

**DIREZIONE OPERE PUBBLICHE**

COMMITTENTE		COMUNE					
<b>SCR Piemonte</b>		<b>Città di TORINO</b>					
LIVELLO PROGETTUALE							
<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b>							
CUP		TITOLO INTERVENTO					
<b>C14E21001220001</b>		<b>TORINO, IL SUO PARCO, IL SUO FIUME: MEMORIA E FUTURO” REALIZZAZIONE DELLA BIBLIOTECA CIVICA E RIQUALIFICAZIONE DEL TEATRO NUOVO</b>					
CODICE OPERA							
<b>22044D02</b>							
ELABORATO N.		TITOLO ELABORATO					
<b>001</b>		<b>RELAZIONE SUL COMFORT DELL'AMBIENTE INTERNO</b>					
DATA		SCALA	AREA PROGETTUALE				
settembre 2022		-	<b>RELAZIONI TECNICHE E SPECIALISTICHE</b>				
FORMATO DI STAMPA		CODICE GENERALE ELABORATO		NOME FILE			
A4		<b>22044D02_1_0_P_QI_00_CZ_001_0</b>		22044D02_1_0_P_QI_00_CZ_001_0.dwg			
VERSIONE	DATA	DESCRIZIONE			DIS.	CONTR.	APPR.
r00	settembre 2022	Prima emissione			BNV	BNF	LCN
RTP PROGETTAZIONE				TIMBRI - FIRME			
<b>RAFAEL MONEO</b> Arch. Rafael Moneo (mandante) Calle Cinca 5 - 28002 Madrid (Spagna)  <b>Isolarchitetti S.r.l.</b> (mandante) Via Mazzini, 33 - 10123 Torino  <b>ICIS S.r.l.</b> (mandataria) Corso Einaudi, 8 - 10128 Torino <b>Ing. Quirico</b> Ing. Giovanni Battista Quirico (mandante) Corso Giovanni Lanza, 58 - 10131 Torino  <b>MCM Ingegneria</b> (mandante) Vicolo Vincenzo Monti, 8, 10095 Grugliasco (TO)  <b>Onleco Srl</b> (mandante) Via Pigafetta, 3 - 10129 Torino				Direttore Tecnico: <b>Ing. Giuseppe Bonfante (ONLECO Srl)</b>  Professionista: <b>Ing. G. Bonfante, Dott.ssa C. Bonvicini, Ing. M. Fresia (ONLECO Srl)</b> Integrazione prestazioni specialistiche: <b>Ing. Luciano Luciani (ICIS Srl)</b>			
ORGANISMO DI CONTROLLO				SCR PIEMONTE S.p.A.			
<b>CONTECO S.p.A.</b> Responsabile di Commessa: <b>Ing. Daniele Baldi</b>				Responsabile del Procedimento: <b>Arch. Sergio Manto</b>			

## Sommario

1	PREMESSA .....	2
2	DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....	3
3	ILLUMINAMENTO NATURALE.....	8
3.1	Metriche utilizzate e valori di riferimento.....	8
3.1.1	Legislazione e normativa tecnica .....	8
3.1.2	Metriche dinamiche.....	9
3.2	Individuazione degli ambienti oggetto di verifica.....	10
3.3	Software di simulazione .....	13
3.3.1	Modello 3D.....	13
3.3.2	Modellazione della variazione dinamica del contesto climatico nel corso dell'anno.....	15
3.3.3	Griglia dei punti di misura.....	15
3.3.4	Materiali .....	16
3.3.5	Parametri di simulazione .....	17
3.3.6	Profilo di utilizzo.....	17
3.4	Risultati dei calcoli.....	18
3.5	Conclusioni.....	24
4	COMFORT TERMO-IGROMETRICO.....	25
4.1	Metriche utilizzate e valori di riferimento.....	25
4.2	Individuazione degli ambienti oggetto di verifica.....	27
4.3	Software di simulazione .....	29
4.3.1	Design Builder.....	29
4.3.2	Vento AEC .....	29
4.3.3	Definizione delle condizioni al contorno.....	29
4.4	Risultati dei calcoli: software Design Builder.....	35
4.4.1	AMBIENTE A: piano interrato – Laboratorio.....	35
4.4.2	AMBIENTE C: piano terra – Biblioteca e sale approfondimenti tematici.....	37
4.4.3	AMBIENTE D: piano terra– Sala incontri tematici .....	40
4.4.4	AMBIENTE F: piano primo – uffici.....	43
4.5	Risultati dei calcoli: software Vento AEC .....	47
4.5.1	AMBIENTE B: piano interrato – Biblioteca.....	47
4.5.2	AMBIENTE E: piano terra e primo – Biblioteca.....	52
4.6	Conclusioni.....	60

## 1 PREMESSA

La presente relazione tratta dei temi del comfort dell'ambiente interno riferiti alla porzione del complesso SOTTASS-NERVI destinata ad ospitare la *Biblioteca Civica Centrale di Torino* localizzata all'interno del complesso TORINO ESPOSIZIONI.

Tali valutazioni hanno una duplice utilità, in quanto oltre a permettere di valutare i livelli di comfort che caratterizzeranno l'edificio a seguito dell'intervento di riqualificazione, permettono di verificare il rispetto dei requisiti prestazionali introdotti dalla normativa nazionale.

In merito si specifica infatti come l'edificio in esame, essendo di proprietà pubblica, ricada nel campo d'azione del *D.M. 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.” pubblicato in *Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.259 del 06-11-2017*. Con riferimento a tale *Decreto* sono stati analizzati i seguenti requisiti di comfort abitativo:

- **2.3.5.1 Illuminamento naturale:** all'interno dei locali regolarmente occupati il decreto richiede che il valore del fattore medio di luce diurna (FLDm) risulti maggiore del 2%. Per il caso in esame è possibile tuttavia prevedere una deroga al rispetto di tale requisito, in quanto l'edificio risulta sottoposto a tutela architettonica dei beni architettonici dal *Decreto Legislativo 42/2004*. Per la verifica si è adottato il valore dell'1% facendo riferimento a quanto richiesto per i locali destinati ad uso ufficio dai disposti normativi *Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975* e *Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 22 novembre 1974, n.13011*;
- **2.3.5.6 Comfort acustico:** risulta necessario che:
  - o i valori dei requisiti acustici passivi dell'edificio corrispondano almeno a quelli della *classe II* ai sensi della norma *UNI 11367* e siano altresì rispettati i valori caratterizzati come *prestazione buona* nel *Prospetto B.1* dell'*Appendice B* alla norma *UNI 11367*;
  - o gli ambienti interni siano idonei al raggiungimento dei valori indicati per i descrittori acustici riportati nella norma *UNI 11532*;
- **2.3.5.7 Comfort termo-igrometrico:** le condizioni di comfort interne devono essere conformi almeno alla *classe B* secondo la norma *UNI EN ISO 7730:2006* in termini di *PMV* (Voto medio previsto) e di *PPD* (Percentuale prevista di insoddisfatti) ed è necessario garantire la conformità ai requisiti previsti nella norma *UNI EN 13788* ai sensi del *Decreto Ministeriale 26 giugno 2015*.

