causa dei fenomeni climatici estremi; nel capitolo successivo verrà presentata questa azione al fine di tutelare completamente i lavoratori. Ma effettivamente il datore di lavoro non prende quasi mai questo tipo di decisione in quanto la sospensione dell'attività lavorativa a causa di eventi estremi porta sicuramente ad un ritardo nelle lavorazioni, aumentando quindi il cronoprogramma e i costi dovuti ad esempio al nolo delle attrezzature, delle opere provvisorie e dei macchinari ad esempio. Tenere aperto un cantiere più del tempo previsto sicuramente porta ad un aumento dei costi già definiti in precedenza durante l'appalto; quindi, molto spesso il datore di lavoro preferisce adottare misure momentanee per migliorare le condizioni di salute del proprio dipendente, ma in realtà non sta tutelando del tutto il lavoratore; basta un minimo malessere, una minima distrazione in lavorazioni pericolose, ad esempio in copertura, per arrivare all'infortunio del lavoratore. Quindi è bene sempre pensare alla tutela del lavoratore a livello globale, tralasciando e mettendo in secondo piano ciò che potrebbe aumentare i costi definiti in precedenza, anche perché in realtà come è stato definito in precedenza, se il lavoratore non lavora ad una temperatura idonea, sicuramente presenterà una perdita di produttività. Se il datore di lavoro non adotta la cassaintegrazione perde comunque in termini di produttività perché il dipendente, a causa di ambiente severo freddo o ambiente severo caldo, non riesce a mantenere una produttività massimale; è bene adottare la cassaintegrazione in casi di eventi estremi come è evidenziato nel successivo capitolo.

4.5 Sospensione o riduzione dell'attività lavorativa: cassaintegrazione

Gli eventi estremi sono caratterizzati da due concetti fondamentali:

- la *transitorietà*, ovvero sono azioni che producono effetti limitati nel tempo,
- la *non imputabilità* ovvero che non è riconducibile a negligenza o imperizia del datore di lavoro, ma ad un evento non prevedibile.

I datori di lavoro, viste le caratteristiche dei cambiamenti climatici, possono ricorrere alla cassaintegrazione ordinaria, sospensione o riduzione dell'attività lavorativa, dei propri dipendenti secondo il D.M. n. 95442 del 14 aprile 2016. Fino ad oggi sono state condivise diverse circolari, quali criteri e linee guida, ma negli ultimi due anni, a causa dei rischi a

cui sono esposti i lavoratori durante i periodi estivi, sono state predisposte diverse misure di prevenzione e protezione che riducono al minimo i rischi legati ai danni da calore.

I dati analizzati nel primo capitolo dell'elaborato sono preoccupanti, da gennaio a maggio 2022 si è registrato un aumento degli infortuni rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente; sono dati che si presentano mentre si apre la prospettiva della cassaintegrazione per i lavoratori di certe imprese, nel caso in cui il termometro dovesse superare i 35 gradi, anzi anche quando la temperatura percepita⁵¹ dovesse rendere particolarmente gravoso il lavoro⁵².

La cassaintegrazione è una misura che interviene quando il datore di lavoro sospende o riduce l'attività lavorativa a ricorrere di particolari eventi meteo. La gamma degli eventi meteo che danno diritto alla cassaintegrazione è ampissima, ad esempio la pioggia, il gelo, la neve, il vento, le temperature elevate. L'INAIL riconosce la cassaintegrazione quando la temperatura registrata è superiore ai 35°, però la rilevazione della temperatura non è un elemento sufficiente, perché il verificarsi delle temperature elevate deve essere sempre messo in relazione alla tipologia di attività lavorativa: ci sono ovviamente delle situazioni lavorative dove l'esposizione al calore è decisamente più evidente rispetto ad altre. Le modalità con la quale viene svolta la lavorazione e la tipologia di lavorazione possono portare alla concessione della cassa integrazione anche per temperature inferiori ai 35°, ad esempio per i lavori di stesura del manto stradale, di rifacimento di facciate, tetti, lavorazioni all'aperto, dove non si ha una adeguata protezione dal sole, lavorazioni che richiedono anche indumenti di protezione, lavorazioni che comportano l'utilizzo di macchinari o materiali che a loro volta generano calore, quindi al calore atmosferico si somma anche il calore dei materiali o macchinari utilizzati. È evidente che in questo caso può emergere la rilevanza della temperatura percepita che, in considerazione della particolare incidenza che il calore determina sul regolare svolgimento delle lavorazioni, è sicuramente superiore a quella reale e quindi può essere presa in considerazione come causale per ottenere la cassa integrazione anche quando la temperatura rilevata dai bollettini meteo è inferiore ai 35°; ma non solo, anche

⁵¹ È la sensazione di caldo o di freddo che il soggetto coinvolto percepisce.

