

**NUOVA LINEA TORINO LIONE - NOUVELLE LIGNE LYON TURIN  
PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE - PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE**

**LOTTO COSTRUTTIVO 1 / LOT DE CONSTRUCTION 1  
CANTIERE OPERATIVO 02C/CHANTIER DE CONSTRUCTION 02C  
RILOCALIZZAZIONE DELL'AUTOPORTO DI SUSÀ  
DEPLACEMENT DE L'AUTOPORTO DE SUSE  
PROGETTO ESECUTIVO - ETUDES D'EXECUTION  
CUP C11J05000030001 - CIG 682325367F**

**IMPIANTI FABBRICATI  
IMPIANTI MECCANICI  
Relazione Comfort Termico DIREZIONE ESERCIZIO, PCC E OK-GOL**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	30/04/2018	Prima emissione Première diffusion	A.BIANCHI (MUSINET ENG.)	A.LOVISOLO (MUSINET ENG.)	L.BARBERIS (MUSINET ENG.)

1	0	2	C	C	1	6	1	6	7	I	M	A	1	O	7
Lot Cos. Lot. Con.	Cantiere operativo/ Chantier de construction		Contratto/Contrat				Opera/Oeuvre		Tratto Tronçon	Parte Partie					

E	I	M	R	E	2	4	1	9	0
Fase Phase	Tipo documento Type de document		Oggetto Objet		Numero documento Numéro de document			Indice Index	

**INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE/  
/INTÉGRATION SPÉCIALISTE**



Dott. Ing. Andrea LOVISOLO  
Albo di Torino  
N° 11173 S



**SCALA / ÉCHELLE**  
-

**IL PROGETTISTA/LE DESIGNER**



Dott. Arch. Corrado GIOVANNETTI  
Albo di Torino  
N° 2736

**L'APPALTATORE/L'ENTREPRENEUR**

**IL DIRETTORE DEI LAVORI/LE MAÎTRE D'ŒUVRE**

## SOMMAIRE / INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. CRITERI DI CALCOLO .....	4
2.1 Indici di comfort globale PMV e PPD.....	6
2.2 Considerazioni per il calcolo delle condizioni al contorno .....	8
3. RISULTATI COMFORT GLOBALE .....	10
4. RISULTATI. DISCOMFORT LOCALE.....	47
5. CONCLUSIONI.....	52

## 1. Premessa

La presente relazione analizza il comfort termico relativo al fabbricato uffici (OK GOL, direzione esercizio DE, posto di controllo centralizzato PCC) del nuovo aeroporto di San Didero (TO).

La qualità dell'aria interna e l'adeguatezza dell'impianto termico per garantire il comfort sono stati considerati dai progettisti degli impianti termici in fase di progetto. L'analisi del comfort termico è stata condotta mediante strumenti di analisi computazionale fluidodinamica (CFD).

Le condizioni di comfort termico per gli occupanti sono state verificate con il metodo descritto nella UNI EN ISO 7730:2006 – Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale.

## 2. Criteri di calcolo

L'analisi degli indici di comfort globale è stata effettuata utilizzando il modulo di fluidodinamica computazionale del software Design Builder.

Sono stati selezionati alcuni ambienti ad uso ufficio, sala riunione e sala formazione, che si differenziano tra loro per terminali in ambiente e caratteristiche geometriche, fornendo quindi una sintesi delle condizioni che caratterizzeranno l'edificio.

In particolare, sono stati valutati i seguenti ambienti:

### *Piano terra*

- OK GOL - Ufficio viabilità – n. 1;
- OK GOL – Ufficio informatico – n. 4;
- OK GOL - Segreteria - n. 19;
- DE/PCC – Sala formazione – n. 7;
- DE/PCC – Ufficio pedagogio – n. 14.

### *Piano primo*

- DE/PCC – Ufficio responsabile PCC – n.35
- DE/PCC – Sala riunioni – n. 50

**Figura 1** – Ambienti analizzati – Piano terra e primo piano

## 2.1 Indici di comfort globale PMV e PPD

Il comfort termico può essere definito come la condizione mentale di soddisfazione nei confronti dell'ambiente termico. Gli studi sull'argomento mirano a stabilire relazioni fra la sensazione termica e i diversi parametri fisici che caratterizzano l'ambiente. La sensazione termica dell'uomo è, infatti, legata al bilancio di energia termica sul corpo umano visto nel suo complesso.

Per la valutazione del comfort termico degli ambienti termici "moderati", si utilizzano gli indici PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted percentage of dissatisfied).

Il PMV è un indice che predice il valore medio dei voti di un consistente gruppo di persone sulla seguente scala di sensazione termica a 7 punti:

- + 3 molto caldo
- + 2 caldo
- + 1 leggermente caldo
- 0 neutro
- 1 leggermente freddo
- 2 freddo
- 3 molto freddo.

L'indice PMV è basato sulla rielaborazione dell'equazione di bilancio termico del corpo umano, quando sono stimati:

- l'attività (energia metabolica - MET);
- l'abbigliamento (resistenza termica - CLO)

e misurati i seguenti parametri ambientali:

- temperatura dell'aria;
- temperatura media radiante;
- velocità relativa dell'aria;
- pressione parziale del vapore d'acqua.

L'indice PPD fornisce informazioni sul disagio termico, o sul malessere termico, prevedendo la percentuale di persone che sentirebbe troppo caldo o troppo freddo in un certo ambiente e può essere ricavato sulla base del PMV.

Per soddisfare le condizioni di comfort globale all'interno di un ambiente è necessario che la percentuale massima di insoddisfatti non superi il 15% e che di conseguenza il PMV non vada al di fuori dell'intervallo compreso fra -0,7 e 0,7. Si faccia riferimento alla tabella I.

**Tabella I – UNI: 7730:2006**

CATEGORIA	PPD (%)	PMV
<b>A</b>	< 6	-0,2 <PMV< 0,2
<b>B</b>	< 10	-0,5 <PMV< 0,5
<b>C</b>	< 15	-0,7 <PMV< 0,7

Per il rispetto dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) definiti all'interno dell'allegato del DM 11 ottobre 2017 – “Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.” (G.U. n. 259 del 06 novembre 2017) si richiede di assicurare le condizioni conformi almeno alla classe B (classe II) secondo la norma ISO 7730:2006 in termini di PMV e PPD.

## 2.2 Discomfort locale

Oltre alla valutazione degli indici di “comfort globale”, in precedenza descritti, è importante prendere in considerazione anche le principali cause che provocano discomfort locale dovuto alla disomogeneità del raffreddamento o riscaldamento del corpo umano, in particolare:

- differenza verticale di temperatura;
- asimmetria della temperatura media radiante;
- pavimento con temperatura eccessivamente bassa o alta;
- correnti d'aria.

**Tabella II – UNI: 7730:2006**

CATEGORIA	DR (%)	PD (%)		
		differenza verticale di temperatura	pavimento caldo o freddo	asimmetria radiante
<b>A</b>	< 10	< 3	< 10	< 5
<b>B</b>	< 20	< 5	< 10	< 5
<b>C</b>	< 30	< 10	< 15	< 10

### 2.3 Considerazioni per il calcolo delle condizioni al contorno

I valori di temperatura superficiale delle pareti dei locali sono stati ricavati a partire dal flusso termico che attraversa il componente edilizio (dipendente dal gradiente di temperatura esterno – interno e dalla trasmittanza termica (U) del componente), mediante il seguente procedimento:

$$\Phi = U \cdot \Delta T \quad [\text{W/m}^2] \quad [1]$$

$$T_{\text{super.int}} = T_{\text{interna}} - (\Phi/h_i) \quad [^\circ\text{C}] \quad [2]$$

Dove  $h_i$  è il coefficiente di adduzione che vale 7,7 W/m<sup>2</sup>K per le superfici verticali interne, 5,9 W/m<sup>2</sup>K per le superfici orizzontali interne con flusso discendente e 10 W/m<sup>2</sup>K per le superfici orizzontali interne con flusso ascendente (da norma UNI EN ISO 6946).

Si considera per il periodo invernale:

- temperatura dell'aria interna pari a 20 °C (valore di progetto);
- umidità relativa dell'aria interna pari a 50% (valore di progetto);
- temperatura esterna pari a -9 °C (corrispondente alla temperatura di progetto secondo la norma UNI 5364 e successivi aggiornamenti);
- temperatura del terreno pari a -3,2 °C (utilizzando fattore di correzione  $b_{tr,U}$  da UNI EN 12831:2006);
- temperatura locali non climatizzati pari a 8,4 °C (utilizzando fattore di correzione  $b_{tr,U}$  da UNI EN 12831:2006)
- Irradianza solare considerata pari a zero (condizioni maggiormente gravose).

e per il periodo estivo:

- temperatura dell'aria interna pari a 26 °C (valore di progetto);
- umidità relativa dell'aria interna pari a 50% (valore di progetto);
- temperatura esterna pari a 30,5 °C (secondo la norma UNI 10349);
- temperatura del terreno pari a 22,5 °C (assumendo il valore medio mensile di temperatura dell'aria del mese più caldo);
- temperatura locali non climatizzati pari a 30,5 °C (assumendo, in via cautelativa, il valore di progetto per la temperatura esterna);
- irradianza solare massima estiva incidente sulle superfici alla latitudine di 45°N e per le diverse esposizioni secondo la normativa UNI 10349 (765 W/m<sup>2</sup>: parete esposta a ovest alle ore 16:00; 528 W/m<sup>2</sup>: parete esposta a sud alle ore 12:00; 192 W/m<sup>2</sup>: parete esposta a nord alle ore 6:00; 765 W/m<sup>2</sup>: parete esposta a est alle ore 8:00...). Per tenere conto dell'irradianza solare e per considerare quindi le condizioni più gravose, si considera per i calcoli di cui al punto [1] la temperatura sole-aria al posto della temperatura esterna, ossia la temperatura fittizia che apporterebbe sulla superficie esterna lo stesso flusso termico che si ha nella realtà per effetto della radiazione solare e scambio termico per convezione con l'aria esterna.

Si considerano inoltre le caratteristiche termiche dei diversi componenti edilizi come riportate negli elaborati progettuali (Relazione tecnica Legge n.10/1991 e s.m.i. DIREZIONE ESERCIZIO, PCC e OK-GOL).

Valori trasmittanza termica (U):

- M1 - Muro verso esterno: 0,172 W/m<sup>2</sup>K;
- M2 – Muro verso locali non climatizzati (scala): 0,190 W/m<sup>2</sup>K;
- M3 – Muro verso locali non climatizzati (locali tecnici): 0,199 W/m<sup>2</sup>K;
- P1 – Pavimento contro terra su igloo: 0,310 W/m<sup>2</sup>K;
- S1 – Soffitto verso esterno: 0,240 W/m<sup>2</sup>K.

Valori trasmittanza termica infisso (U<sub>w</sub>):

- M4 – Serramenti esterni opachi: 0,736 W/m<sup>2</sup>K;
- W2 - Serramenti esterni facciata continua: 1,600 W/m<sup>2</sup>K;
- W3 – Copertura vetrata giardino/ingresso: 1,500 W/m<sup>2</sup>K;

Gli impianti di climatizzazione a servizio degli uffici sono costituiti da ventilconvettori abbinati ad un sistema di ventilazione meccanica. La descrizione dei terminali di impianti è riportata, ambiente per ambiente, nel capitolo dei risultati.

### 3. Risultati comfort globale

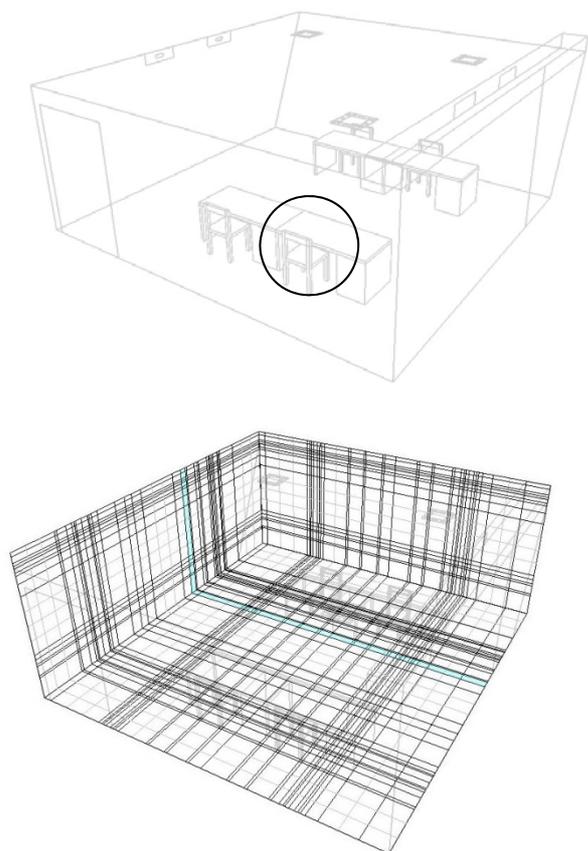
#### OK GOL – Ufficio viabilità 01

##### *Descrizione Ambiente*

L'ufficio, collocato al piano terra della palazzina OK GOL, è un ambiente di circa 42 m<sup>2</sup>, progettata per ospitare quattro postazioni lavorative.

Il locale è climatizzato da un impianto costituito da tre fancoil incassati nel controsoffitto con una portata di aria pari a 610 m<sup>3</sup>/h l'uno. Sono inoltre presenti due bocchette di mandata dell'aria di ventilazione e due di estrazione sulla parete opposta alla mandata verso la facciata continua vetrata. Dagli elaborati progettuali sono state desunte le portate di aria delle bocchette: 125 m<sup>3</sup>/h per le bocchette di mandata e 100 m<sup>3</sup>/h per le bocchette di ripresa.

Il soffitto e due delle pareti perimetrali del locale confinano con l'esterno, una porzione di parete confina con un locale tecnico non climatizzato, le altre pareti sono considerate adiabatiche. Il pavimento è contro terra.



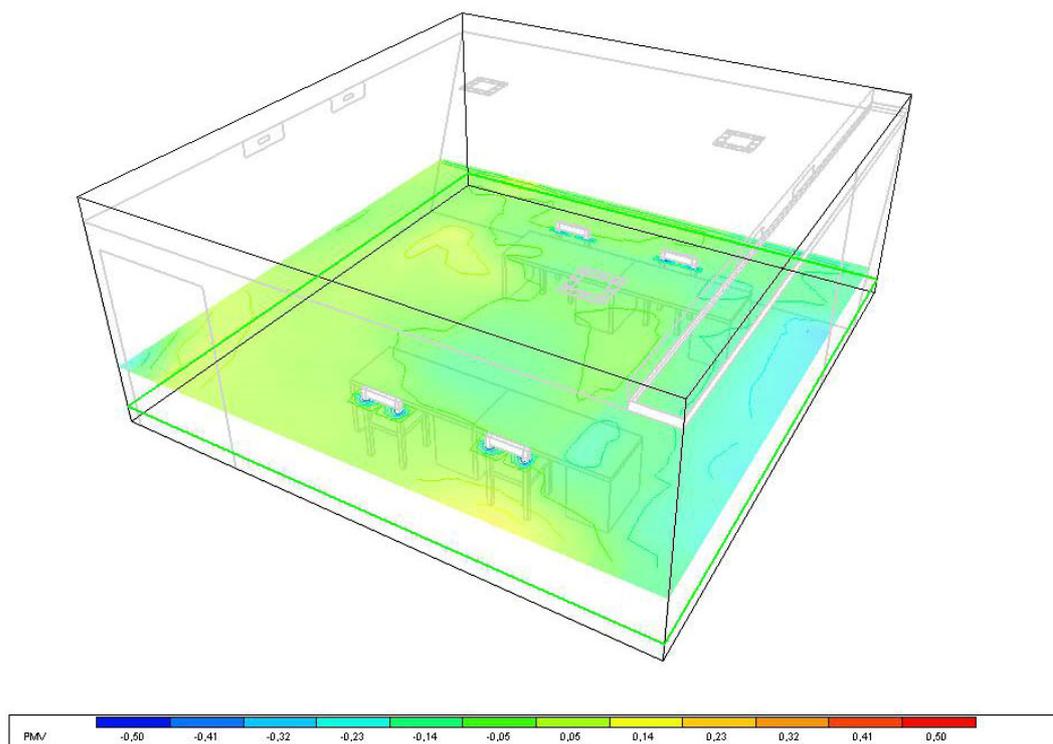
**Figura 2:** Ufficio e distribuzione degli arredi (sopra) – griglia di analisi (sotto).

