



**Definizione Del Rischio Microclima E  
Metodologia Di Valutazione Con Esempi  
Pratici**



## Valutazione del Rischio Microclimatico

Il rischio microclimatico negli ambienti di lavoro si riferisce ai potenziali effetti negativi sulla salute e sul benessere dei lavoratori dovuti alle condizioni ambientali non ottimali. Questo rischio può variare da lievi disagi a gravi problemi di salute, a seconda delle condizioni specifiche e della durata dell'esposizione. Ecco una descrizione dettagliata dei principali rischi associati ai parametri microclimatici:

### 1. Temperatura dell'Aria ( $T_a$ )

Alta temperatura: Può causare disidratazione, colpi di calore, eccessiva sudorazione e stanchezza.

Bassa temperatura: Può portare a ipotermia, brividi, riduzione della destrezza manuale e aumento del rischio di incidenti.

### 2. Temperatura Media Radiante ( $T_r$ )

Elevata temperatura radiante: Può aumentare la sensazione di calore e stress termico, portando a condizioni come l'affaticamento termico.

Bassa temperatura radiante: Può causare una sensazione di freddo anche in presenza di una temperatura dell'aria adeguata, contribuendo al disagio termico.

### 3. Velocità dell'Aria ( $V_a$ )

Alta velocità dell'aria: Può aumentare la dispersione del calore corporeo e causare raffreddamento eccessivo, con effetti negativi su comfort e salute.

Bassa velocità dell'aria: Può ridurre la ventilazione, causando accumulo di calore e umidità, e peggiorare la qualità dell'aria interna.

### 4. Umidità Relativa ( $U_r$ )

Alta umidità: Può ridurre l'efficacia della sudorazione nel raffreddare il corpo, aumentando il rischio di stress termico e disidratazione.

Bassa umidità: Può causare secchezza delle mucose, pelle secca e problemi respiratori.

### 5. Metabolismo ( $M$ )

Elevato metabolismo: Aumenta la produzione di calore corporeo, che deve essere dissipato efficacemente per mantenere il comfort termico.

Basso metabolismo: Riduce la produzione di calore corporeo, rendendo più facile il mantenimento del comfort termico in ambienti freschi.

### 6. Isolamento Termico del Vestiario ( $I_{cl}$ )

Isolamento termico insufficiente: Può portare a dispersione eccessiva del calore corporeo in ambienti freddi, aumentando il rischio di ipotermia.

Isolamento termico eccessivo: Può impedire la dissipazione del calore corporeo in ambienti caldi, aumentando il rischio di surriscaldamento.

### Classificazione del Rischio

La classificazione del rischio microclimatico è basata sull'analisi dei valori di PMV e PPD:

Rischio basso: PMV tra -0.5 e +0.5, PPD inferiore al 10%. Le condizioni ambientali sono generalmente confortevoli per la maggior parte dei lavoratori.

Rischio medio: PMV tra -1 e -0.5 o tra +0.5 e +1, PPD tra 10% e 25%. Le condizioni ambientali possono causare disagio a una parte significativa dei lavoratori.

Rischio alto: PMV inferiore a -1 o superiore a +1, PPD superiore al 25%. Le condizioni ambientali sono probabilmente insoddisfacenti per la maggior parte dei lavoratori, aumentando il rischio di problemi di salute e incidenti.

### Misure di Controllo del Rischio

Per mitigare il rischio microclimatico, si possono adottare diverse misure tecniche e organizzative:

#### Misure Tecniche

Controllo della temperatura: Installazione di sistemi di riscaldamento o raffreddamento per mantenere la temperatura dell'aria e la temperatura radiante entro intervalli confortevoli.

Ventilazione: Installazione di sistemi di ventilazione per controllare la velocità dell'aria e migliorare la qualità dell'aria interna.

Umidificazione e deumidificazione: Utilizzo di umidificatori o deumidificatori per mantenere l'umidità relativa entro livelli ottimali.