⁵² Nota INL n° 3783 del 22/06/2022.

in situazioni in cui nelle giornate si registra un elevato tasso di umidità; come noto, l'umidità concorre a determinare in maniera significativa una temperatura percepita maggiore della temperatura reale, anche quando fa freddo. Ovviamente rimangono tutti i problemi esaminati precedentemente, è tutto molto soggettivo e dipende molto dal tipo di ambiente di lavoro e dal tipo attività lavorativa che il lavoratore svolge.

La sospensione o riduzione dell'attività lavorativa può anche essere richiesta per l'evento gelo. Per temperature dell'aria pari a 0°C o minori a 0° è prevista la possibilità di richiedere la cassaintegrazione, quindi anche quando nei cantieri temporanei mobili, nei periodi invernali svolgono attività lavorative e i lavoratori sono soggetti a queste temperature ripide. La cassaintegrazione viene anche riconosciuta in caso di pioggia o di vento, in questi casi non basta il mero verificarsi dell'evento, ma l'evento deve essere di consistenza tale da giustificare una sospensione o riduzione dell'attività lavorativa.

L'INAIL ha redatto delle linee guida, consultabili dal progetto workclimate citato in precedenza, da utilizzare quando si le situazioni di temperature sono eccessivamente elevate o basse. Esiste una correlazione statistica particolarmente significativa tra esposizione occupazionale ad alte temperature, quindi esposizione durante il lavoro outdoor, e aumento del rischio di infortunio. A partire da questo risultato di ricerca l'INAIL ha promosso una serie di attività, la stessa circolare del 22/06/2022 è uno strumento di mitigazione dei rischi della salute per la prevenzione dei lavoratori, in quanto è evidente che gli effetti del cambiamento climatico hanno un certo coefficiente di irreversibilità nel breve periodo, quindi è necessario soprattutto nel breve periodo lavorare sugli strumenti per il contenimento, la mitigazione, la prevenzione dei rischi e quindi degli effetti sulla salute. Il progetto, che è stato pubblicato insieme alla circolare, è uno di questi strumenti di formazione per i datori di lavoro, ma anche gli addetti alla prevenzione e gli stessi lavoratori sul particolare rischio microclima. Molti studi pubblicati in letteratura hanno mostrato come il livello di percezione del rischio indotto dall'esposizione occupazione a temperature estreme da parte dei lavoratori, da parte dei datori di lavoro e da parte degli addetti alla sicurezza è ancora piuttosto scarso. Il catalogo consiste quindi in una serie di informazioni che riguardano i sintomi dello stress termico dei lavoratori e le misure che è possibile introdurre per ridurre i rischi della salute, che sono soprattutto 2 e sono a basso costo: la diversa organizzazione del lavoro, ovvero la turnazione in modo che i lavoratori siano esposti a minor grado di temperatura estrema,

e l'idratazione, cioè consentire l'idratazione costante durante le ondate di calore. Queste misure, a costo basso, precedute da un sistema di allerta e di informazione che sia capace di ridurre i rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori, possono mitigare gli effetti del cambiamento climatico che interagisce sulla salute e sicurezza del lavoro secondo molte linee di azione, ma sicuramente l'esposizione a temperature estreme e il rischio di infortunio sono una delle linee più significative.

4.5.1.1 *Temperatura percepita*

La temperatura percepita, al contrario della temperatura effettiva, è una sensazione di tipo soggettivo, ovvero una sensazione di caldo o di freddo che dipende dalla temperatura effettiva stessa, ma anche dalle condizioni climatiche. I fattori per la quale la temperatura percepita può cambiare sono il vento e l'umidità. Se si instaurano le seguenti condizioni nelle giornate fredde:

- Velocità del vento compresa tra 2 m/s e 24 m/s;
- Temperatura effettiva inferiore di 11°C;

si è nel caso del Wind Chill, spiegato con maggior dettaglio in un precedente capitolo del presente elaborato, ma è possibile calcolare anche molto più rapidamente attraverso l'equazione (4.1).

$$W_{cl} = 33 - (33 - T_a) \cdot (0,474266 + 0,453843 \cdot \sqrt{V} - 0,0453843 \cdot V) \quad (4.1)$$

Se si combinano invece temperatura effettiva e umidità è possibile calcolare l'indice Humidex nelle giornate con le seguenti condizioni:

- Temperature comprese tra i 20 e i 25 °C;
- Elevato tasso di umidità relativa⁵³.