All'interno del presente elaborato in particolare si riportano i risultati delle analisi svolte per la verifica dei requisiti di comfort termo-igrometrico e di quelli connessi all'illuminazione naturale caratterizzanti l'edificio, mentre per quanto attiene il comfort acustico si rimanda alla relazione specifica “*Valutazione previsionale di rispetto dei requisiti acustici passivi e del comfort*”.

Prima di procedere oltre nella trattazione dei temi sopracitati, si evidenzia come l'edificio in esame ricada nell'ambito della disciplina della parte seconda e dell'articolo 136, comma 1, lettere b) e c), del *D.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42*, recante il *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio*. Tale vincolo sostanzialmente impedisce la realizzazione di quegli interventi che andrebbero a compromettere il carattere storico ed architettonico del fabbricato, permettendo inoltre in alcuni casi di derogare la verifica dei valori prestazionali richiesti dalla normativa vigente (cfr. quanto sopra indicato per la verifica del FLDm).

L'Appaltatore con la sua offerta assume l'impegno a rispettare le prestazioni di cui al presente elaborato, tenendo in considerazione tutte le indicazioni e i vincoli contenuti nel progetto a base di gara. Le attività conseguenti sono parte integrante della prestazione di progettazione esecutiva e di esecuzione dei lavori e come tali **sono da intendersi comprese nel prezzo contrattuale**.

## 2 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto consiste nella riqualificazione di una parte degli edifici che costituiscono il *Complesso di Torino Esposizioni*. L'intervento in seguito descritto si propone come operazione rigeneratrice di straordinaria importanza e riguarda i padiglioni denominati 2 - *Nervi*, 2b – *Sottsass* e 4. In Figura 1 si riporta una vista aerea del complesso, con indicazione, in verde, della porzione oggetto di intervento.



Figura 1– Vista aerea del Complesso con indicazione, in verde, degli edifici oggetto di intervento.

Come anticipato in premessa, i padiglioni riqualificati saranno destinati ad ospitare la nuova *Biblioteca Civica Centrale* e altri spazi per la Città. In particolare:

- il *padiglione 2 – Nervi* è costituito dal grande salone centrale (denominato in seguito *navata centrale*) che si sviluppa al piano terreno e al piano primo con grandi *balconate* laterali. Alle superfici dello stato di fatto ne verranno aggiunte di nuove ipogee, ottenute scavando un nuovo piano interrato. Questo padiglione sarà destinato interamente a spazi per la Biblioteca;
- il *padiglione 2b - Sottsass*, è costituito dall'*avancorpo* del grande salone su corso Massimo D'Azeglio che si sviluppa sui livelli terreno e primo. Questo padiglione sarà destinato al piano terra a caffetteria/bookshop, accoglienza utenti, spazio dedicato alla Città, sala conferenze e servizi, mentre al primo piano a uffici della biblioteca e altre funzioni cittadine;
- il *padiglione 4* è costituito da una parte ipogea a circa -6,00 m dall'abside semicircolare rivolta verso il fiume. Questo padiglione sarà destinato a magazzini della biblioteca e attività ricreative.

In Figura 2 si riporta la vista assonometrica dei padiglioni oggetto di intervento con la distribuzione delle funzioni previste a progetto.

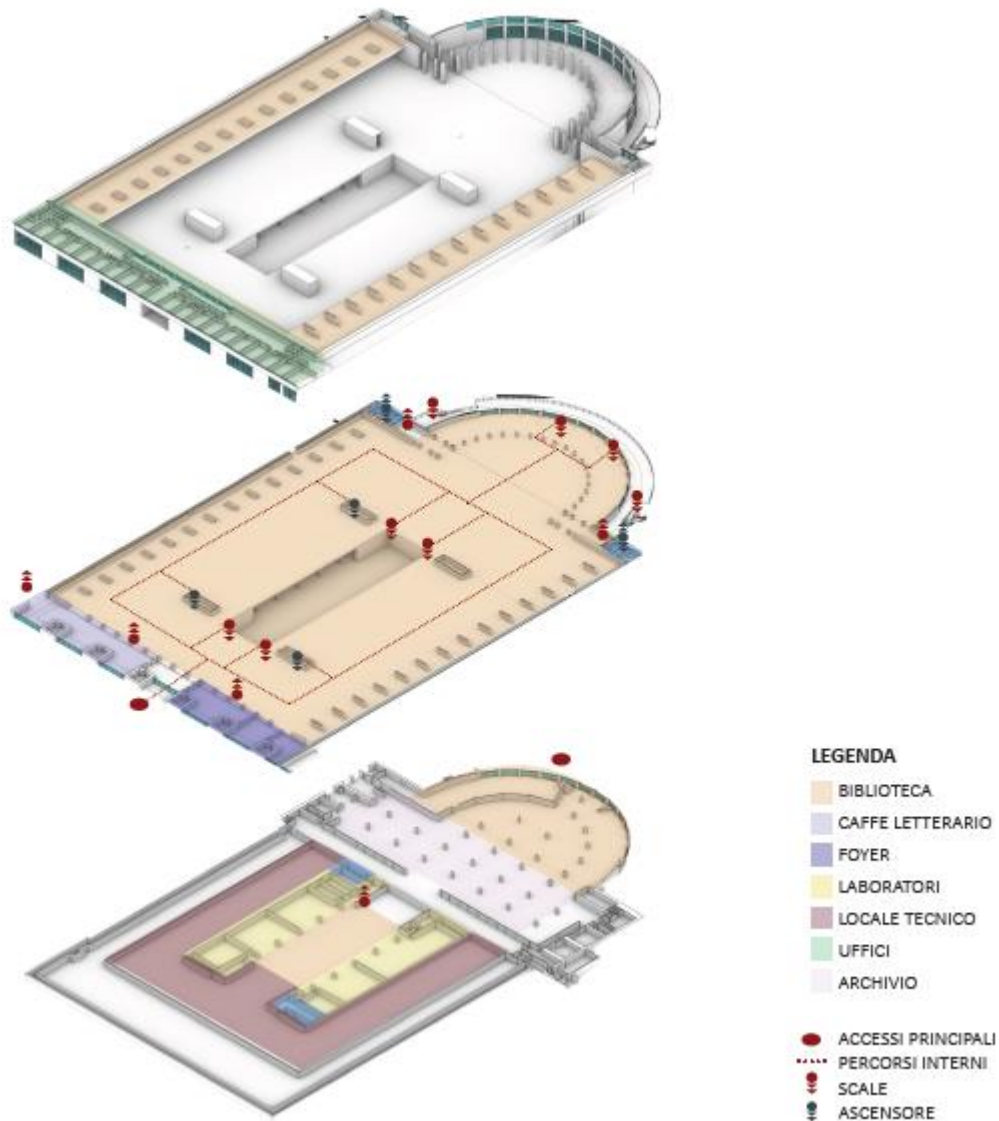


Figura 2– Stato di progetto. Assonometria delle funzioni.