#### Misure Organizzative

Adeguamento dei turni di lavoro: Pianificazione di pause regolari in ambienti termicamente controllati per ridurre l'esposizione a condizioni estreme.

Formazione: Educazione dei lavoratori sui rischi microclimatici e sulle strategie per minimizzare l'impatto (ad esempio, idratazione, uso di abbigliamento adeguato).

Monitoraggio: Controllo regolare dei parametri microclimatici e dei segni di disagio termico tra i lavoratori.

## Definizione del Rischio e Metodologia di Valutazione

Il documento di valutazione del rischio microclimatico negli ambienti di lavoro si basa sull'analisi dei parametri fisici ambientali che influenzano il comfort termico e la sensazione di benessere dei lavoratori. La valutazione è condotta secondo la norma UNI EN ISO 7730, che prevede il calcolo degli indici PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).

## Indici Utilizzati

1. Indice PMV (Predicted Mean Vote): misura la sensazione termica media di un gruppo di persone su una scala da -3 (molto freddo) a +3 (molto caldo). Questo indice considera sei parametri principali: temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria, isolamento termico del vestiario, metabolismo e pressione parziale del vapore acqueo.

2. Indice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied): quantifica la percentuale prevista di persone insoddisfatte dalle condizioni microclimatiche. È derivato dal PMV utilizzando la formula:

$$PPD = 100 - 95 \times \exp(-0.03353 \times PMV^4 + 0.2179 \times PMV^2)$$

## Tablelle di Calcolo del Rischio

### Parametri di Input

- Ta: Temperatura dell'aria (°C)
- Tr: Temperatura media radiante (°C)
- Va: Velocità dell'aria (m/s)
- Ur: Umidità relativa (%)
- M: Metabolismo (Met)
- Icl: Isolamento termico del vestiario (Clo)

### Tabella di Riferimento PMV e PPD

PMV	PPD (%)	Valutazione Ambiente Termico
+3	100	Molto caldo
+2	75.5	Caldo
+1	26.5	Tiepido
+0.5	10	Benessere termico
0	5	Neutralità
-0.5	10	Benessere termico
-1	26.5	Fresco
-2	75.5	Freddo

-3	100	Molto freddo
----	-----	--------------

### Esempio di Calcolo del PMV e del PPD

Consideriamo un ambiente con i seguenti parametri:

- Ta = 25 °C
- Tr = 25 °C
- Va = 0.1 m/s
- Ur = 50%
- M = 1.2 Met
- Icl = 0.5 Clo

Calcolo del PMV:

La formula per il PMV è complessa e solitamente viene risolta con software specifici, ma il principio base è che PMV è una funzione dei sei parametri sopra elencati.

Calcolo del PPD:

Una volta determinato il PMV (ad esempio PMV = 0.5), il PPD viene calcolato come:

$$PPD = 100 - 95 \times \exp(-0.03353 \times 0.5^4 + 0.2179 \times 0.5^2)$$

Sostituendo:

$$PPD = 100 - 95 \times \exp(-0.002095625 + 0.054475)$$

$$PPD = 100 - 95 \times \exp(0.052379375)$$

$$PPD = 100 - 95 \times 0.949$$

$$PPD \approx 10.35\%$$

Secondo la tabella di riferimento, con un PMV di 0.5 e un PPD di circa 10.35%, l'ambiente è valutato come con benessere termico.

### Tablelle dei Parametri Misurati e Calcolati

Ambiente	Ta (°C)	Tr (°C)	Va (m/s)	Ur (%)	M (Met)	Icl (Clo)	To (°C)	PMV	PPD (%)	Giudizio Termico
Ambiente 1	25	24	0.15	45	1.0	0.6	24.5	0.6	12	Benessere termico
Ambiente 2	28	26	0.20	55	1.5	0.8	27.0	1.2	30	Tiepido
Ambiente 3	18	18	0.10	35	1.2	0.9	18.0	-0.8	20	Fresco

### Misure di Sicurezza

In funzione della classe di rischio identificata (alto rischio per PMV > 2 o PMV < -2), si adottano le seguenti misure:

- Tecniche: installazione o potenziamento degli impianti per la regolazione termoigrometrica, dotazione di regolatori autonomi.