**REGIME INVERNALE***Input*

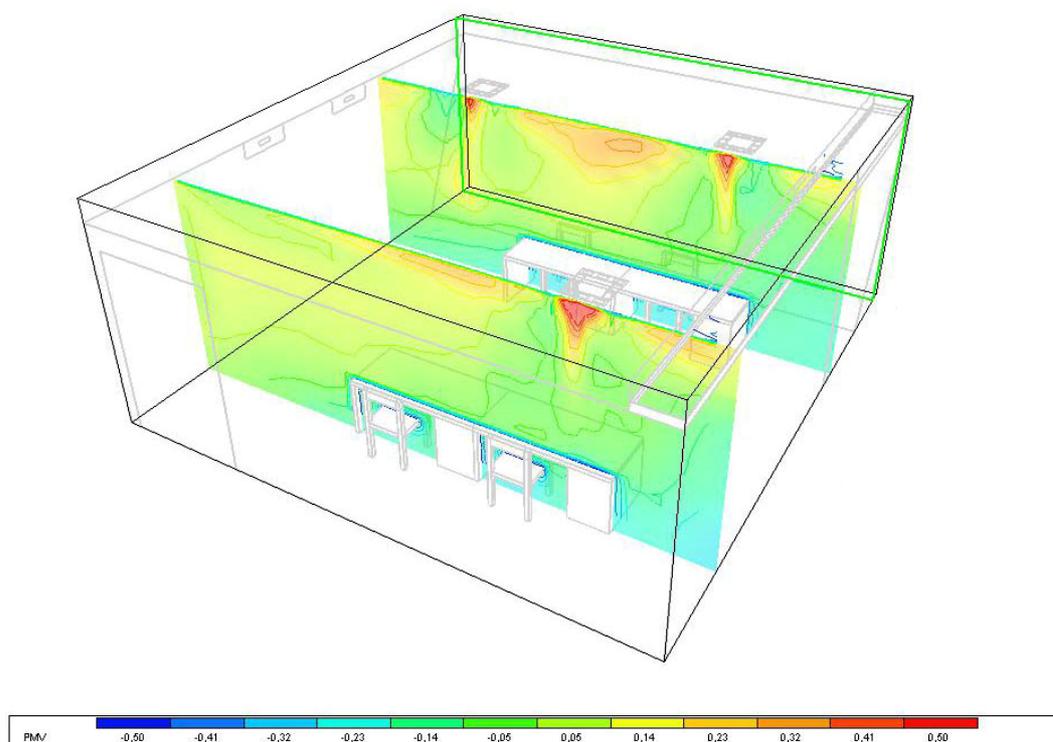
Temperatura superficiale pareti interne:	20,0 °C
Temperatura superficiale pareti confinanti con l'esterno:	19,4 °C
Temperatura superficiale serramento:	14,0 °C
Temperatura superficiale soffitto:	19,3 °C
Temperatura superficiale pavimento:	18,8 °C
Temperatura superficiale parete su locale tecnico non climatizzato:	19,7 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	20,0 °C
Temperatura di immissione aria ventilconvettori:	35,0 °C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	250 m <sup>3</sup> /h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	1 (abbigliamento invernale)
Umidità relativa:	50%

*Output*

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni invernali più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate, varia fra -0,3 e 0,1. L'ambiente rientra quindi in Categoria B con PPD inferiore al 10%.



*Figura 3: PMV regime invernale – sezione orizzontale sul piano di lavoro*



*Figura 4: PMV regime invernale – sezioni verticali in corrispondenza delle postazioni lavorative*

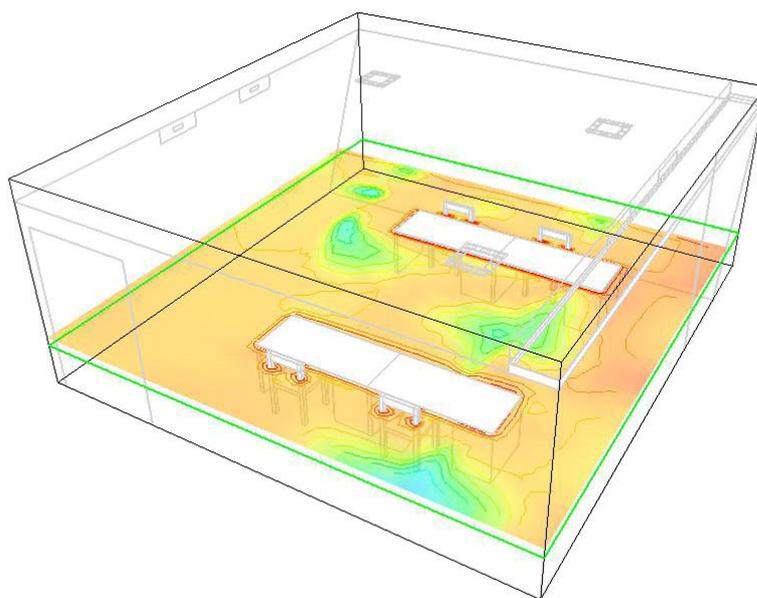
## REGIME ESTIVO

### Input

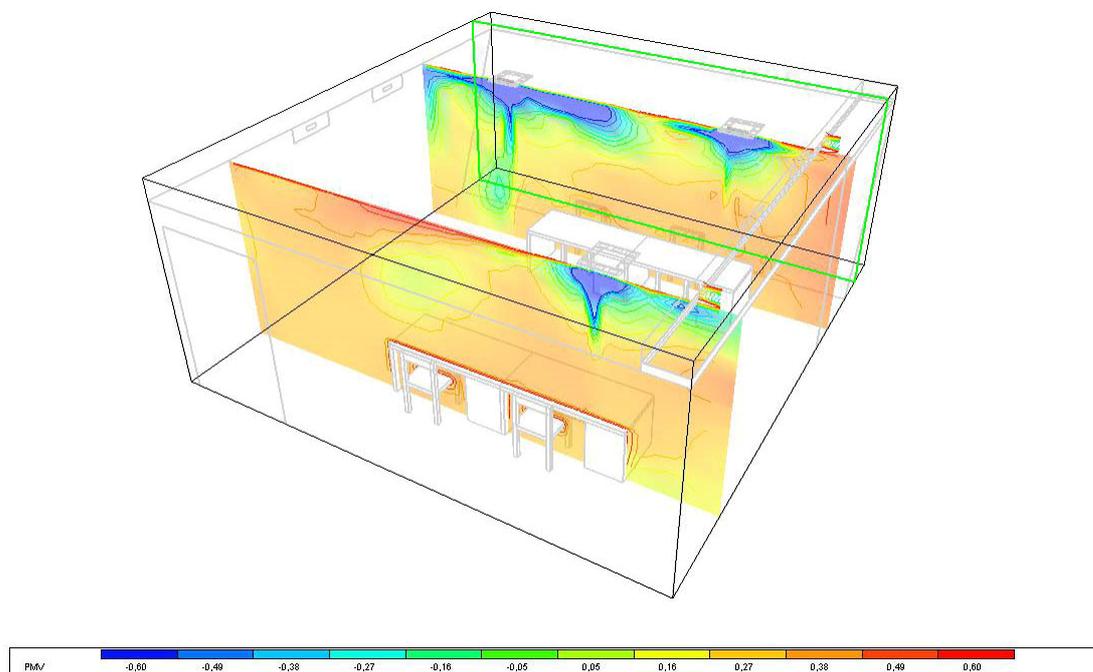
Temperatura superficiali pareti interne:	26,0 °C
Temperatura superficiale pareti confinanti con l'esterno:	26,4 °C
Temperatura superficiale serramento:	28,1 °C
Temperatura superficiale soffitto:	27,3 °C
Temperatura superficiale pavimento:	25,8 °C
Temperatura superficiale parete su locale tecnico non climatizzato:	26,1 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	26 °C
Temperatura di immissione aria ventilconvettori:	15 °C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	250 m <sup>3</sup> /h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	0,7 (abbigliamento estivo)
Umidità relativa:	50%

### Output

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni estive più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate varia fra -0,3 e +0,5 rientrando quindi in Categoria B con indice PPD inferiore al 10%.



*Figura 5: PMV regime estivo – sezione orizzontale sul piano di lavoro*



*Figura 6: PMV regime estivo – sezioni verticali in corrispondenza delle postazioni lavorative*

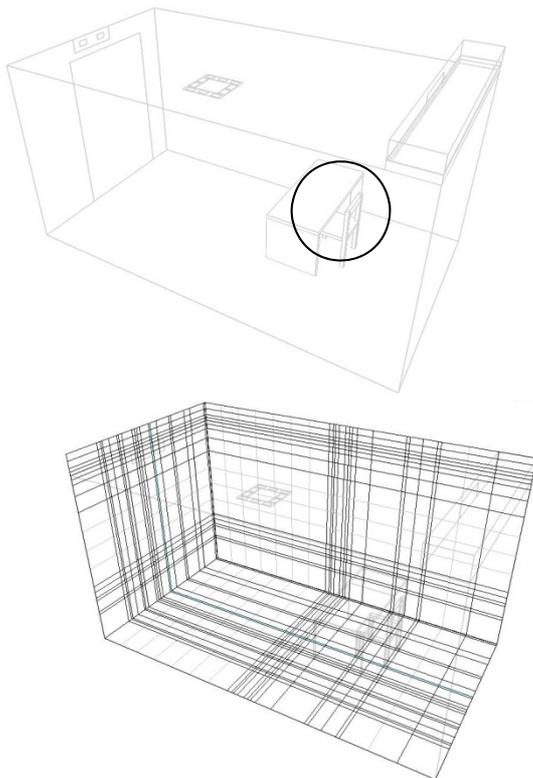
## OK GOL – Ufficio informatico 04

### Descrizione Ambiente

L'ufficio, collocato al piano terra della palazzina OK GOL, è un ambiente di circa 15 m<sup>2</sup>, progettato per ospitare una postazione lavorativa.

Il locale è climatizzato da un impianto costituito da un fancoil incassato nel controsoffitto con una portata di aria pari a 610 m<sup>3</sup>/h. È inoltre presente una bocchetta di mandata dell'aria di ventilazione e una di estrazione sulla parete opposta alla mandata verso la facciata continua vetrata. Dagli elaborati progettuali sono state desunte le portate di aria delle bocchette: 220 m<sup>3</sup>/h per la bocchetta di mandata e 80 m<sup>3</sup>/h per le bocchette di ripresa.

Il soffitto e una delle pareti perimetrali del locale (facciata vetrata) confinano con l'esterno, le altre pareti sono considerate adiabatiche. Il pavimento è contro terra.



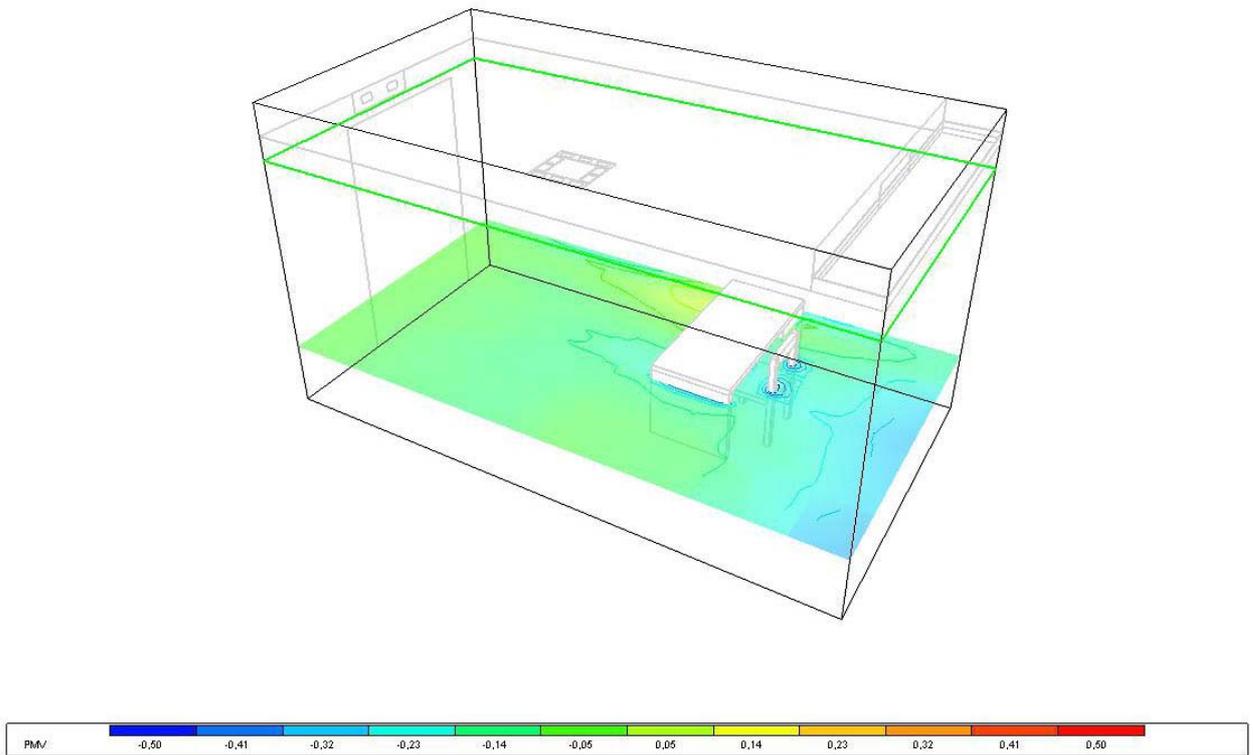
**Figura 7:** Ufficio e distribuzione degli arredi (sopra) – griglia di analisi (sotto).