In Figura 3, Figura 4 e Figura 5 si riportano le piante del piano interrato, terra e primo dei padiglioni oggetto di intervento, con indicazione del layout distributivo di progetto, mentre in Figura 6 e Figura 7 si riportano la sezione trasversale e longitudinale. In Figura 8 e Figura 9 si riportano alcune viste renderizzate degli ambienti interni in progetto.

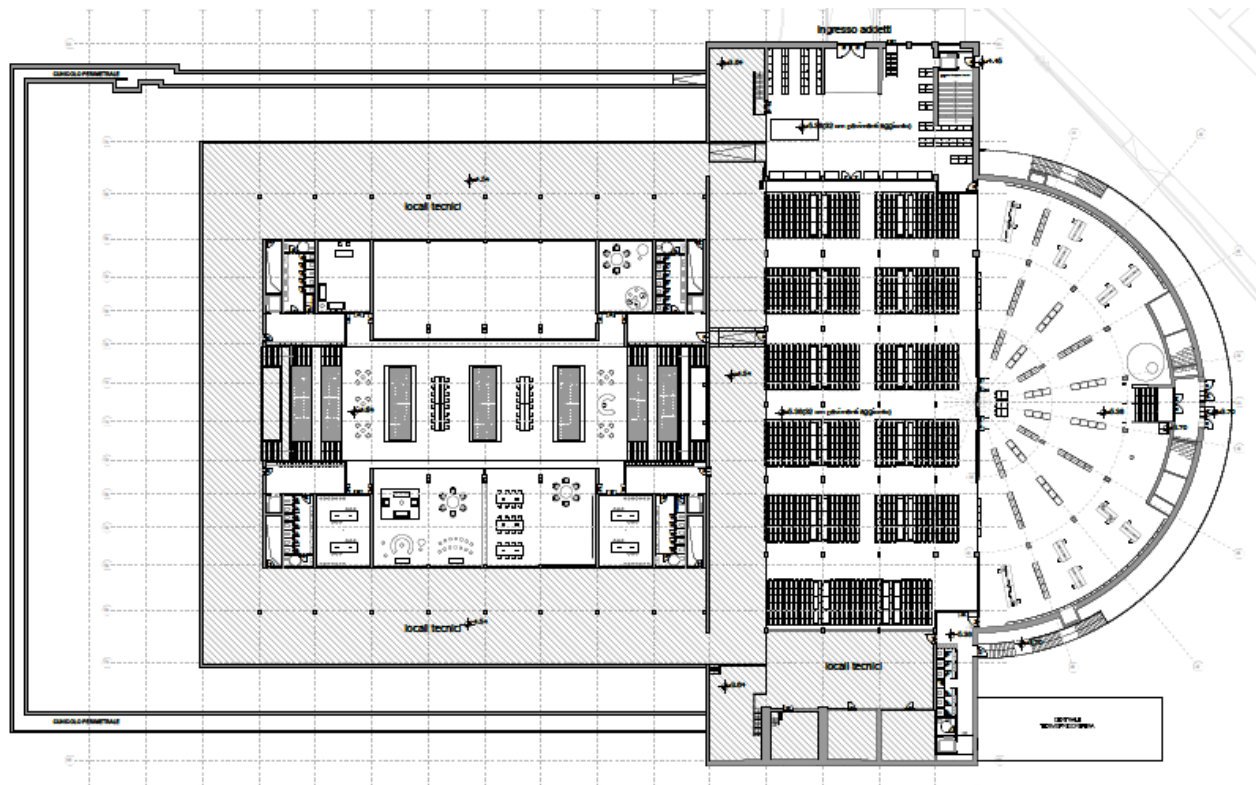


Figura 3– Stato di progetto. Pianta piano interrato.