L'indice si calcola attraverso l'equazione (4.2):

$$H = T_a + (0,5555 \cdot (e - 10)) \quad (4.2)$$

⁵³ L'umidità relativa è il rapporto tra la quantità di vapore acqueo in atmosfera e la quantità che sarebbe necessaria per raggiungere la saturazione, calcolata in %.

in cui T_a indica la temperatura effettiva mentre e indica la pressione di vapore. Si può capire il disagio di una persona attraverso questo semplice parametro e attraverso il valore dell'indice Humidex che indica l'umidità relativa:

- $H < 29 \%$ poche persone percepiscono il disagio;
- $30 \% < H < 34 \%$ sensazione di malessere più o meno significativa;
- $35 \% < H < 39 \%$ sensazione di malessere abbastanza intensa. Prudenza. Limitare alcune attività fisiche gravose;
- $40 \% < H < 45 \%$ sensazione di malessere generalizzato. Pericolo. Evitare gli sforzi;
- $46 \% < H < 53 \%$ grave pericolo. Sospendere le attività fisiche;
- $H > 54 \%$ colpo di calore immediato (pericolo di morte).

5 CONCLUSIONI

La condizione climatica attuale difficilmente migliorerà nel breve periodo, per cui, in tale sede, non si propone una soluzione al problema del cambiamento climatico, ma si vogliono dare delle indicazioni utili ai datori di lavoro e/o a qualsiasi altra figura in grado di effettuare una valutazione dei rischi, per far sì che i termini di impiego dei lavoratori possano trarre da tale scritto una possibile prospettiva di miglioramento. Bisogna individuare delle linee di intervento più incisive, capaci di ottenere in breve tempo dei risultati concreti, base per il raggiungimento del benessere termico. All'inizio dell'elaborato è stato sottolineato come in realtà vi sia una correlazione tra mortalità e ondate di calore, infatti ormai tutta la letteratura internazionale afferma che esiste una considerevole ricorrenza tra l'esposizione occupazionale outdoor, durante le ondate di calore, ed effetti sulla salute dei lavoratori.

Per quanto riguarda il monitoraggio epidemiologico⁵⁴ in Italia, esistono già degli strumenti sviluppati sulle ondate di calore e sugli eventi estremi, ma sono ancora in fase di sviluppo strumenti per il monitoraggio in ambito lavorativo. Gli effetti del cambiamento climatico sulla salute dei lavoratori sono molto difficili da ricostruire in maniera diretta, in quanto è complicato assegnare in termini causali al caldo estremo, eventi come scivolamento da un ponteggio, infortunio in cantieri stradali o in copertura. Quindi, gli strumenti utilizzabili sull'analisi della popolazione si possono trasportare nel campo occupazionale, in modo da monitorare la salute e la sicurezza sul lavoro. Una di queste linee di connessione tra il cambiamento climatico, in particolar modo gli aumenti della temperatura, l'aumento degli eventi estremi e gli effetti sulla salute dei lavoratori, riguarda l'aumento del rischio di infortunio, tema ricorrente e attuale per l'opinione pubblica e le autorità del comparto sanità. Simile importanza riveste indubbiamente il mancato indotto economico dovuto al calo della produttività dei lavoratori durante le ondate di calore; l'impatto derivante è di straordinaria rilevanza e in termini di costi di infortuni e di mancata liquidità e in termini di costi sociali degli infortuni occupazionali. Molto spesso le misure di contenimento e di riduzione del rischio negli ambienti outdoor non sono misure con costi particolarmente alti; si tratta di misure soprattutto di tipo

⁵⁴ Strumenti utilizzati per studiare la frequenza delle malattie, delle condizioni o degli eventi legati alla salute della popolazione.

organizzativo, dunque la definizione di turni lavorativi e periodi di riposo; tali considerazioni, se attuate, dovrebbero portare ad una gestione efficiente e maggiormente strutturata della forza lavoro, che tenga conto dello stress termico; la possibilità di accedere a rifornimenti di acqua in maniera sistematica, facile e comoda, potrebbe sicuramente limitare o ridurre gli effetti dovuti all'esposizione al fattore di rischio studiato. Le misure di eliminazione o riduzione del rischio microclima negli ambienti indoor invece rappresenta una gestione del tutto differente, in quanto bisogna ottenere il comfort termico attraverso l'utilizzo di impianti di climatizzazione/ventilazione molto costosi, di difficile progettazione e di non rapida realizzazione; sostanzialmente se ci dovesse essere un problema di benessere termico in ambiente indoor, per mancanza di idonee misure nell'immediato non è possibile ottenere un corretto aggiornamento della valutazione dei rischi. In questo specifico caso, se l'attività lavorativa lo permette, la soluzione migliore potrebbe essere il cambio momentaneo della sede lavorativa fin quando non venga ristabilito il benessere termico.