**REGIME INVERNALE***Input*

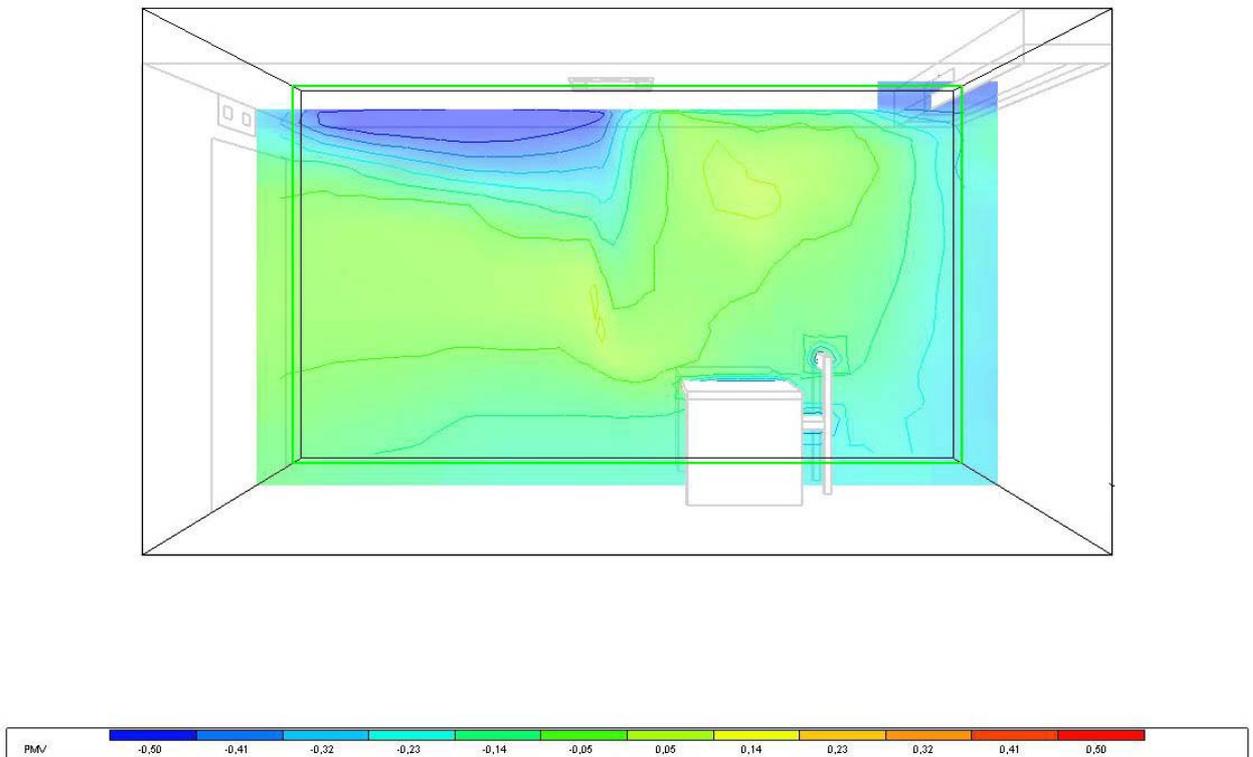
Temperatura superficiali pareti interne:	20,0 °C
Temperatura superficiale serramento:	14,0 °C
Temperatura superficiale soffitto:	19,3 °C
Temperatura superficiale pavimento:	18,8 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	20°C
Temperatura di immissione aria ventilconvettore:	35°C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	220 m3/h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	1 (abbigliamento invernale)
Umidità relativa:	50%

*Output*

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni invernali più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate, varia fra -0,4 e 0,1. L'ambiente rientra quindi in Categoria B con PPD inferiore al 10%.



*Figura 8: PMV regime invernale – sezione orizzontale sul piano di lavoro*



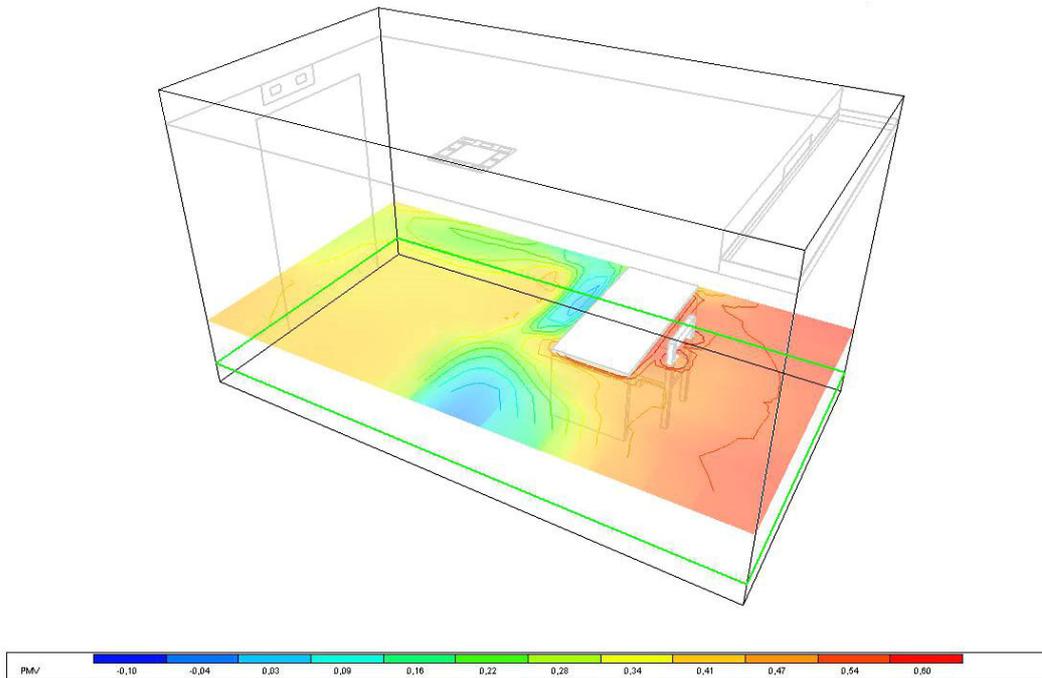
*Figura 9: PMV regime invernale – sezione verticale in corrispondenza della postazione lavorativa*

**REGIME ESTIVO***Input*

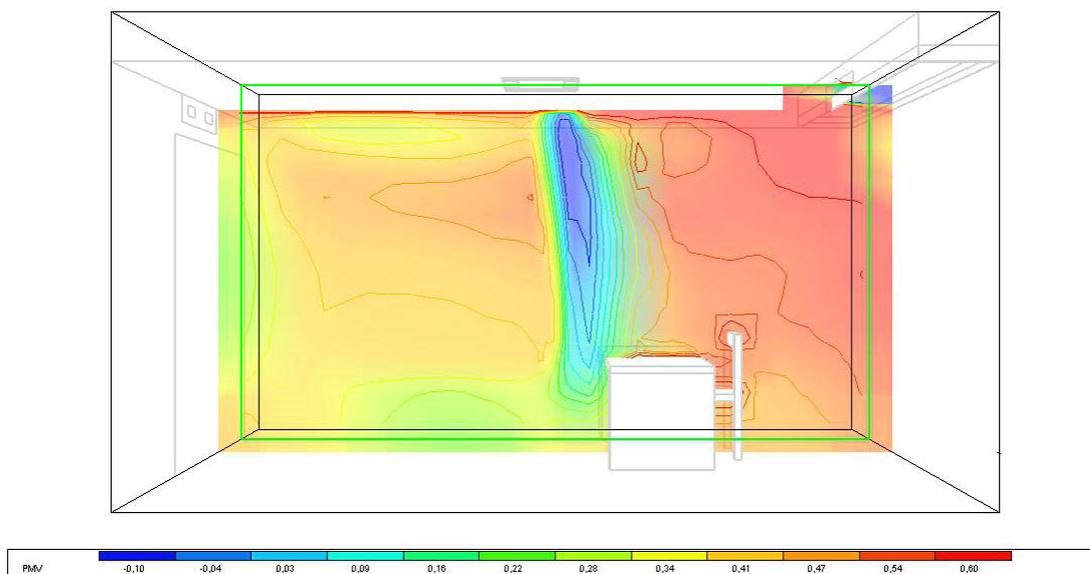
Temperatura superficiali pareti interne:	26,0 °C
Temperatura superficiale serramento:	28,1 °C
Temperatura superficiale soffitto:	27,3 °C
Temperatura superficiale pavimento:	25,8 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	26 °C
Temperatura di immissione aria ventilconvettore:	15 °C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	220 m <sup>3</sup> /h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	0,7 (abbigliamento estivo)
Umidità relativa:	50%

*Output*

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni estive più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate varia fra - 0,1 e + 0,5 rientrando quindi in Categoria B con indice PPD inferiore al 10%.



*Figura 10: PMV regime estivo – sezione orizzontale sul piano di lavoro*



*Figura 11: PMV regime estivo – sezioni verticali in corrispondenza della postazione lavorativa*

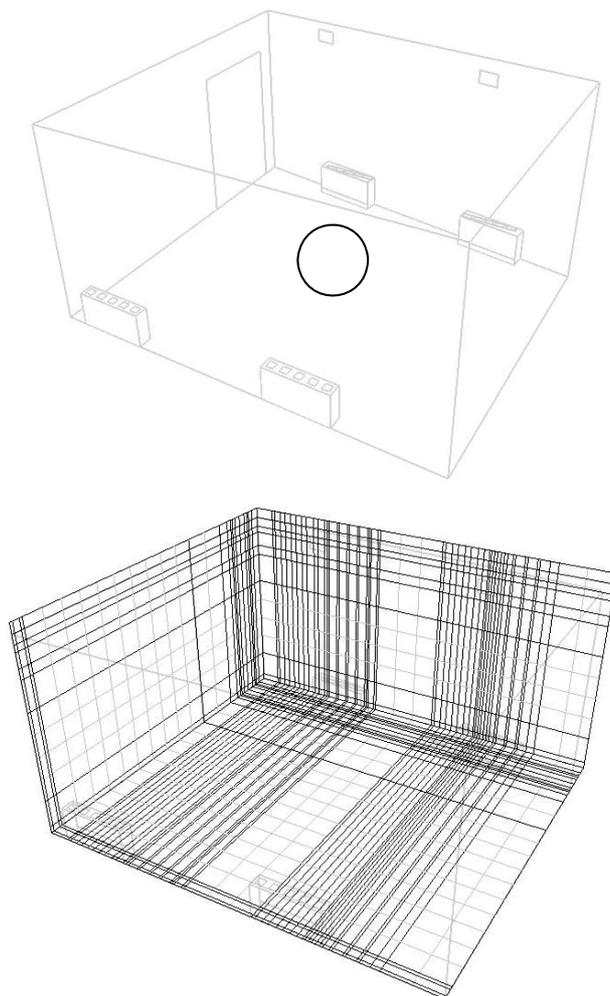
## OK GOL – Segreteria 19

### Descrizione Ambiente

La segreteria, collocata al piano terra della palazzina OK GOL, è un ambiente di circa 28 m<sup>2</sup>.

Il locale è climatizzato da un impianto costituito da quattro fancoil verticali a parete con una portata di aria pari a 610 m<sup>3</sup>/h l'uno. È inoltre presente una bocchetta di mandata dell'aria di ventilazione e una di estrazione sulla stessa parete confinante con i servizi igienici. Dagli elaborati progettuali sono state desunte le portate di aria delle bocchette: 180 m<sup>3</sup>/h per la bocchetta di mandata e 150 m<sup>3</sup>/h per le bocchette di ripresa.

Il soffitto è completamente vetrato e confina con l'esterno. Una delle pareti perimetrali del locale è vetrata e confina con il giardino d'inverno, le altre pareti sono considerate adiabatiche. Il pavimento è contro terra.



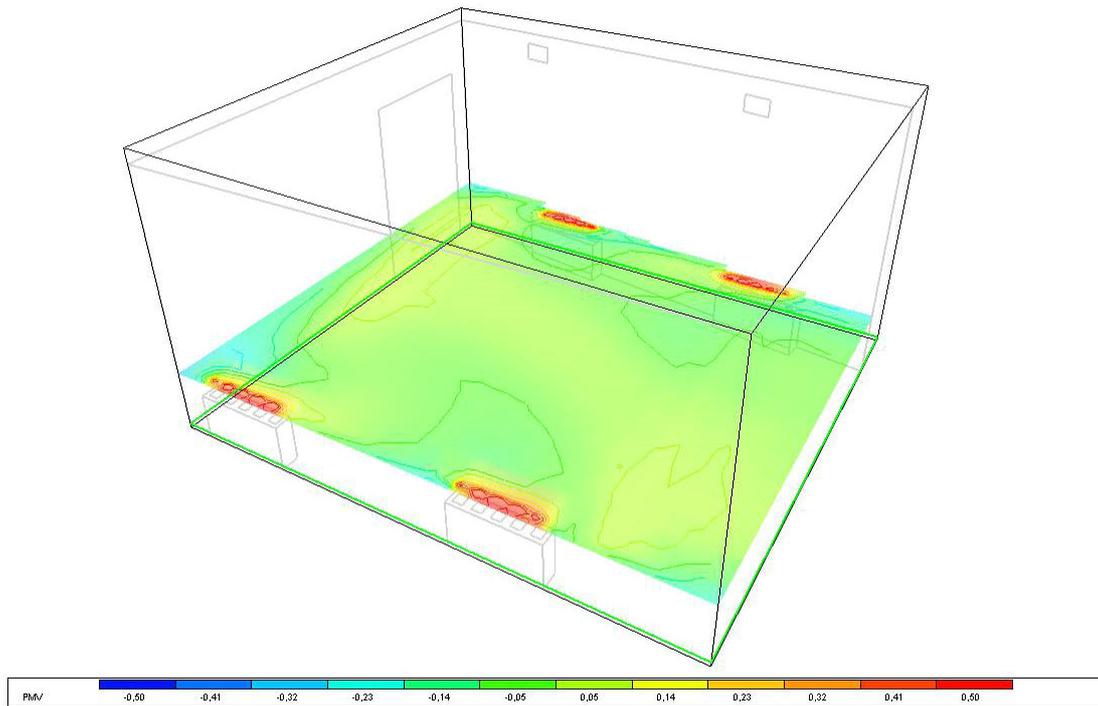
**Figura 12:** Segreteria (sopra) – griglia di analisi (sotto).

**REGIME INVERNALE***Input*

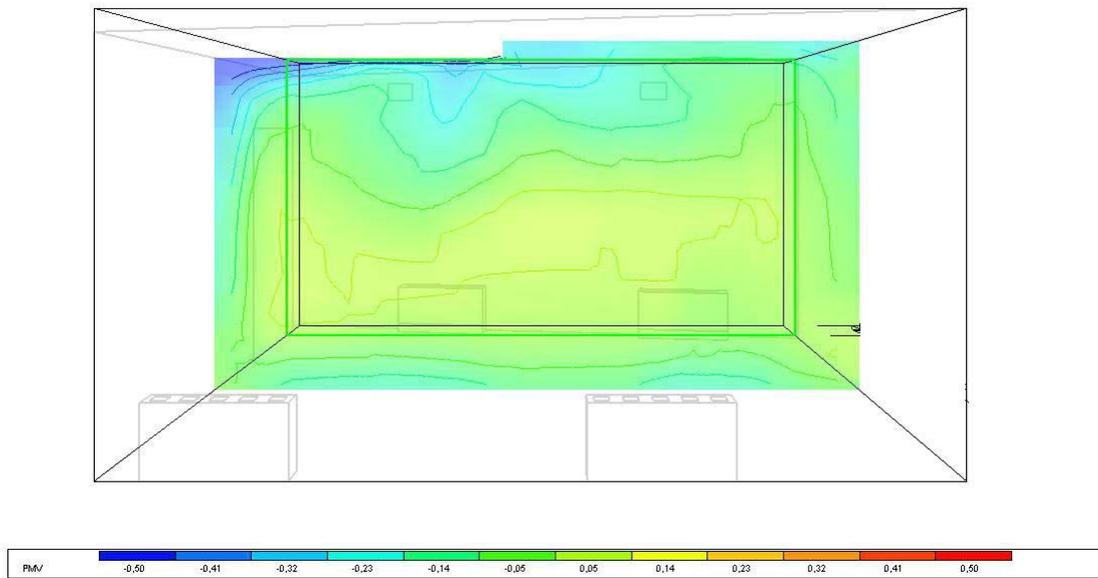
Temperatura superficiale pareti interne:	20,0 °C
Temperatura superficiale serramento:	20,0 °C
Temperatura superficiale soffitto vetrato:	15,7 °C
Temperatura superficiale pavimento:	18,8 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	20,0 °C
Temperatura di immissione aria ventilconvettori:	35,0 °C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	180 m3/h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	1 (abbigliamento invernale)
Umidità relativa:	50%

*Output*

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni invernali più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate, varia fra -0,1 e 0,1. L'ambiente rientra quindi in Categoria A con PPD inferiore al 6%.