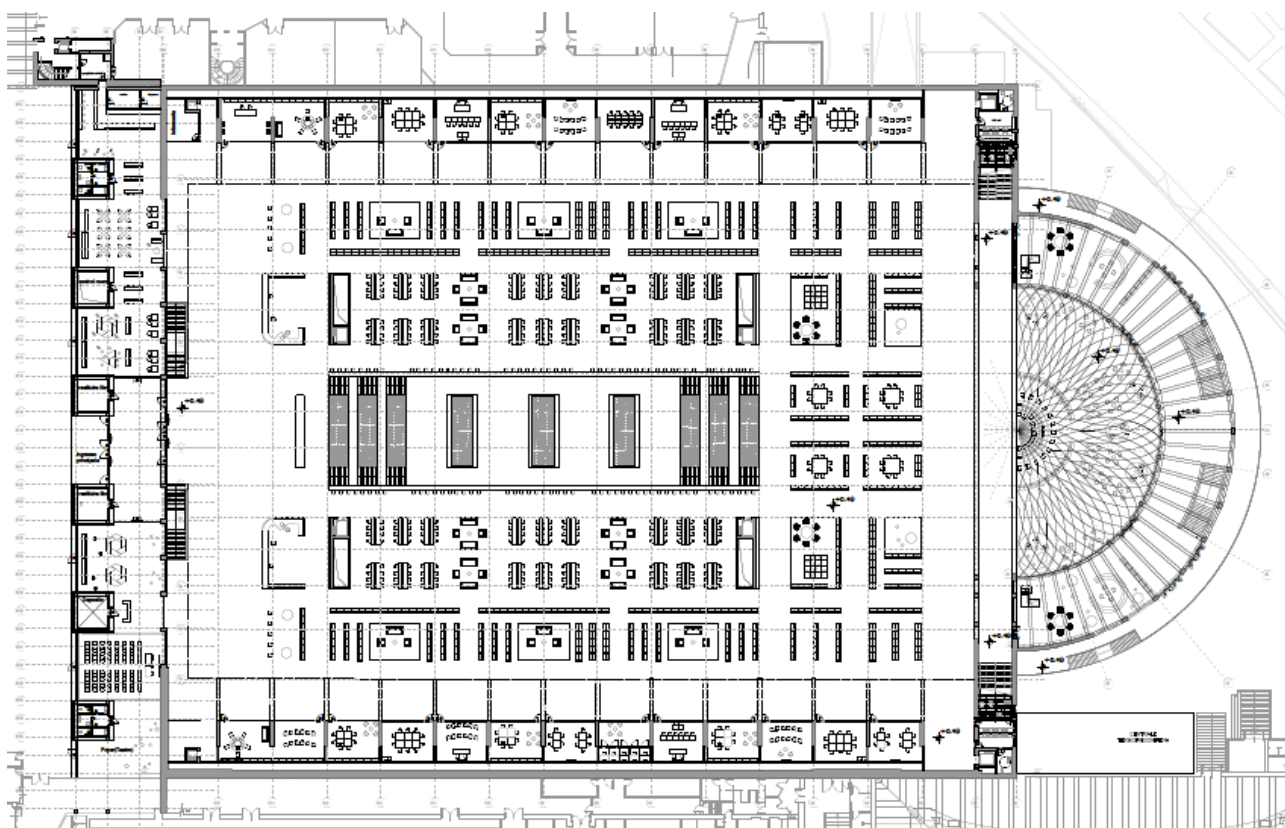


Figura 4– Stato di progetto. Pianta piano terra.

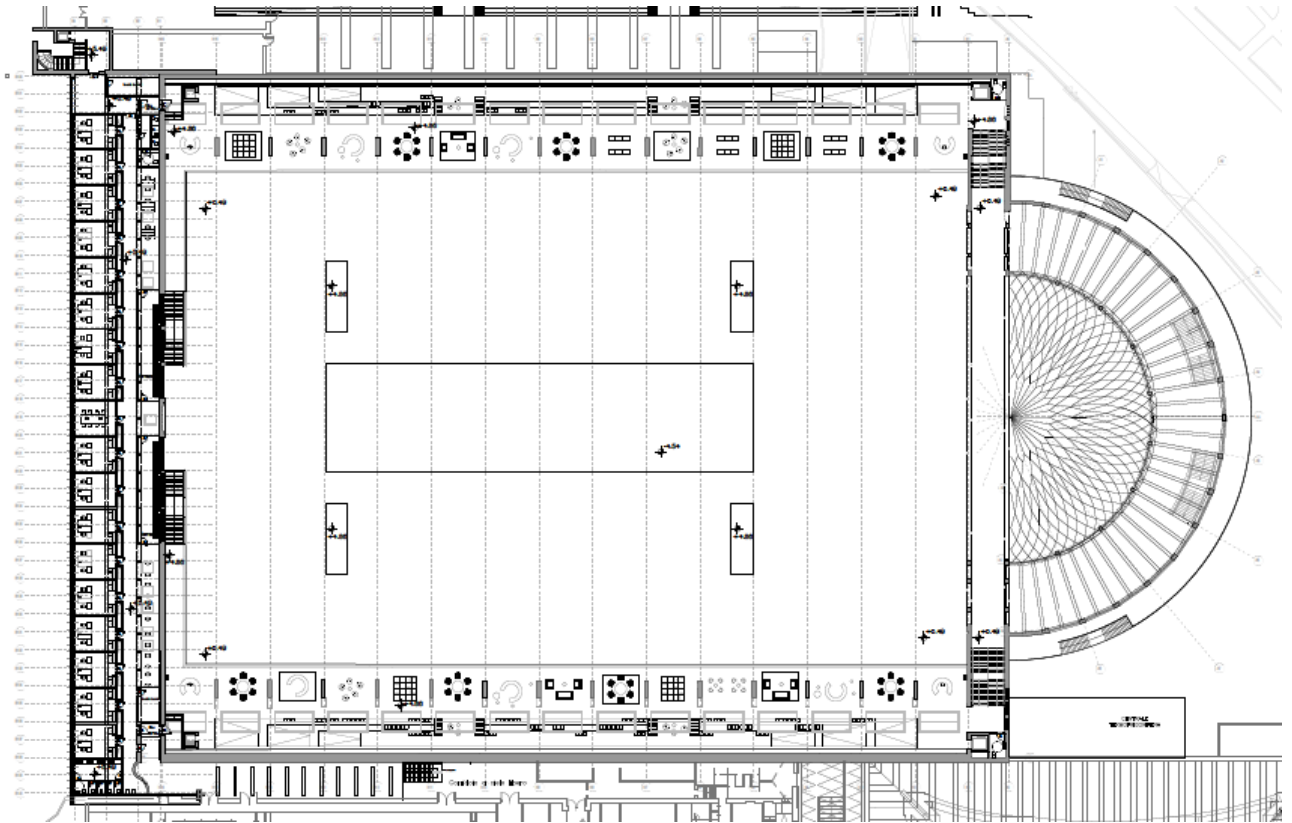


Figura 5– Stato di progetto. Pianta piano primo.

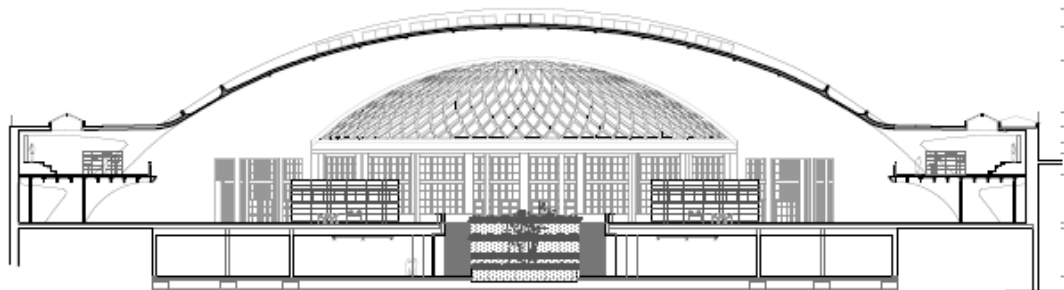


Figura 6– Stato di progetto. Sezione trasversale.

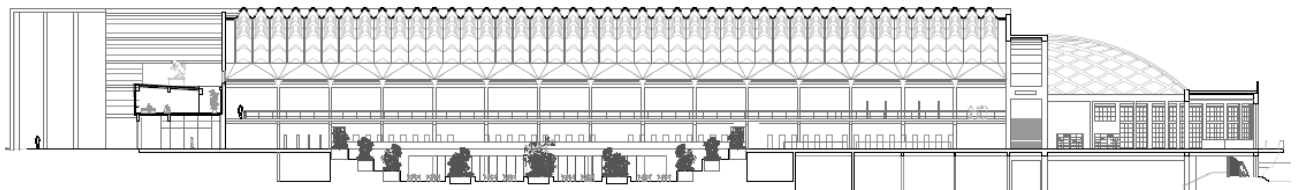


Figura 7– Stato di progetto. Sezione longitudinale.