Sono misure che non sono difficili da implementare, ma il problema è avere gli strumenti conoscitivi che consentano di comprendere il sistema e appunto organizzare il lavoro in maniera funzionale. Quindi ci sono tutte le condizioni per gestire, contenere e mitigare il rischio in maniera efficiente, contando che il prerequisito essenziale è la produzione di evidenze di ricerca scientifica.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] Arias, P.A., N. Bellouin, E. Coppola, R. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. Naik, M. Palmer, G.-K. Plattner, J. Rogelj, M. Rojas, J. Sillmann, T. Storelvmo, P. Thorne, B. Trewin, K. A. Rao, B. Adhikary, R. Allan, K. Armour, G. Bala, R. Barimalala, S. Berger, J. Canadell, C. Cassou, A. Cherchi, W. Collins, W. Collins, S. Connors, S. Corti, F. Cruz, F. Dentener, C. Dereczynski, A. Di Luca, A. Diongue Niang, F. Doblas-Reyes, A. Dosio, H. Douville, F. Engelbrecht, V. Eyring, E. Fischer, P. Forster, B. Fox-Kemper, J. Fuglestvedt, J. Fyfe, N. Gillett, L. Goldfarb, I. Gorodetskaya, J. Gutierrez, R. Hamdi, E. Hawkins, H. Hewitt, P. Hope, A. Islam, C. Jones, D. Kaufman, R. Kopp, Y. Kosaka, J. Kossin, S. Krakovska, J.-Y. Lee, J. Li, T. Mauritsen, T. Maycock, M. Meinshausen, S.-K. Min, P. Monteiro, T. Ngo-Duc, F. Otto, I. Pinto, A. Pirani, K. Raghavan, R. Ranasinghe, A. Ruane, L. Ruiz, J.-B. Sallée, B. Samset, S. Sathyendranath, S. Seneviratne, A. Sörensson, S. Szopa, I. Takayabu, A.-M. Tréguier, B. van den Hurk, R. Vautard, K. von Schuckmann, S. Zaehle, X. Zhang e K. Zickfeld, *Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2021.
- [2] ISTAT, *Rapporto sul Territorio 2020 - Ambiente, Economia e Società*, 2020.
- [3] *Countries most exposed to individual and compound extremes at different global warming levels*, EGU sphere, 2022.
- [4] *Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del Cnr (Isac-Cnr)*.
- [5] *climate.nasa.gov*.
- [6] *Irreversible Extreme Heat: Protecting Canadians and Communities from a Lethal Future*, https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2022/06/UoW_ICCA_2022_04-Irreversible-Extreme-Heat.pdf, 2021.

- [7] UNCCD, *Drought In Numbers*, 2022, <https://www.unccd.int/sites/default/files/202205/Drought%20in%20Numbers.pdf>
- [8] *Il clima è già cambiato*, Rapporto dell'osservatorio di legambiente cittàclima, 2022.
- [9] *Ministero della salute - Sistema di sorveglianza mortalità giornaliera*, <https://www.salute.gov.it/portale/caldo/dettaglioContenutiCaldo.jsp?lingua=italiano&id=4547&area=emergenzaCaldo&menu=vuoto>.
- [10] ENEA, “*Climate change and air pollution: Translating their interplay into present and future mortality risk for Rome and Milan municipalities*.”
- [11] *Osservatorio Città Clima, Legambiente*, 2022.
- [12] ISTAT. *Rilevazione Dati meteorologici e idrologici*.
- [13] *Peterson et al., 2001, Toreti e Desiato, 2008*.
- [14] *CMCC - Centro Euro Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici.*, <https://www.cmcc.it/it/report-torino>.
- [15] *S. Sweeney, J. Treat (2019), Nurses’ Unions, Climate Change and Health: A Global Agenda for Action*.
- [16] *D.lgs. 09 aprile 2008 n.81, Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul lavoro*.
- [17] *UNI EN ISO 7730:2006*.
- [18] *Banca dati ispesl - PAF - Portale Agenti Fisici*.
- [19] *UNI EN ISO 8996:2022*.
- [20] *Sito web Azienda Orione di Bistulfi*.