*Figura 13: PMV regime invernale – sezione orizzontale sul piano di lavoro*



*Figura 14: PMV regime invernale – sezione verticale*

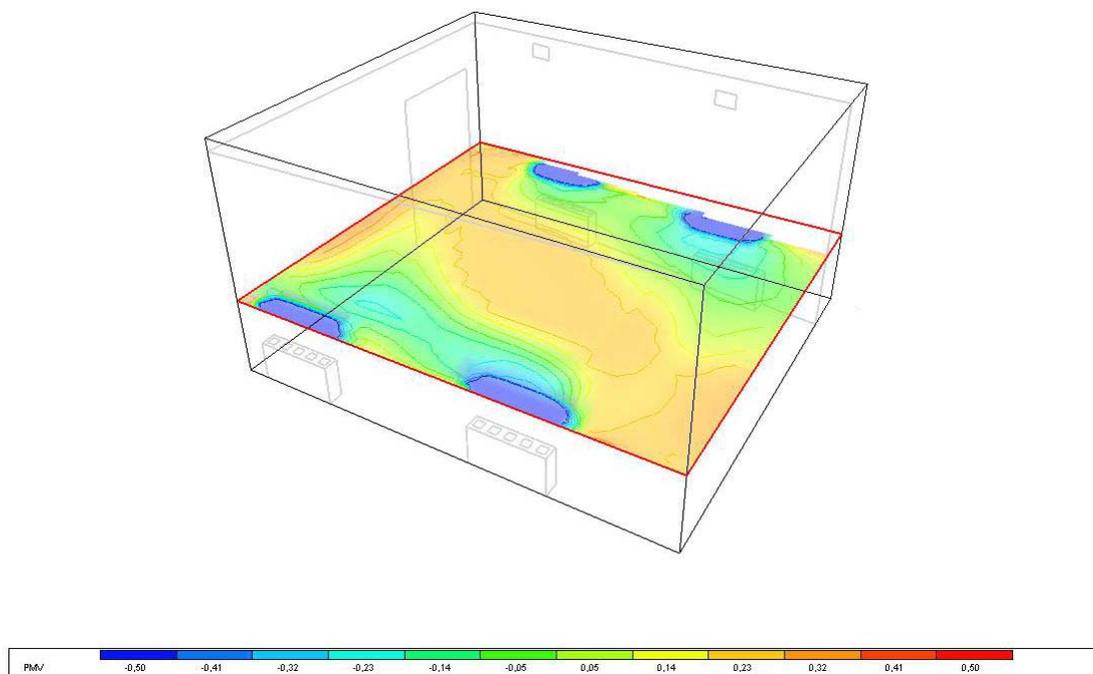
## REGIME ESTIVO

### Input

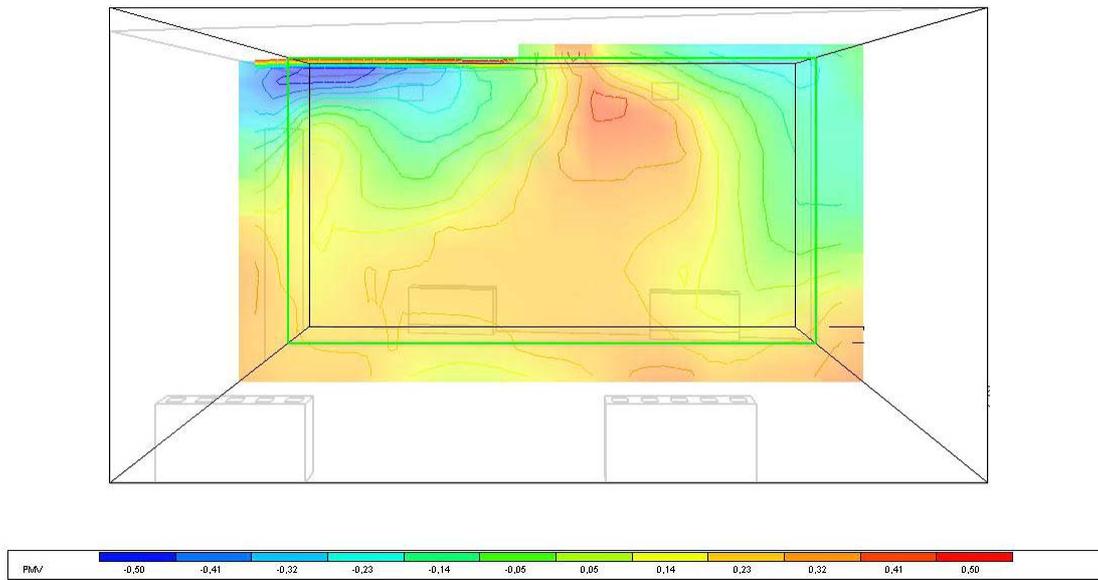
Temperatura superficiali pareti interne:	26,0 °C
Temperatura superficiale serramento:	26,0 °C
Temperatura superficiale soffitto vetrato:	29,0 °C
Temperatura superficiale pavimento:	25,8 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	26 °C
Temperatura di immissione aria ventilconvettori:	15 °C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	180 m <sup>3</sup> /h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	0,7 (abbigliamento estivo)
Umidità relativa:	50%

### Output

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni estive più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate varia fra  $-0,3$  e  $+0,3$  rientrando quindi in Categoria B con indice PPD inferiore al 10%.



**Figura 15:** PMV regime estivo – sezione orizzontale sul piano di lavoro



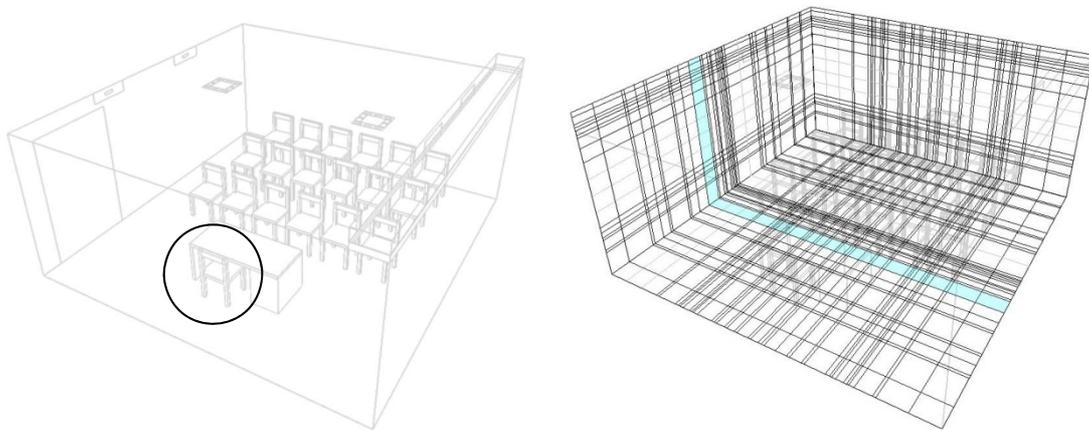
*Figura 16: PMV regime estivo – sezione verticale*

**DE/PCC – Sala formazione – n. 7**Descrizione Ambiente

La sala formazione, collocata al piano terra della palazzina DE e PCC, è un ambiente di circa 37 m<sup>2</sup>.

Il locale è climatizzato da un impianto costituito da due fancoil incassati nel controsoffitto con una portata di aria pari a 610 m<sup>3</sup>/h l'uno. Sono inoltre presenti due bocchette di mandata dell'aria di ventilazione e due di estrazione sulla parete opposta alla mandata verso la facciata continua vetrata. Dagli elaborati progettuali sono state desunte le portate di aria delle bocchette: 100 m<sup>3</sup>/h per le bocchette di mandata e 80 m<sup>3</sup>/h per le bocchette di ripresa.

Una delle pareti perimetrali del locale (facciata vetrata) confina con l'esterno le altre pareti e il soffitto sono considerati adiabatici. Il pavimento è contro terra.



**Figura 17:** Sala formazione e distribuzione degli arredi (sinistra) – griglia di analisi (destra).

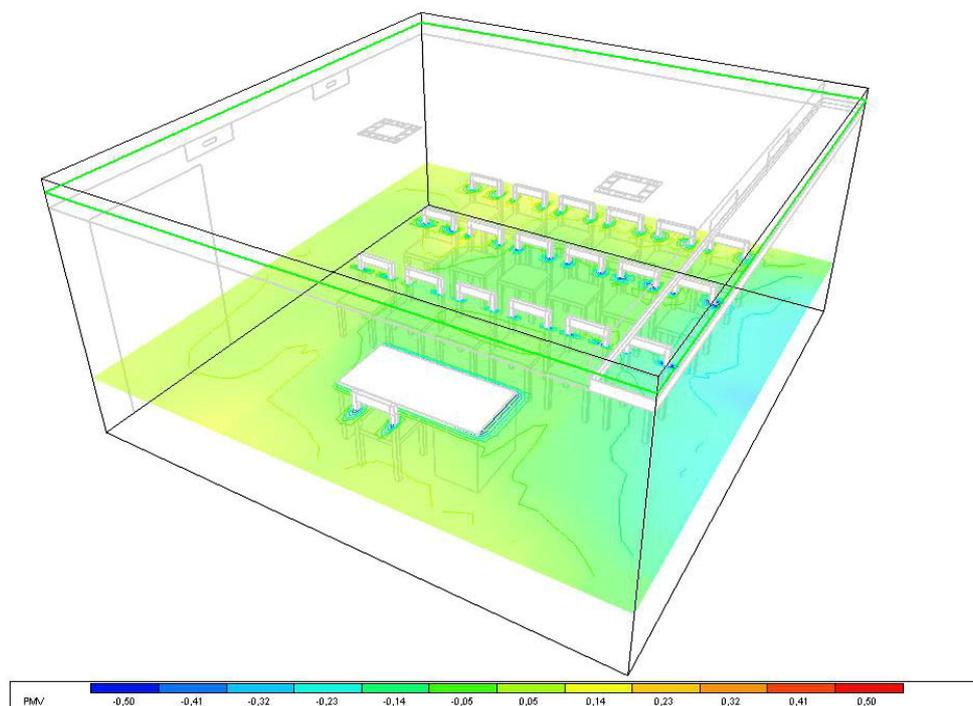
## REGIME INVERNALE

### Input

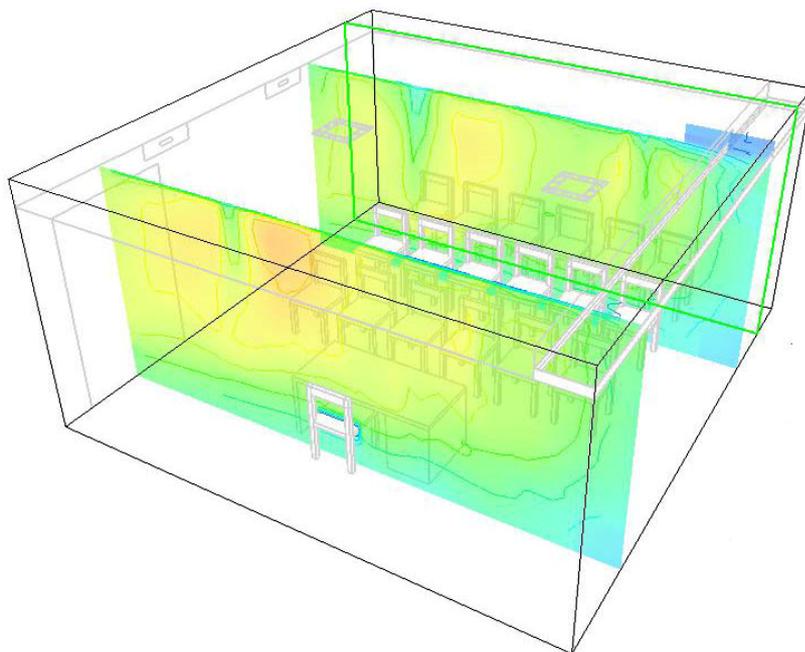
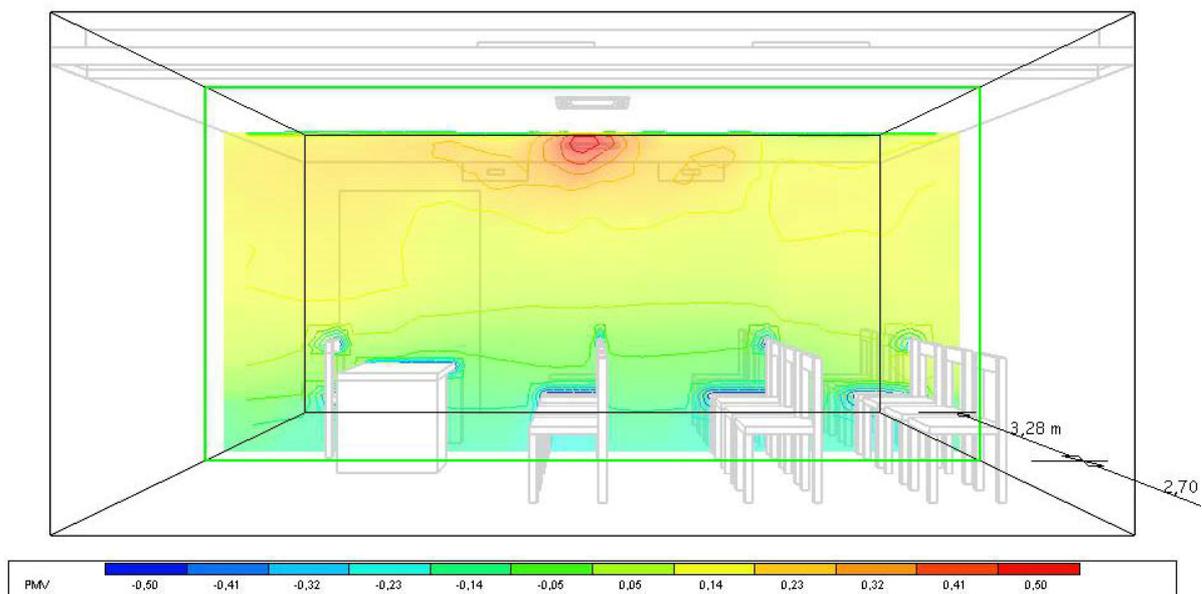
Temperatura superficiale pareti interne:	20,0 °C
Temperatura superficiale serramento:	14,0 °C
Temperatura superficiale soffitto:	20,0 °C
Temperatura superficiale pavimento:	18,8 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	20 °C
Temperatura di immissione aria ventilconvettori:	35 °C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	200 m <sup>3</sup> /h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	1 (abbigliamento invernale)
Umidità relativa:	50%

### Output

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni invernali più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate, varia fra -0,4 e 0,1. L'ambiente rientra quindi in Categoria B con PPD inferiore al 10%.