*Figura 8– Stato di progetto. Vista degli ambienti interni.*



*Figura 9– Stato di progetto. Vista degli ambienti interni.*



### 3 ILLUMINAMENTO NATURALE

#### 3.1 Metriche utilizzate e valori di riferimento

##### 3.1.1 Legislazione e normativa tecnica

Il presente capitolo descrive le analisi della disponibilità di illuminazione naturale (*daylighting*) attraverso la metrica del *fattore di luce diurna medio (FLDm)*.

A livello nazionale, tale parametro è stato introdotto per la prima volta dal *Decreto Ministeriale Sanità 5 luglio 1975* relativamente ai locali di abitazione ed è definibile come il rapporto, espresso in percentuale, tra l'illuminamento medio dell'ambiente dovuto alla sola illuminazione naturale e l'illuminamento che si ha nello stesso istante su una superficie orizzontale esterna non ostruita esposta alla volta celeste con cielo coperto (escludendo la componente solare diretta).

Come accennato in premessa, non essendo disponibile un decreto specifico riferito alla destinazione d'uso specifica della Biblioteca, per gli ambienti ospitati nell'edificio in esame è stato assunto il valore minimo del *fattore di luce diurna medio* indicato per la destinazione d'uso uffici dai seguenti riferimenti legislativi:

- *Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975*, “Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica”, emanato dal Ministero per i lavori pubblici di concerto con il Ministero per la pubblica istruzione
- *Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 22 novembre 1974, n.13011*, “Requisiti fisico-tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere: proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione”.

Dall'analisi di entrambi i testi sopracitati, è possibile individuare come, per gli ambienti a destinazione d'uso ufficio, è necessario ottenere un valore minimo di *fattore medio di luce diurna* pari al 1%.

Oltre a quanto sopra riportato, si segnala che essendo un edificio pubblico, sono validi anche i requisiti introdotti dal decreto legislativo sui CAM (*Criteri Ambientali Minimi*): *Decreto 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” pubblicato in *Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.259 del 06-11-2017*. Secondo tale decreto, normalmente nei locali regolarmente occupati deve essere garantito un *fattore medio di luce diurna* maggiore del 2%, ma tale obbligo non sussiste per il caso in esame, in quanto l'edificio è sottoposto a tutela secondo *D.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42*, recante il *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio*.

In merito al caso in esame, si segnala infine come tutti gli ambienti costituenti l'edificio fanno capo alla *Biblioteca Civica Centrale* del Comune di Torino e non sono presenti ulteriori unità immobiliari. Essendo pertanto presente un'unica unità immobiliare a destinazione d'uso biblioteca e seguendo quanto previsto dai principali protocolli di certificazione della sostenibilità (es. protocollo *LEED*, per il quale si rimanda ai capitoli successivi per ulteriori approfondimenti, ma anche i *protocolli ITACA*) si è proceduto all'analisi del *FLDm a livello di intero edificio*, valutando la media tra i valori relativi ai diversi ambienti caratterizzati da un'occupazione continua.

Sebbene non previsto dalla normativa nazionale, per maggior completezza, si è proceduto inoltre in un secondo momento all'inclusione nel calcolo di tutti gli ambienti che non prevedono funzioni caratterizzate da un'occupazione continua (es. ambienti distributivi, ingressi, salette riunioni, etc), così da ricavare un valore del *FLDm* complessivo della struttura.

### 3.1.2 Metriche dinamiche

Considerando che il concetto di *fattore di luce diurna medio* fa riferimento al caso (peggiorativo) di una condizione di cielo coperto, si è ritenuto opportuno condurre ulteriori analisi di *daylighting* utilizzando metriche cosiddette 'dinamiche'. Queste metriche fanno riferimento ad un'analisi annuale che tiene conto del clima specifico della città di progetto, pertanto considerando il comportamento dinamico della luce naturale nel corso dell'anno (alternanza di cieli sereni, intermedi, coperti; posizione del sole; etc.).

Le metriche usate fanno riferimento al seguente documento:

*IES Daylight Metrics Committee. IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). Daylight Metrics Committee. Approved Method IES LM-83-12. Illuminating Engineering Society of North America, 2012.*

Tale documento rappresenta il riferimento scientifico in cui sono stati definiti i concetti di '*spatial Daylight Autonomy sDA*' e '*Annual Sunlight Exposure ASE*', successivamente implementati nel protocollo *LEED*. Il documento IES fornisce anche i valori di riferimento per l'accettazione di uno spazio in termini di *daylighting* e numerose indicazioni sullo svolgimento delle analisi illuminotecniche tramite simulazione dinamica e sui relativi settaggi (come, ad esempio, i parametri di simulazione, le proprietà dei materiali da usare per le tende mobili e così via).

Le analisi di *daylighting* richieste dal protocollo *LEED v4.1* sopra richiamato contemplano la verifica simultanea dei seguenti due requisiti:

- ***spatial Daylight Autonomy sDA<sub>300,50%</sub>***: è la frazione di spazio dell'ambiente considerato in cui il valore della *Daylight Autonomy (DA)*, calcolato per un illuminamento di 300 lux, è pari o superiore al 50%. La *DA* è definita come percentuale (frequenza) di ore durante il profilo di utilizzo in cui l'illuminamento dovuto alla sola luce naturale risulta superiore al target di 300 lux. Per il soddisfacimento del requisito *LEED*, la *sDA<sub>300,50%</sub>* deve risultare superiore al 75% (vale a dire che il 75% dello spazio di un ambiente deve avere un valore di *DA* > 300 lux per almeno il 50% delle ore di utilizzo dello spazio stesso). Il profilo di occupazione da considerarsi va dalle 8 alle 18, tutti i giorni dell'anno (per un totale di 3650 ore/anno);
- ***Annual Sunlight Exposure ASE<sub>1000,250</sub>***: è la frazione di spazio dell'ambiente considerato in cui l'illuminamento diretto dovuto al sole supera 1000 lux per più di 250 ore nel corso dell'anno. L'*ASE<sub>1000,250</sub>* per definizione deve essere calcolata considerando le proprietà di trasmissione luminosa dei vetri, ma escludendo le tende mobili e ogni riflessione, sia all'esterno, sia all'interno dell'ambiente da verificare. Per il soddisfacimento del requisito *LEED*, nella precedente versione del protocollo *LEED (v4)*, veniva richiesto che la *ASE<sub>1000,250</sub>* risultasse inferiore al 10% (il che significa che meno del 10% dello spazio di un ambiente deve avere un valore di *ASE* > 1000 lux per oltre 250 ore all'interno del profilo di occupazione nel corso dell'anno). Il requisito *LEED v4.1* ha modificato questo requisito, rendendolo meno restrittivo, richiedendo di identificare, per tutti gli spazi regolarmente occupati in cui si ottenga una *ASE<sub>1000,250</sub>* > 10%, quali strategie siano previste per controllare il potenziale abbagliamento e surriscaldamento derivante dall'ingresso della radiazione solare diretta entrante in ambiente.