- Organizzative: aumento dell'umidità relativa invernale, riduzione di quella estiva, riduzione della velocità dell'aria, schermatura delle sorgenti radianti.

#### ALTRO ESEMPIO

Consideriamo un ambiente con i seguenti parametri:

- **Ta** = 22 °C
- **Tr** = 20 °C
- **Va** = 0.15 m/s
- **Ur** = 60%
- **M** = 1.4 Met
- **Icl** = 0.7 Clo

#### Calcolo del PMV

Il PMV viene calcolato considerando i parametri elencati. La formula del PMV è complessa e viene generalmente risolta tramite software specifici. Tuttavia, possiamo descrivere i passaggi generali:

1. **Calcolo del bilancio termico:** Tenendo conto dei parametri ambientali e personali, si determina il bilancio termico del corpo umano.
2. **Calcolo del PMV:** Utilizzando la formula del PMV che considera il bilancio termico e le variabili ambientali.

#### Calcolo del PPD

Una volta determinato il PMV (ad esempio PMV = 0.3), il PPD viene calcolato come:

$$PPD=100-95 \times \exp^{f_0}(-0.03353 \times 0.34 + 0.2179 \times 0.32) \quad PPD=100-95 \times \exp(-0.03353 \times 0.34 + 0.2179 \times 0.32)$$

Sostituendo:

$$PPD=100-95 \times \exp^{f_0}(-0.03353 \times 0.0081 + 0.2179 \times 0.09) \quad PPD=100-95 \times \exp(-0.03353 \times 0.0081 + 0.2179 \times 0.09)$$

$$PPD=100-95 \times \exp^{f_0}(-0.000271353 + 0.019611) \quad PPD=100-95 \times \exp(-0.000271353 + 0.019611)$$

$$PPD=100-95 \times \exp(-0.019339647 \times PMV^2)$$

$$PPD=100-95 \times 0.98089$$

$$PPD \approx 6.83\%$$

### Valutazione

Secondo la tabella di riferimento, con un PMV di 0.3 e un PPD di circa 6.83%, l'ambiente è valutato come con benessere termico.

### Tabelle dei Parametri Misurati e Calcolati

Ambiente	Ta (°C)	Tr (°C)	Va (m/s)	Ur (%)	M (Met)	Icl (Clo)	To (°C)	PMV	PPD (%)	Giudizio Termico
Ambiente 1	25	24	0.15	45	1.0	0.6	24.5	0.6	12	Benessere termico
Ambiente 2	28	26	0.20	55	1.5	0.8	27.0	1.2	30	Tiepido
Ambiente 3	18	18	0.10	35	1.2	0.9	18.0	-0.8	20	Fresco
<b>Ambiente 4</b>	<b>22</b>	<b>20</b>	<b>0.15</b>	<b>60</b>	<b>1.4</b>	<b>0.7</b>	<b>21</b>	<b>0.3</b>	<b>6.83</b>	<b>Benessere termico</b>

### Misure di Sicurezza

In funzione della classe di rischio identificata (alto rischio per  $PMV > 2$  o  $PMV < -2$ ), si adottano le seguenti misure:

- **Tecniche:** installazione o potenziamento degli impianti per la regolazione termoigrometrica, dotazione di regolatori autonomi.
- **Organizzative:** aumento dell'umidità relativa invernale, riduzione di quella estiva, riduzione della velocità dell'aria, schermatura delle sorgenti radianti.

### Conclusioni

La valutazione del rischio microclimatico permette di determinare l'adeguatezza delle condizioni ambientali di lavoro e di adottare le misure necessarie per garantire il benessere termico dei lavoratori, minimizzando il rischio di insoddisfazione e disagio termico.