**Figura 18:** PMV regime invernale – sezione orizzontale



*Figure 19 e 20: PMV regime invernale – sezioni verticali in corrispondenza delle postazioni*

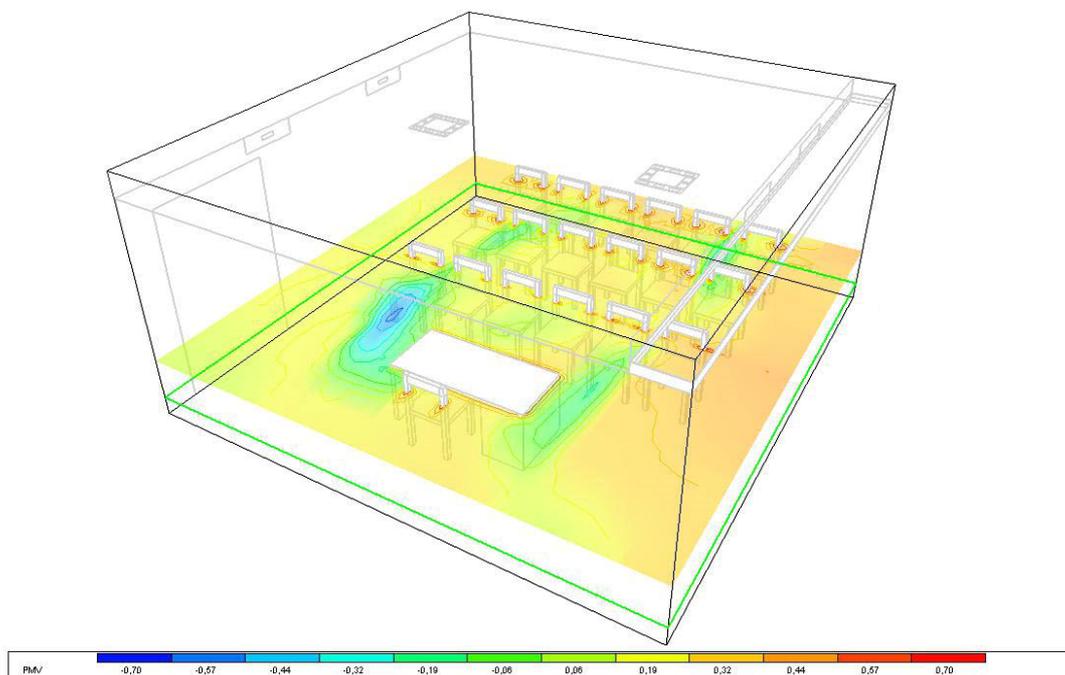
## REGIME ESTIVO

### Input

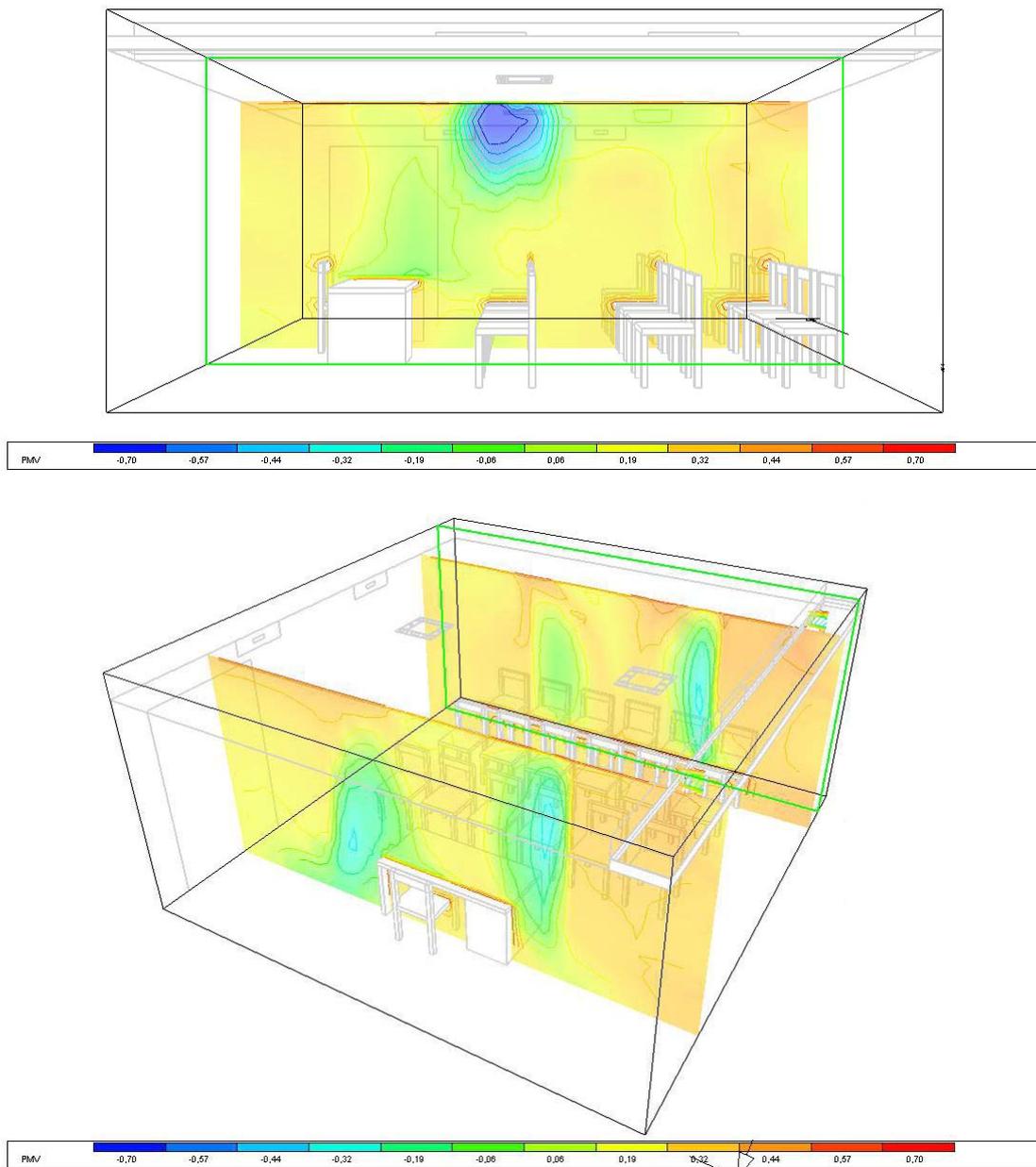
Temperatura superficiale pareti interne:	26,0 °C
Temperatura superficiale serramento:	28,1 °C
Temperatura superficiale soffitto:	26,0 °C
Temperatura superficiale pavimento:	25,8 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	26 °C
Temperatura di immissione aria ventilconvettori:	15 °C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	200 m <sup>3</sup> /h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	0,7 (abbigliamento estivo)
Umidità relativa:	50%

### Output

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni estive più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate varia fra - 0,5 e + 0,3 rientrando quindi in Categoria B con indice PPD inferiore al 10%.



**Figura 21:** PMV regime estivo – sezione orizzontale



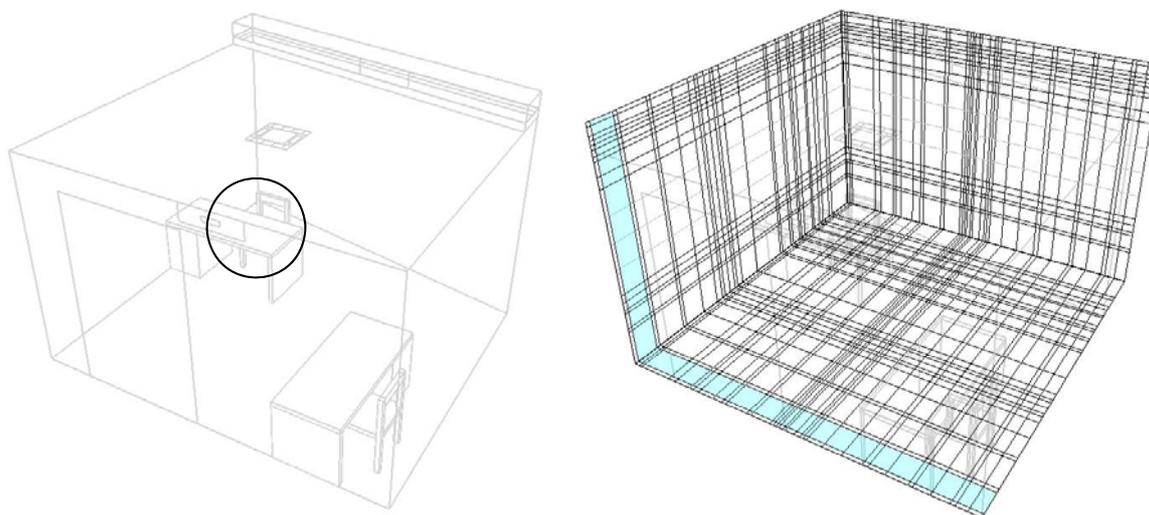
*Figure 22 e 23: PMV regime estivo – sezioni verticali in corrispondenza delle postazioni*

**DE/PCC – Ufficio pedaggio – n. 14.**Descrizione Ambiente

L'ufficio, collocato al piano terra della palazzina DE e PCC, è un ambiente di circa 17 m<sup>2</sup>, progettato per ospitare due postazioni lavorative.

Il locale è climatizzato da un impianto costituito da un fancoil incassato nel controsoffitto con una portata di aria pari a 380 m<sup>3</sup>/h. È inoltre presente una bocchetta di mandata dell'aria di ventilazione e una di estrazione sulla parete opposta alla mandata verso la facciata continua vetrata. Dagli elaborati progettuali sono state desunte le portate di aria delle bocchette: 120 m<sup>3</sup>/h per la bocchetta di mandata e 100 m<sup>3</sup>/h per la bocchetta di ripresa.

Tutte le pareti sono considerate adiabatiche così come il soffitto; la facciata vetrata confina con il Giardino d'inverno climatizzato. Il pavimento è contro terra.



**Figura 24:** Ufficio e distribuzione degli arredi (sinistra) – griglia di analisi (destra).

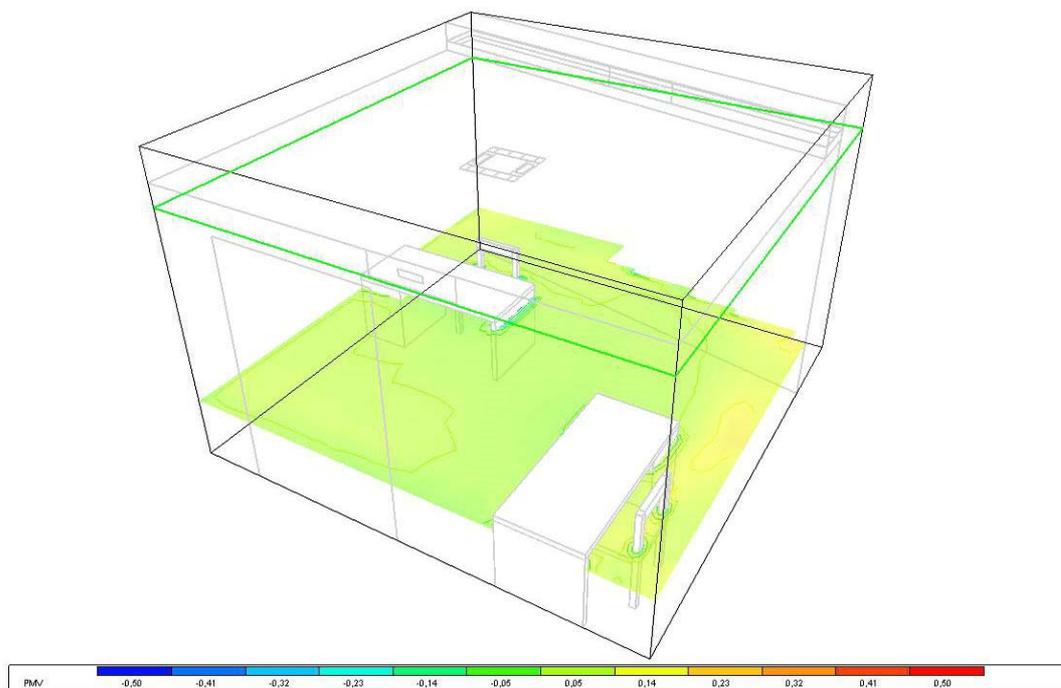
## REGIME INVERNALE

### Input

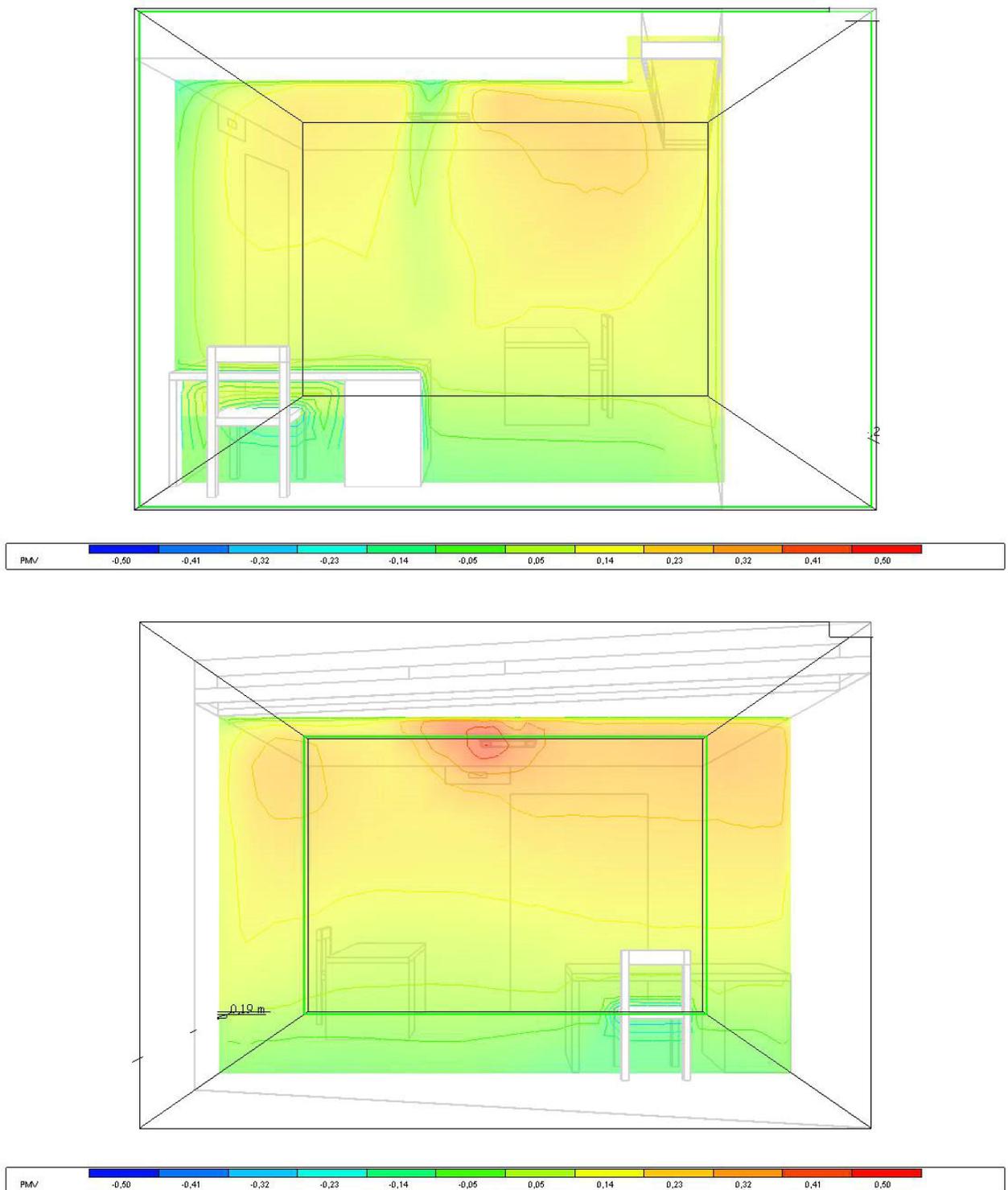
Temperatura superficiali pareti interne:	20,0 °C
Temperatura superficiale serramento:	20,0 °C
Temperatura superficiale soffitto:	20,0 °C
Temperatura superficiale pavimento:	18,8 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	20°C
Temperatura di immissione aria ventilconvettore:	35°C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	120 m <sup>3</sup> /h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	1 (abbigliamento invernale)
Umidità relativa:	50%

### Output

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni invernali più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate, varia fra -0,2 e 0,2. L'ambiente rientra quindi in Categoria A con PPD inferiore al 5%.