### 3.2 Individuazione degli ambienti oggetto di verifica

Le immagini e la tabella riportate a seguire permettono l'identificazione degli ambienti oggetto di studio, suddivisi per piano di appartenenza, con indicazione della tipologia di utilizzo e della superficie di calcolo utilizzata nel calcolo.

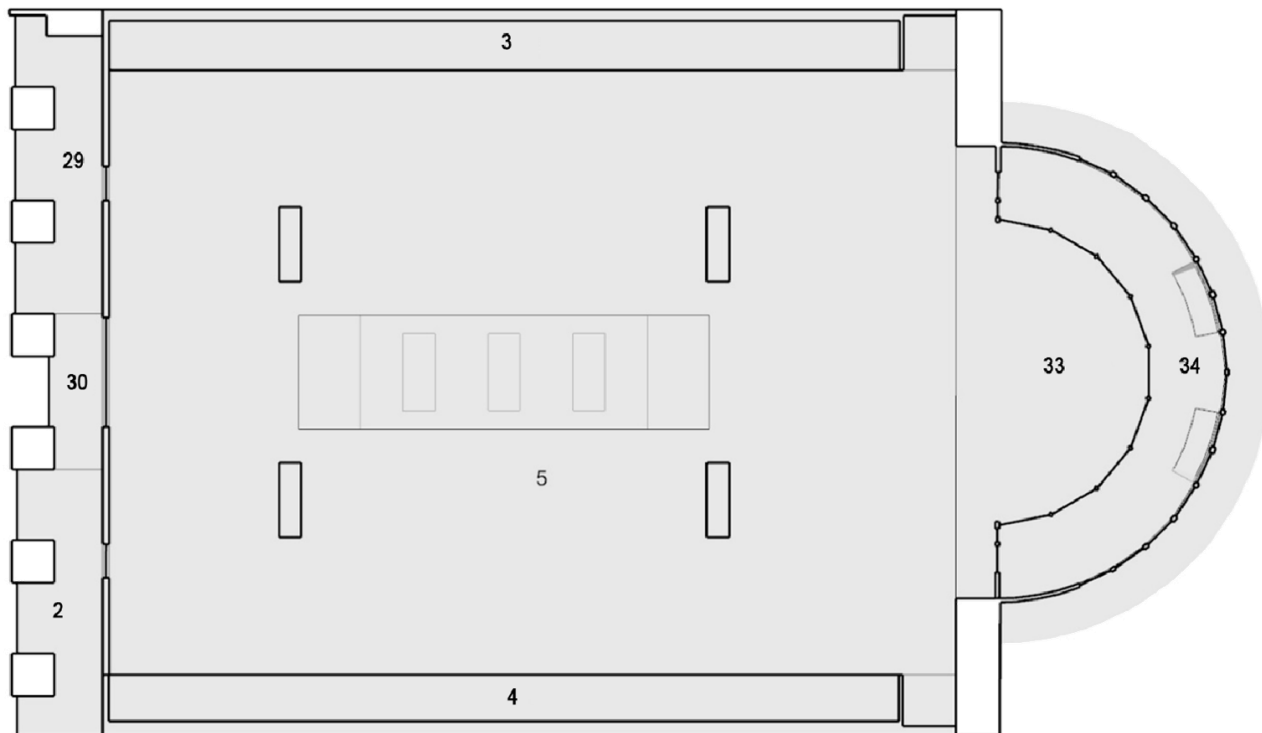


Figura 10 – Individuazione superfici di calcolo (PIANO TERRENO)

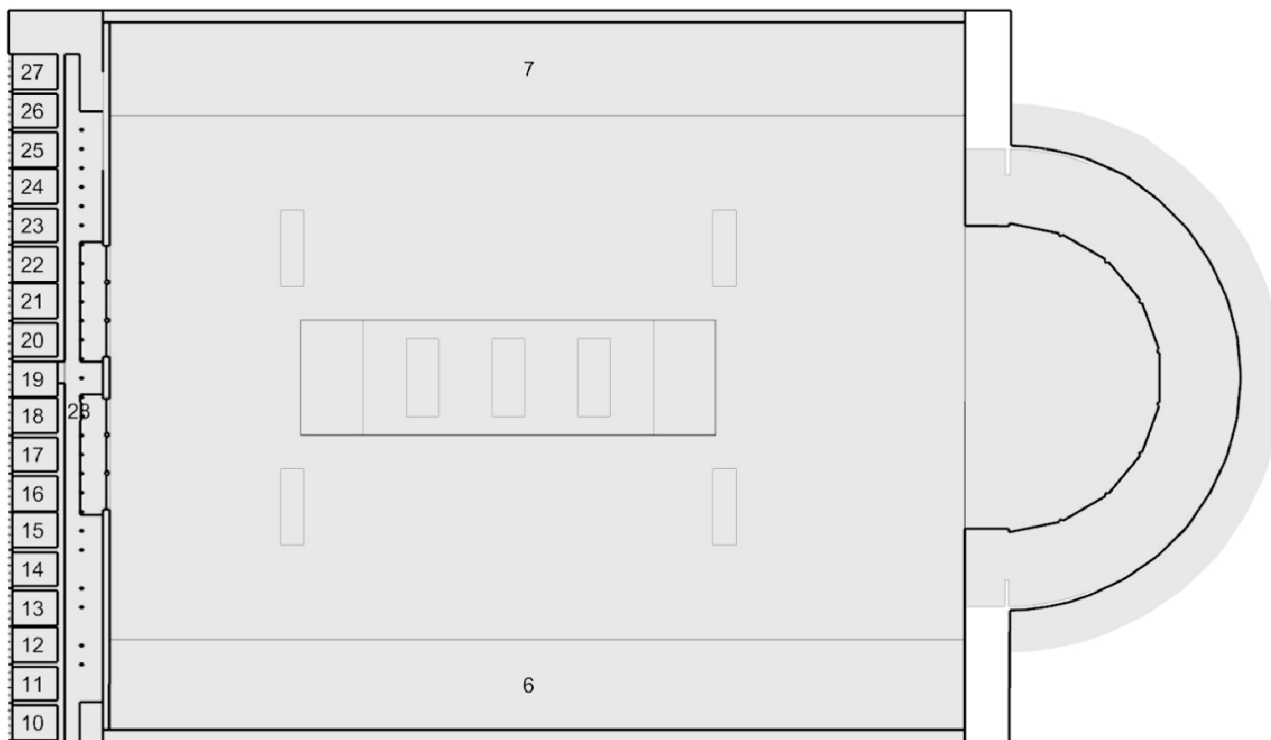


Figura 11 – Individuazione superfici di calcolo (PIANO PRIMO)