**Figura 25:** PMV regime invernale – sezione orizzontale sul piano di lavoro



*Figura 26 - 27: PMV regime invernale – sezione verticale in corrispondenza delle postazioni lavorative*

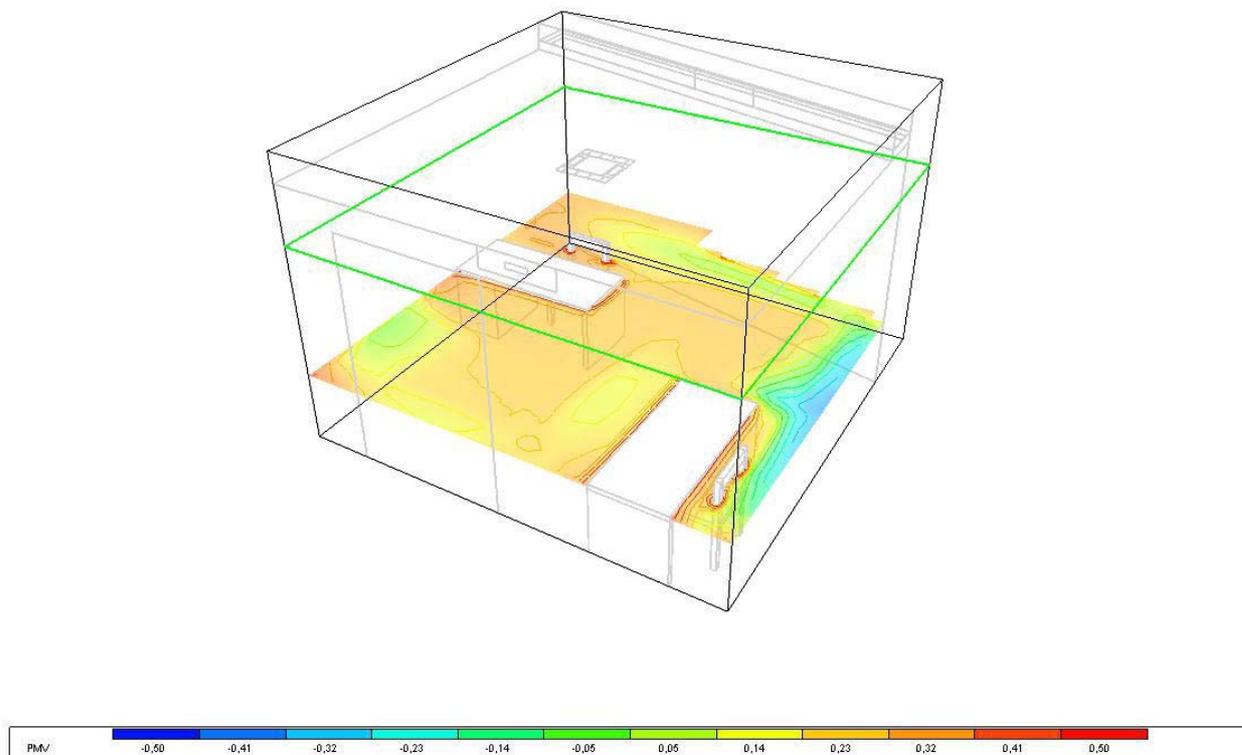
## REGIME ESTIVO

### Input

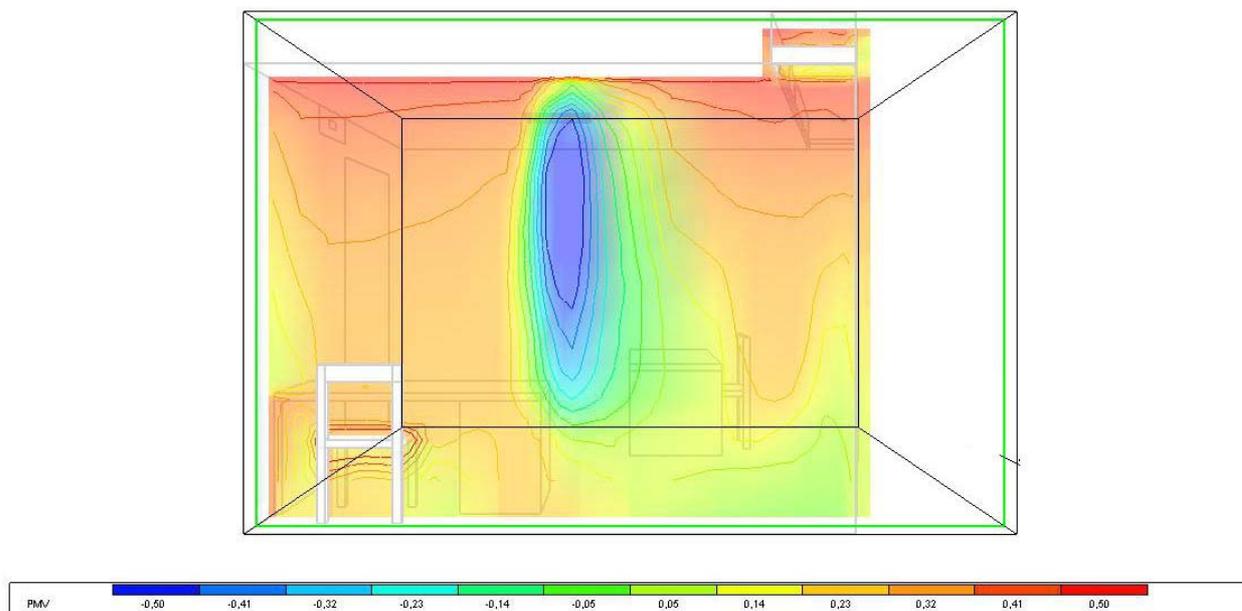
Temperatura superficiali pareti interne:	26,0 °C
Temperatura superficiale serramento:	26,0 °C
Temperatura superficiale soffitto:	26,0 °C
Temperatura superficiale pavimento:	25,8 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	26 °C
Temperatura di immissione aria ventilconvettore:	15 °C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	120 m <sup>3</sup> /h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	0,7 (abbigliamento estivo)
Umidità relativa:	50%

### Output

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni estive più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate varia fra -0,3 e +0,4 rientrando quindi in Categoria B con indice PPD inferiore al 10%.



**Figura 28:** PMV regime estivo – sezione orizzontale sul piano di lavoro



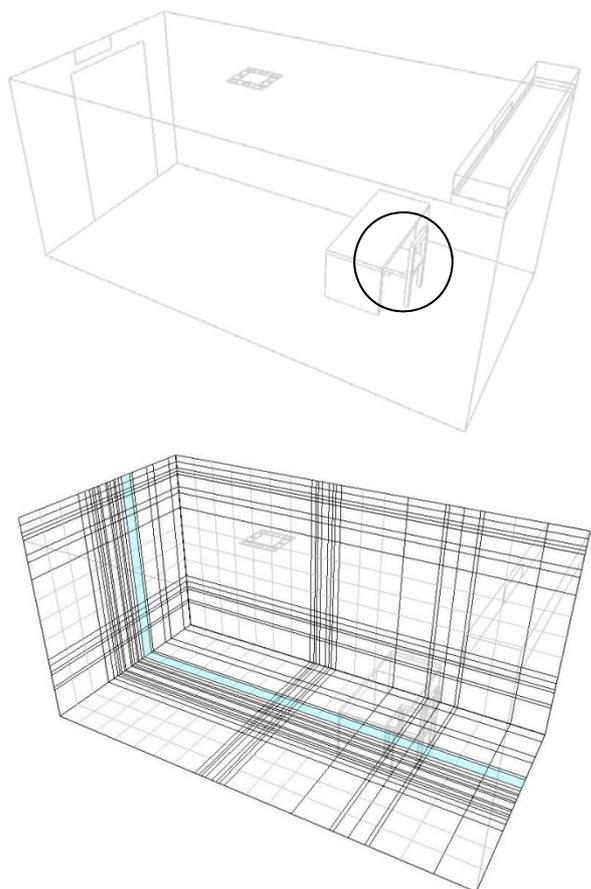
*Figura 29: PMV regime estivo – sezioni verticali in corrispondenza delle postazioni lavorative*

**DE/PCC – Ufficio responsabile PCC – n.35**Descrizione Ambiente

L'ufficio, collocato al piano primo della palazzina uffici DE e PCC, è un ambiente di circa 19 m<sup>2</sup>, progettato per ospitare una postazione lavorativa.

Il locale è climatizzato da un impianto costituito da un fancoil incassato nel controsoffitto con una portata di aria pari a 610 m<sup>3</sup>/h. È inoltre presente una bocchetta di mandata dell'aria di ventilazione e una di estrazione sulla parete opposta alla mandata verso la facciata continua vetrata. Dagli elaborati progettuali sono state desunte le portate di aria delle bocchette. 120 m<sup>3</sup>/h per la bocchetta di mandata e 100 m<sup>3</sup>/h per le bocchette di ripresa.

Il soffitto e una delle pareti perimetrali del locale (facciata vetrata) confinano con l'esterno, le altre pareti sono considerate adiabatiche, così come il pavimento.



**Figura 30:** Ufficio e distribuzione degli arredi (sopra) – griglia di analisi (sotto).

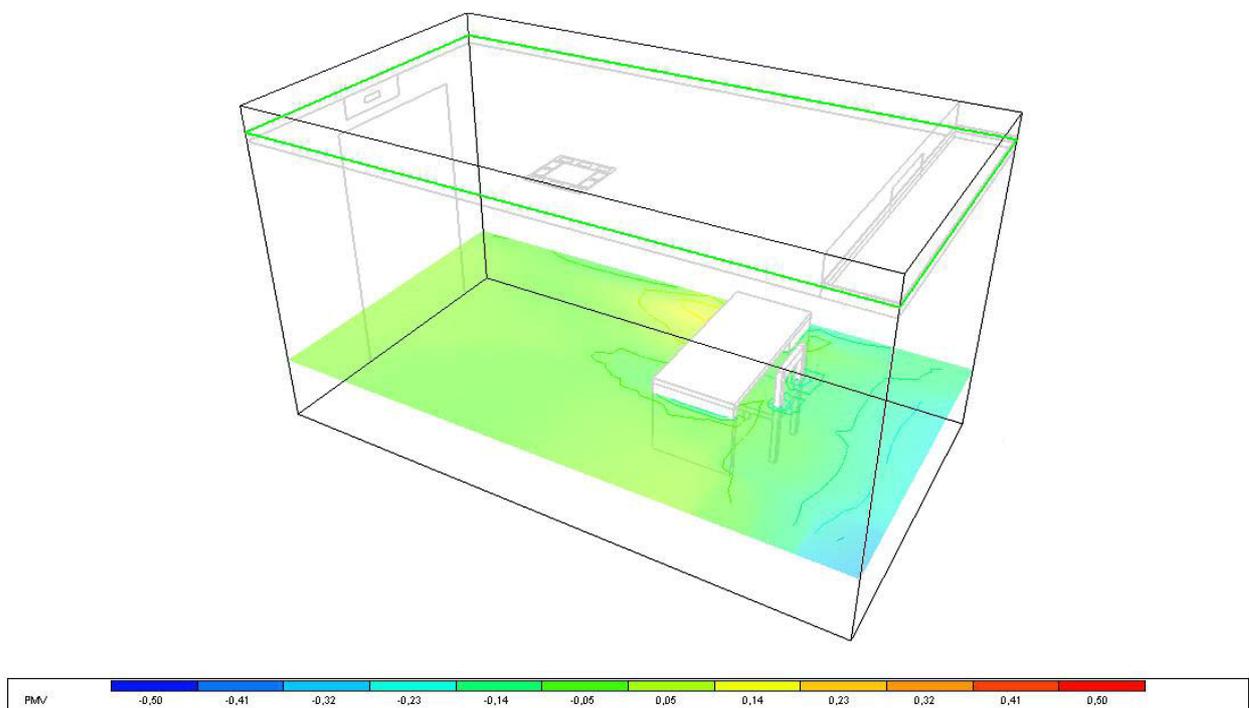
## REGIME INVERNALE

### Input

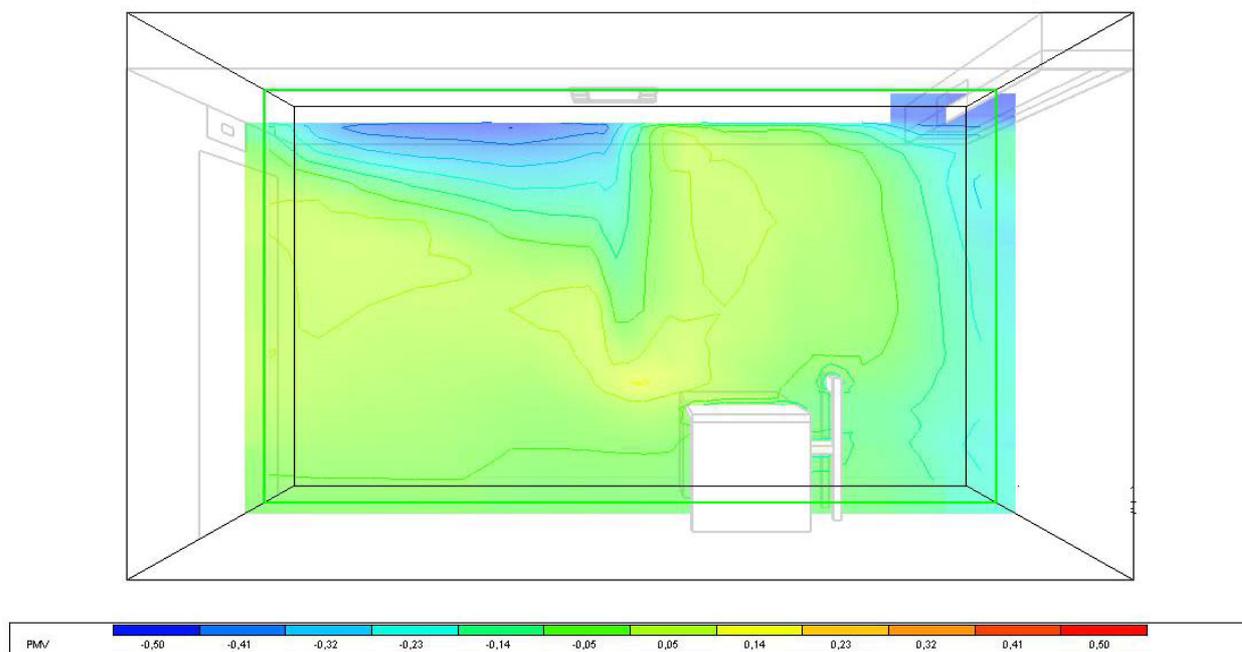
Temperatura superficiale pareti interne:	20,0 °C
Temperatura superficiale serramento:	14,0 °C
Temperatura superficiale soffitto:	19,3 °C
Temperatura superficiale pavimento:	20,0 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	20°C
Temperatura di immissione aria ventilconvettore:	35°C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	120 m <sup>3</sup> /h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	1 (abbigliamento invernale)
Umidità relativa:	50%

### Output

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni invernali più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate, varia fra -0,3 e 0,1. L'ambiente rientra quindi in Categoria B con PPD inferiore al 10%.



**Figura 31:** PMV regime invernale – sezione orizzontale sul piano di lavoro



*Figura 32: PMV regime invernale – sezione verticale in corrispondenza della postazione lavorativa*

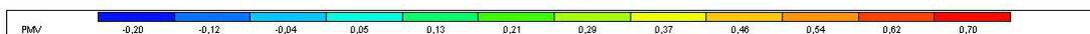
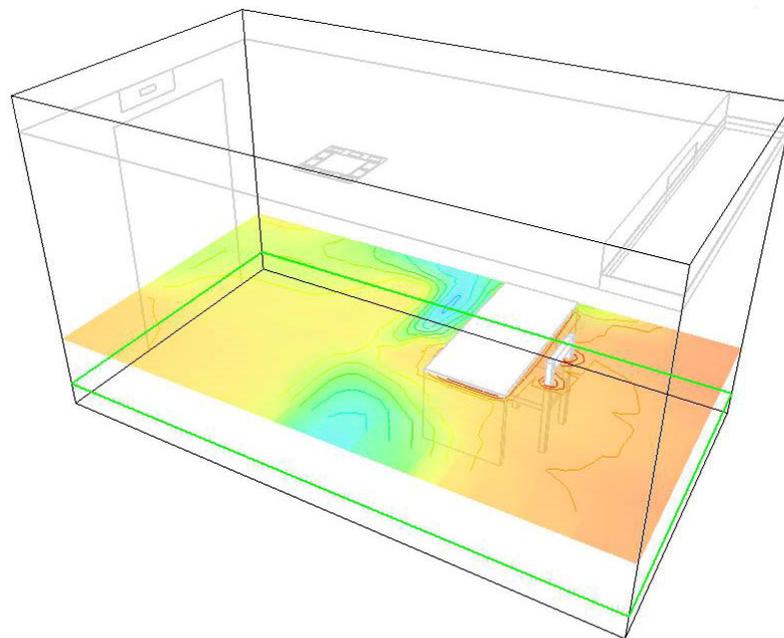
## REGIME ESTIVO

### Input

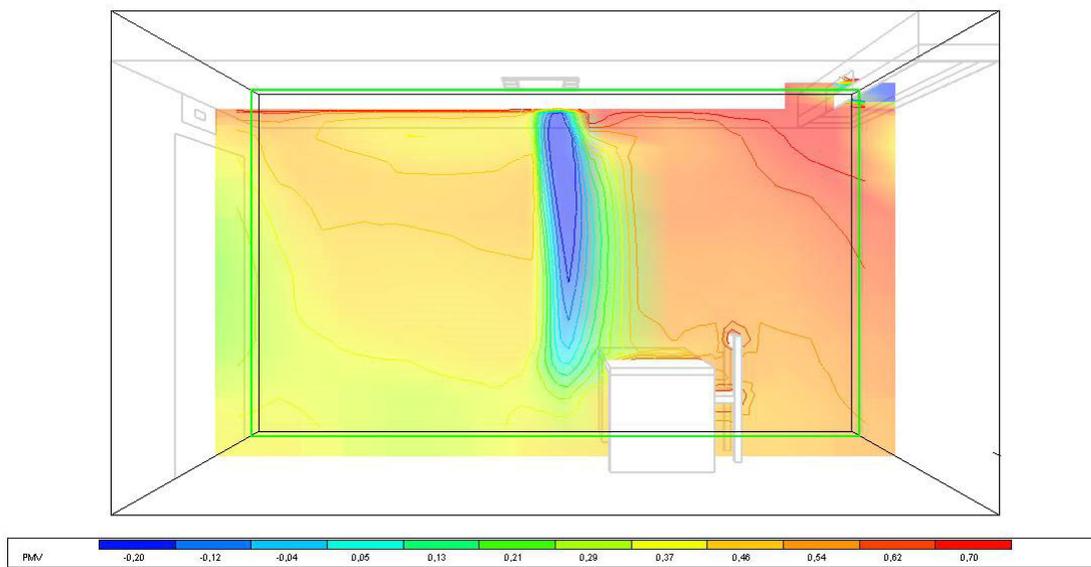
Temperatura superficiali pareti interne:	26,0 °C
Temperatura superficiale serramento:	28,1 °C
Temperatura superficiale soffitto:	27,3 °C
Temperatura superficiale pavimento:	26,0 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	26 °C
Temperatura di immissione aria ventilconvettore:	15 °C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	120 m <sup>3</sup> /h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	0,7 (abbigliamento estivo)
Umidità relativa:	50%

### Output

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni estive più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate varia fra 0 e + 0,5 rientrando quindi in Categoria B con indice PPD inferiore al 10%.



**Figura 33:** PMV regime estivo – sezione orizzontale sul piano di lavoro



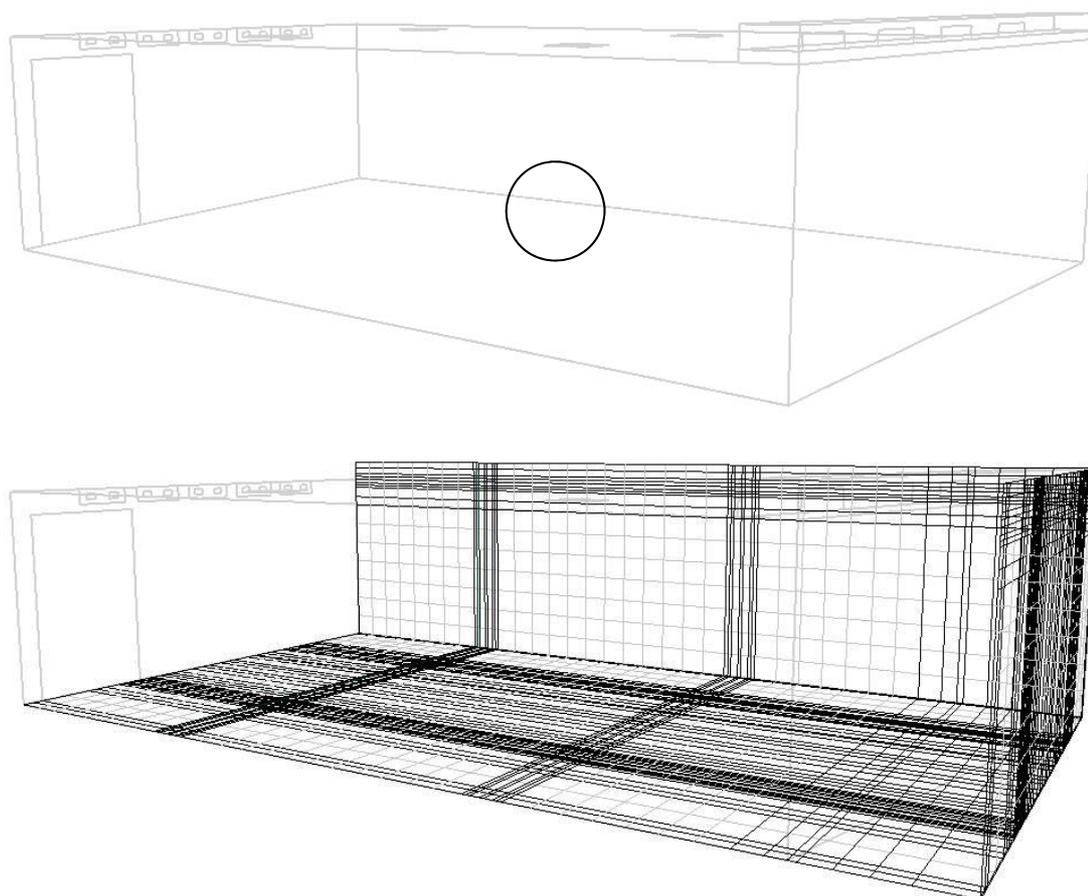
*Figura 34: PMV regime estivo – sezioni verticali in corrispondenza della postazione lavorativa*

**DE/PCC – Sala riunioni – n. 50**Descrizione Ambiente

La Sala Riunioni, collocata al piano primo della palazzina uffici DE e PCC, è un ambiente di circa 73 m<sup>2</sup>.

Il locale è climatizzato da un impianto costituito da quattro fancoil incassati nel controsoffitto con una portata di aria pari a 445 m<sup>3</sup>/h l'uno. Sono inoltre presenti cinque bocchette di mandata dell'aria di ventilazione e quattro di estrazione sulla parete opposta alla mandata verso la facciata continua vetrata. Dagli elaborati progettuali sono state desunte le portate di aria delle bocchette. 240 m<sup>3</sup>/h per tutte le bocchette, sia di mandata che di ripresa.

Due delle pareti perimetrali del locale e il soffitto confinano con l'esterno, una parete confina con un ambiente non climatizzato. Una parete e il pavimento sono considerati adiabatici.



**Figura 35:** Sala Riunioni (sopra) – griglia di analisi (sotto).

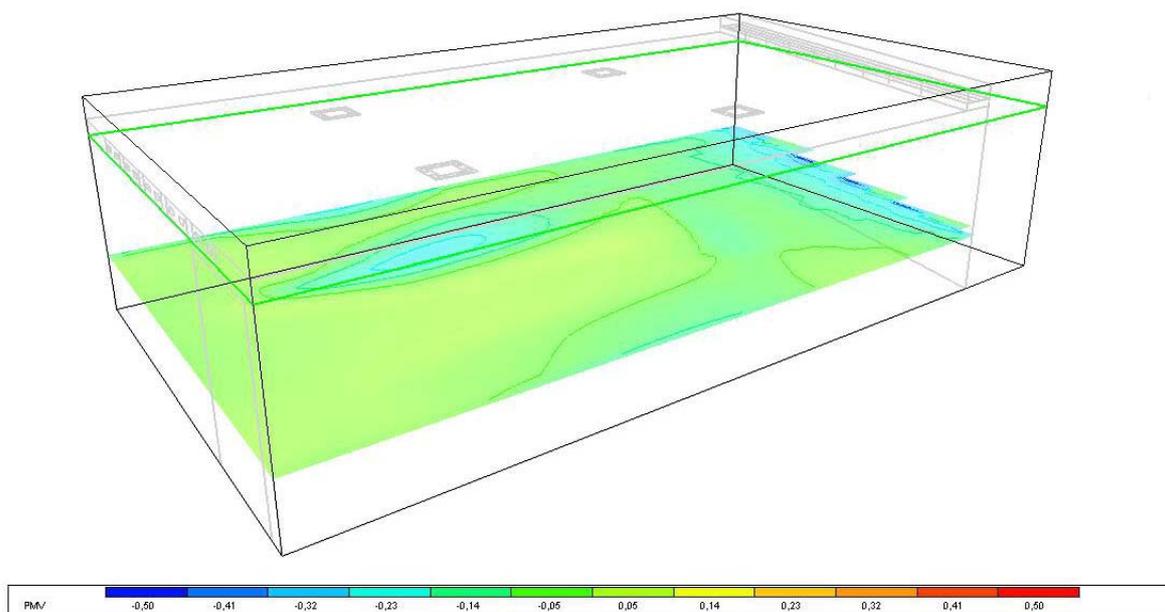
## REGIME INVERNALE

### Input

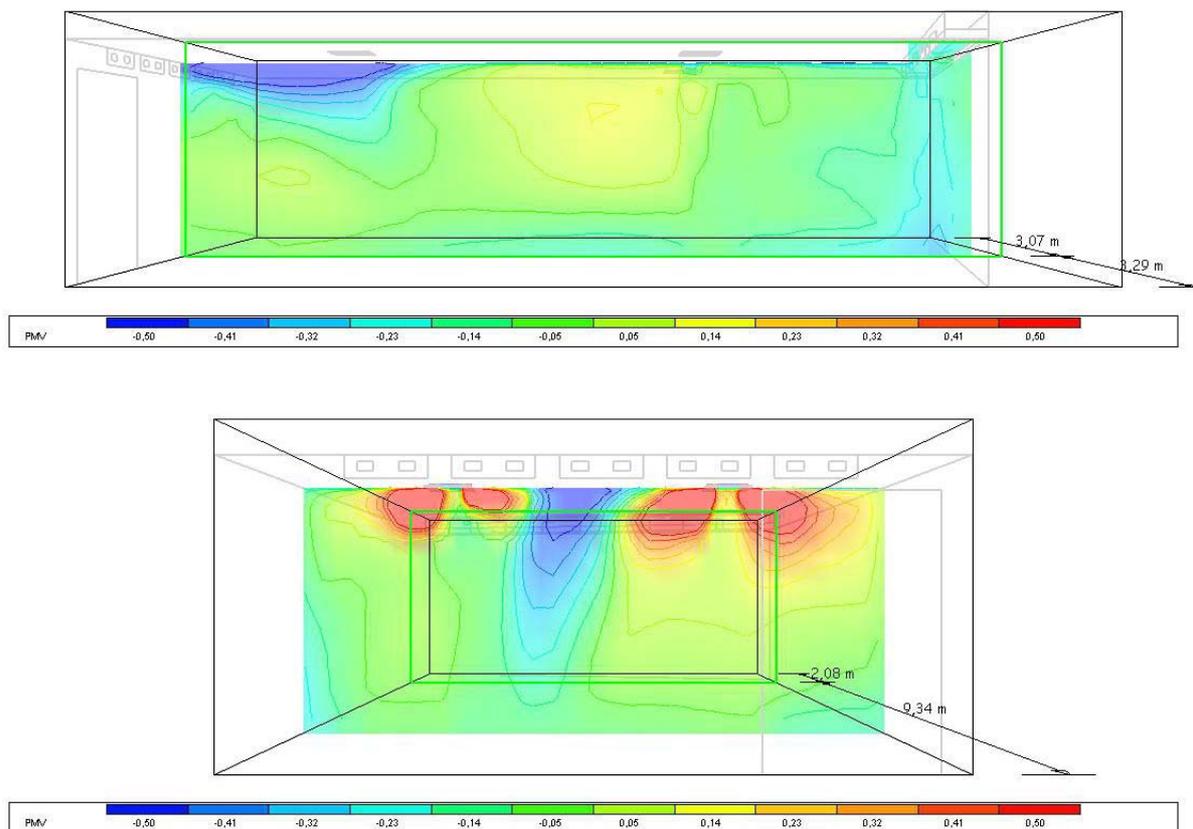
Temperatura superficiale pareti interne:	20,0 °C
Temperatura superficiale pareti confinanti con l'esterno:	19,4 °C
Temperatura superficiale serramento:	14,0 °C
Temperatura superficiale soffitto:	19,3 °C
Temperatura superficiale pavimento:	20,0 °C
Temperatura superficiale parete su locale tecnico non climatizzato:	19,7 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	20°C
Temperatura di immissione aria ventilconvettori:	35°C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	200 m <sup>3</sup> /h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	1 (abbigliamento invernale)
Umidità relativa:	50%

### Output

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni invernali più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate, varia fra -0,3 e 0,1. L'ambiente rientra quindi in Categoria B con PPD inferiore al 10%.