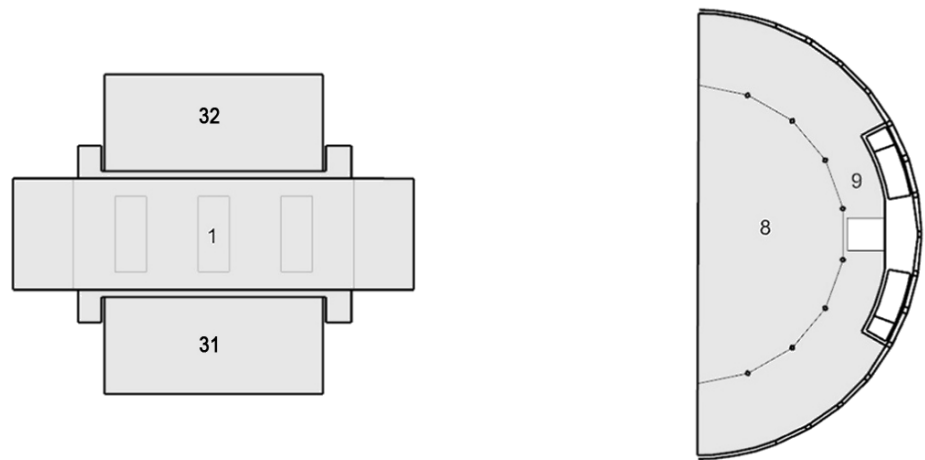


Figura 12 – Individuazione superfici di calcolo (PIANO INTERRATO)

*Tabella 1 – Definizione delle zone oggetto di calcolo*

IDENTIFICAZIONE AMBIENTE	TIPOLOGIA DI AMBIENTE
1	OCCUPAZIONE CONTINUA
2	OCCUPAZIONE CONTINUA
3	OCCUPAZIONE SALTUARIA
4	OCCUPAZIONE SALTUARIA
5	OCCUPAZIONE CONTINUA
6	OCCUPAZIONE CONTINUA
7	OCCUPAZIONE CONTINUA
8	OCCUPAZIONE CONTINUA
9	OCCUPAZIONE CONTINUA
10	OCCUPAZIONE CONTINUA
11	OCCUPAZIONE CONTINUA
12	OCCUPAZIONE CONTINUA
13	OCCUPAZIONE CONTINUA
14	OCCUPAZIONE CONTINUA
15	OCCUPAZIONE CONTINUA
16	OCCUPAZIONE CONTINUA
17	OCCUPAZIONE CONTINUA
18	OCCUPAZIONE CONTINUA
19	OCCUPAZIONE CONTINUA
20	OCCUPAZIONE CONTINUA
21	OCCUPAZIONE CONTINUA
22	OCCUPAZIONE CONTINUA
23	OCCUPAZIONE CONTINUA
24	OCCUPAZIONE CONTINUA
25	OCCUPAZIONE CONTINUA
26	OCCUPAZIONE CONTINUA
27	OCCUPAZIONE CONTINUA
28	OCCUPAZIONE CONTINUA
29	OCCUPAZIONE CONTINUA
30	OCCUPAZIONE CONTINUA
31	OCCUPAZIONE SALTUARIA
32	OCCUPAZIONE SALTUARIA
33	OCCUPAZIONE CONTINUA
34	OCCUPAZIONE CONTINUA

### 3.3 Software di simulazione

Le simulazioni dinamiche per il calcolo di *daylighting* e la verifica di rispondenza rispetto ai requisiti normativi sono state effettuate usando *Honeybee* (un plug-in di *Grasshopper* per il software di modellazione *Rhinceros*): tale applicativo permette inoltre di modellare la variazione annuale della luce naturale all'interno del programma di modellazione 3D *Rhinceros*.

*Honeybee* usa, per la simulazione annuale delle condizioni di *daylighting*, l'algoritmo di calcolo *Radiance*: questo algoritmo è considerato come l'algoritmo di riferimento, validato nell'ambito della comunità scientifica internazionale.

Il dettaglio delle informazioni e delle impostazioni assunte per le simulazioni dinamiche sono riportati nelle sezioni seguenti.

#### 3.3.1 Modello 3D

L'edificio in esame è stato modellato direttamente in *Rhinceros*, a partire dagli elaborati progettuali definiti dal gruppo di progettazione. Partendo da tali elaborati, si è rimodellata accuratamente la geometria sia dell'edificio stesso, sia delle ostruzioni rappresentate dal terreno e dagli edifici circostanti. In merito si segnala come la copertura del fabbricato è stata oggetto di semplificazioni, le quali hanno comunque permesso di non modificare sostanzialmente le dimensioni delle aperture e la loro esposizione (aspetti fondamentali per l'ottenimento di valori analoghi a quelli caratterizzanti l'edificio reale).

In relazione all'edificio, si è proceduto a modellare tutti gli spazi interni (senza arredi) e l'involucro, in termini di spessore e di materiali costituenti, distinguendo tra la parte opaca (mazzette, sguinci intorno alle finestre) e la parte trasparente (vetri, lucernai, etc.).

Le immagini riportate a seguire mostrano alcune viste del modello 3D elaborato.