**Figura 36:** PMV regime invernale – sezione orizzontale



*Figure 37 e 38: PMV regime invernale – sezioni verticali*

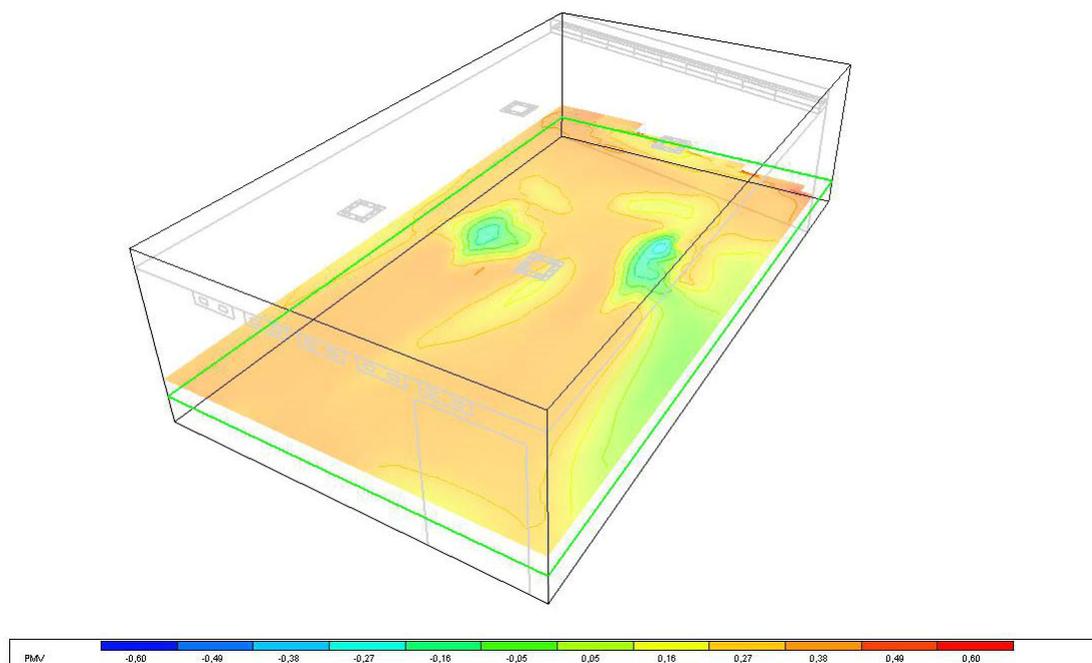
## REGIME ESTIVO

### Input

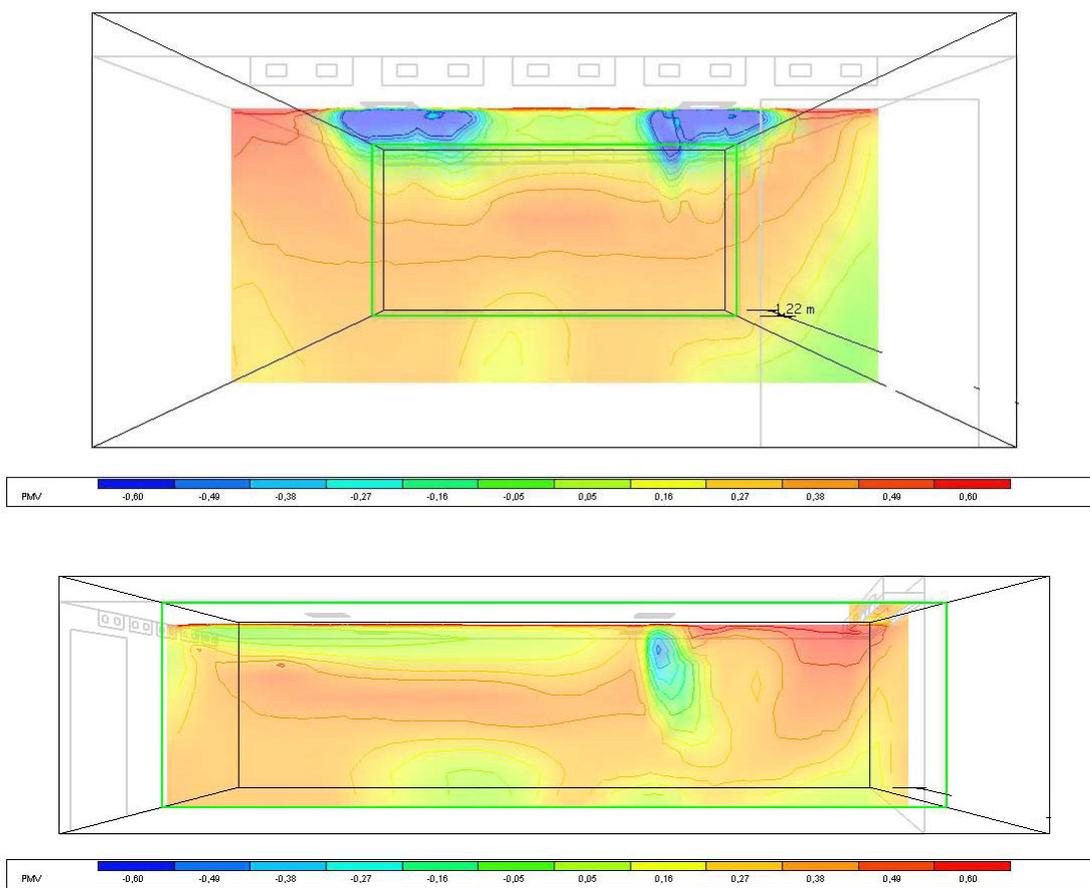
Temperatura superficiale pareti interne:	26,0 °C
Temperatura superficiale pareti confinanti con l'esterno:	26,4 °C
Temperatura superficiale serramento:	28,1 °C
Temperatura superficiale soffitto:	27,3 °C
Temperatura superficiale pavimento:	26,0 °C
Temperatura superficiale parete su locale tecnico non climatizzato:	26,1 °C
Temperatura di immissione aria (ventilazione):	26 °C
Temperatura di immissione aria ventilconvettori:	15 °C
Flusso d'aria immesso ed estratto dall'ambiente:	200 m <sup>3</sup> /h
MET:	1,2 (attività sedentaria)
CLO:	0,7 (abbigliamento estivo)
Umidità relativa:	50%

### Output

Dopo un numero di 1000 iterazioni, durante le condizioni estive più gravose, emerge che l'indice PMV, nelle zone occupate varia fra  $-0,4$  e  $+0,3$  rientrando quindi in Categoria B con indice PPD inferiore al 10%.



**Figura 39:** PMV regime estivo – sezione orizzontale



*Figure 40 e 41: PMV regime estivo – sezioni verticali*

## VERIFICA RISULTATI. Comfort globale

La simulazione CFD fornisce dati dettagliati di temperatura, comfort e flusso d'aria all'interno degli edifici. Il software utilizzato (Design Builder CFD) restituisce immagini tridimensionali costituite da vettori e gradienti di colore con scale di rappresentazione modulabili, che consentono di studiare fenomeni che si verificano a livello locale. Tale software è stato testato mediante un lavoro di convalida, effettuato dalla Northumbria University, Newcastle.

Si riportano di seguito i risultati puntuali per le posizioni evidenziata nelle figure 2, 7, 12, 19, 24, 30 e 35, al fine di poter verificare i risultati della simulazione, secondo quanto previsto dall'appendice D della norma UNI EN ISO 7730:2006. I valori sono tratti dalle sezioni ricavate ad un'altezza di 1,1 metri. Dove non sono presenti postazioni lavorative, i dati sono stati rilevati al centro del locale.

Si specifica che i valori riportati nella tabella nelle colonne 2, 3 e 4 (temperatura aria, temperatura media radiante e velocità dell'aria) sono ricavati dalle immagini di output del software. Nelle colonne 5, 6 e 7 (UR, MET e CLO) sono riportati i valori di progetto impostati. Il calcolo dei valori di PMV e PPD è effettuato mediante programma conforme all'Annex D della norma UNI EN ISO 7730. Risulta quindi verificata la corrispondenza fra i valori calcolati e gli output del software CFD utilizzato.

### Regime invernale

Locale	temperatura aria (°C)	temperatura media radiante (°C)	velocità dell'aria (m/s)	umidità relativa (%)	MET	CLO	PMV	PPD	Classe
OK Gol n.1	22,8	18,7	0,06	50	1,2	1	-0,1	5,2	A
OK Gol n.4	22,5	18,4	0,10	50	1,2	1	-0,2	5,9	A
OK Gol n.19	23,8	18,9	0,05	50	1,2	1	0,1	5,1	A
DE/PCC n.7	23,4	19,2	0,04	50	1,2	1	0,0	5,0	A
DE/PCC n.14	22,6	19,6	0,03	50	1,2	1	0,0	5,0	A
DE/PCC n.35	22,7	18,4	0,10	50	1,2	1	-0,2	5,6	A
DE/PCC n.50	23,4	19,6	0,12	50	1,2	1	0,0	5,0	A

## Regime estivo

Locale	temperatura aria (°C)	temperatura media radiante (°C)	velocità dell'aria (m/s)	umidità relativa (%)	MET	CLO	PMV	PPD	Classe
OK Gol n.1	23,2	26,4	0,09	50	1,2	0,7	0,3	7,5	B
OK Gol n.4	24,1	26,4	0,08	50	1,2	0,7	0,5	9,9	B
OK Gol n.19	22,6	26,3	0,10	50	1,2	0,7	0,2	6,2	B
DE/PCC n.7	22,7	26,1	0,09	50	1,2	0,7	0,2	6,1	B
DE/PCC n.14	23,3	25,9	0,07	50	1,2	0,7	0,3	6,9	B
DE/PCC n.35	24,2	26,5	0,10	50	1,2	0,7	0,5	9,9	B
DE/PCC n.50	23,1	26,5	0,08	50	1,2	0,7	0,3	7,5	B

#### 4. Risultati. Discomfort locale

Per i diversi ambienti sono state inoltre valutate le principali cause di discomfort locale. Si riportano i calcoli effettuati per le posizioni evidenziate nelle figure 2, 7, 12, 19, 25 e 30.

Si specifica che i valori riportati nella tabella sono ricavati dalle immagini di output del software o, nel caso delle temperature superficiali, dai valori di input impostati. Il calcolo della percentuale di insoddisfatti è effettuato mediante le formule definite dalla norma UNI EN ISO 7730.

- differenza verticale di temperatura;

La differenza verticale di temperatura (differenza tra testa e caviglie) è risultata sempre inferiore ai 2 °C per tutti i locali analizzati, sia nelle condizioni invernali che in quelle estive. La percentuale di insoddisfatti (PD%) risulta quindi inferiore al 3% (CLASSE A).

##### Regime invernale

Locale	temperatura 0,1 m (°C)	temperatura 1,1 m (°C)	$\Delta T$	PD%
OK Goal - n1	21,7	22,8	1,1	0,8
OK Gol - n.4	21,0	22,5	1,5	1,1
OK Gol - n.19	23,0	23,8	0,8	0,6
DE/PCC - n.7	21,9	23,4	1,5	1,1
DE/PCC - n.14	21,5	22,6	1,1	0,8
DE/PCC - n.35	20,9	22,7	1,8	1,4
DE/PCC - n.50	22,7	23,4	0,7	0,6

##### Regime estivo

Locale	temperatura 0,1 m (°C)	temperatura 1,1 m (°C)	$\Delta T$	PD%
OK GOAL - n1	22,7	23,2	0,5	0,5
OK Gol - n.4	23,9	24,1	0,2	0,4
OK Gol - n.19	22,9	22,6	0,3	0,4
DE/PCC - n.7	22,6	22,7	0,1	0,3
DE/PCC - n.14	23,1	23,3	0,2	0,4
DE/PCC - n.35	24	24,2	0,2	0,4
DE/PCC - n.50	22,9	23,1	0,2	0,4

- pavimento con temperatura eccessivamente bassa o alta

I valori di temperatura superficiale considerati per il pavimento, nelle condizioni invernali ed estive più gravose, consentono di far rientrare i diversi ambienti nella categorie B e C di comfort in quanto la percentuale di insoddisfatti risulta prossima al 10% o inferiore.

#### Regime invernale

Locale	Temperatura pavimento (°C)	PD%
OK Goal - n1	18,8	10,2
OK Gol - n.4	18,8	10,2
OK Gol - n.19	18,8	10,2
DE/PCC - n.7	18,8	10,2
DE/PCC - n.14	18,8	10,2
DE/PCC - n.35	20	7,9
DE/PCC - n.50	20	7,9

#### Regime estivo

Locale	Temperatura pavimento (°C)	PD%
OK Goal - n1	25,8	6,0
OK Gol - n.4	25,8	6,0
OK Gol - n.19	25,8	6,0
DE/PCC - n.7	25,8	6,0
DE/PCC - n.14	25,8	6,0
DE/PCC - n.35	26	6,2
DE/PCC - n.50	26	6,2

- correnti d'aria.

I valori di velocità dell'aria (m/s) in prossimità delle postazioni di lavoro sono contenuti e sempre inferiori a 0,2 m/s. Non si evidenziano, di conseguenza, cause di discomfort locale legate a correnti d'aria. La percentuale di insoddisfatti risulta sempre inferiore al 10% (CLASSE A).

#### Regime invernale

Locale	temperatura aria (°C)	velocità aria (m/s)	intensità di turbolenza (%)	PD%
OK Goal - n1	22,8	0,06	40%	2,0
OK Gol - n.4	22,5	0,1	40%	5,7
OK Gol - n.19	23,8	0,05	40%	0,0
DE/PCC - n.7	23,4	0,04	40%	0,0
DE/PCC - n.14	22,6	0,03	40%	0,0
DE/PCC - n.35	22,7	0,1	40%	5,6
DE/PCC - n.50	23,4	0,12	40%	6,4

#### Regime estivo

Locale	temperatura aria (°C)	velocità aria (m/s)	intensità di turbolenza (%)	PD%
OK Goal - n1	23,2	0,09	40%	4,6
OK Gol - n.4	24,1	0,08	40%	3,5
OK Gol - n.19	22,6	0,1	40%	5,6
DE/PCC - n.7	22,7	0,09	40%	4,8
DE/PCC - n.14	23,3	0,07	40%	3,0
DE/PCC - n.35	24,2	0,1	40%	4,8
DE/PCC - n.50	23,2	0,08	40%	3,9

- asimmetria della temperatura media radiante;

Le persone sono maggiormente sensibili all'asimmetria radiante causata da soffitti caldi o pareti e finestre fredde. I valori di temperatura superficiale di soffitti e serramenti considerati per le simulazioni, consentono di escludere la presenza di cause di discomfort locale legato ad asimmetria radiante. In tabella sono riportate le percentuali di insoddisfatti massime calcolate che risultano sempre inferiori al 5%.

#### Regime invernale

Locale	Temperatura pareti (°C)	Tipo di calcolo	PD%
OK Gol n.1	T parete frontale: 19,4 T parete posteriore: 20,0 T parete destra: 14,0 T parete sinistra: 19,7 T soffitto: 19,3 T pavimento: 18,8	parete fredda	0,9
OK Gol n.4	T parete frontale: 20,0 T parete posteriore: 14,0 T parete destra: 20,0 T parete sinistra: 20,0 T soffitto: 19,3 T pavimento: 18,8	parete fredda	1,1
OK Gol n.19	T parete frontale: 20,0 T parete posteriore: 20,0 T parete destra: 20,0 T parete sinistra: 20,0 T soffitto: 15,7 T pavimento: 18,8	Soffitto freddo	0,1
DE/PCC n.7	T parete frontale: 20,0 T parete posteriore: 20,0 T parete destra: 14,0 T parete sinistra: 20,0 T soffitto: 20,0 T pavimento: 18,8	parete fredda	1,1
DE/PCC n.14	T parete frontale: 20,0 T parete posteriore: 20,0 T parete destra: 20,0 T parete sinistra: 20,0 T soffitto: 20,0 T pavimento: 18,8	-	-
DE/PCC n.35	T parete frontale: 20,0 T parete posteriore: 14,0 T parete destra: 20,0 T parete sinistra: 20,0 T soffitto: 19,3 T pavimento: 20,0	parete fredda	1,1
DE/PCC n.50	T parete frontale: 14,0 T parete posteriore: 20,0 T parete destra: 19,7 T parete sinistra: 19,4 T soffitto: 19,3 T pavimento: 20,0	parete fredda	1,1

## Regime estivo

Locale	Temperatura pareti (°C)	Tipo di calcolo	PD%
OK Gol n.1	T parete frontale: 26,4 T parete posteriore: 26,0 T parete destra: 28,1 T parete sinistra: 26,1 T soffitto: 27,3 T pavimento: 25,8	soffitto caldo	1,55
OK Gol n.4	T parete frontale: 26,0 T parete posteriore: 28,1 T parete destra: 26,0 T parete sinistra: 26,0 T soffitto: 27,3 T pavimento: 25,8	soffitto caldo	1,55
OK Gol n.19	T parete frontale: 26,0 T parete posteriore: 26,0 T parete destra: 26,0 T parete sinistra: 26,0 T soffitto: 29,0 T pavimento: 25,8	soffitto caldo	3,75
DE/PCC n.7	T parete frontale: 26,0 T parete posteriore: 26,0 T parete destra: 28,1 T parete sinistra: 26,0 T soffitto: 26,0 T pavimento: 25,8	parete calda	0
DE/PCC n.14	T parete frontale: 26,0 T parete posteriore: 26,0 T parete destra: 26,0 T parete sinistra: 26,0 T soffitto: 26,0 T pavimento: 25,8	-	-
DE/PCC n.35	T parete frontale: 26,0 T parete posteriore: 28,1 T parete destra: 26,0 T parete sinistra: 26,0 T soffitto: 27,3 T pavimento: 26,0	soffitto caldo	1,33
DE/PCC n.50	T parete frontale: 28,1 T parete posteriore: 26,0 T parete destra: 26,1 T parete sinistra: 26,4 T soffitto: 27,3 T pavimento: 26,0	soffitto caldo	1,33

## 5. CONCLUSIONI

Le analisi effettuate a campione su alcuni ambienti rappresentativi, consentono di esprimere un giudizio sul comfort termico della palazzina uffici dell'autoporto di Susa.

Per tutti gli ambienti è garantito, come minimo, il raggiungimento della classe B di comfort termico secondo la norma ISO 7730:2006 in termini di comfort globale (indici PMV e PPD). Il risultato soddisfa dunque le richieste dei Criteri Ambientali Minimi (D.M. 11 ottobre 2017).

L'analisi condotta non ha evidenziato, inoltre, la presenza di particolari cause di discomfort locale.