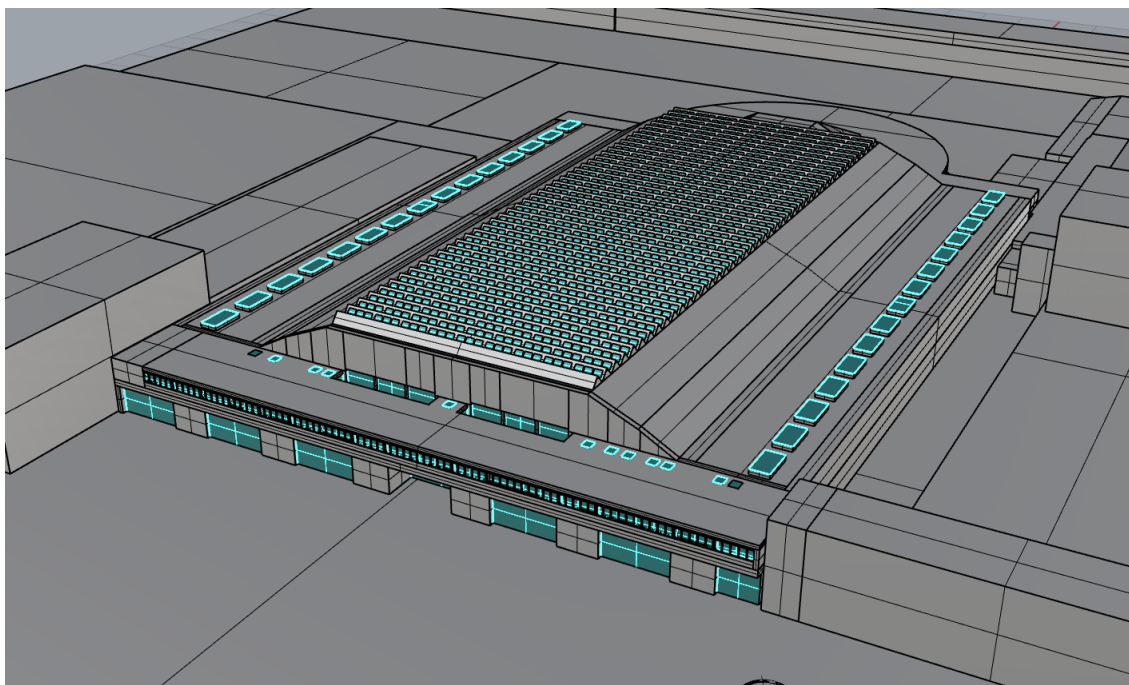


Figura 13 – Modello 3D: vista del prospetto Ovest/Nord Ovest

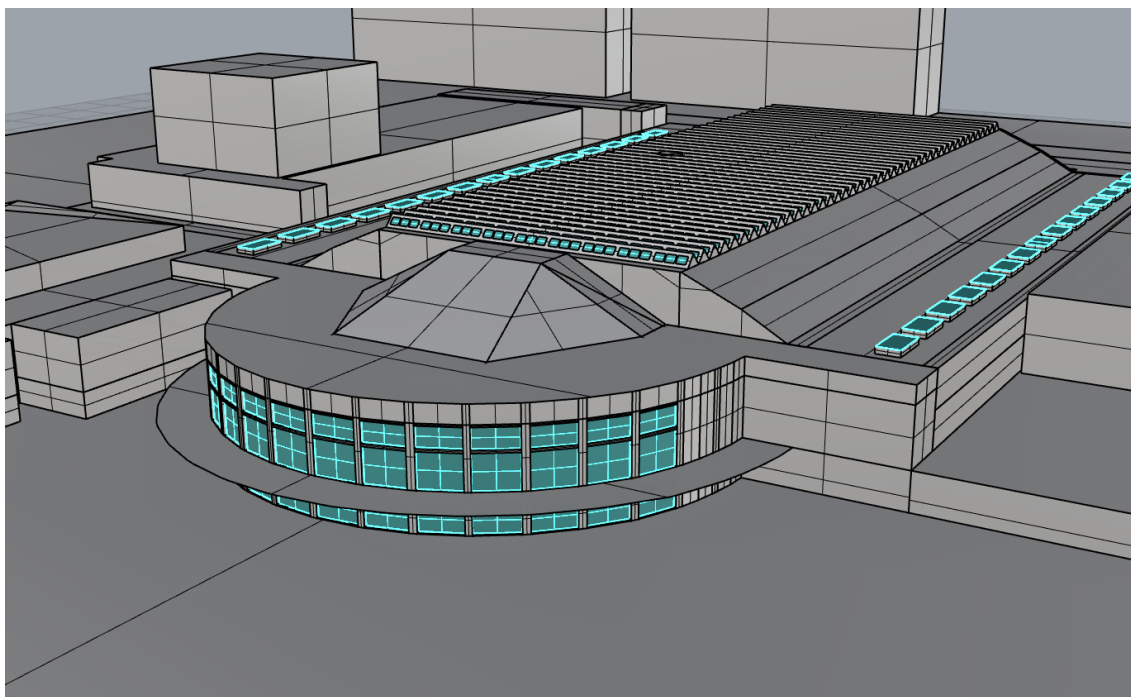


Figura 14 – Modello 3D: vista del prospetto Sud/Sud-Est

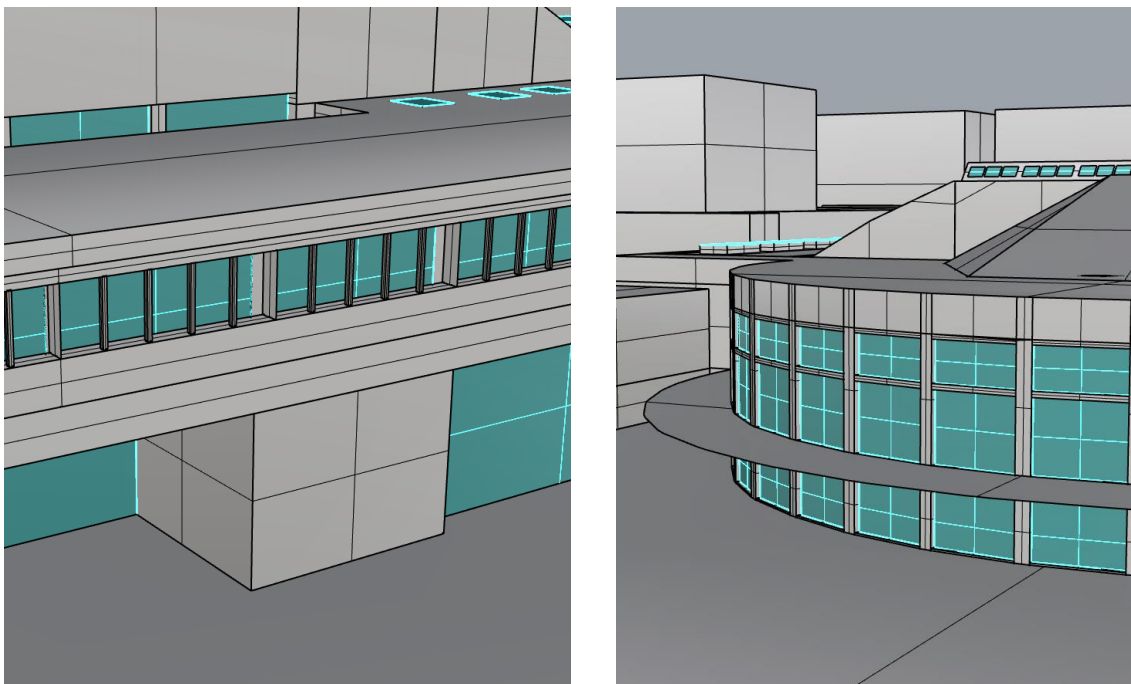


Figura 15 – Modello 3D: dettagli delle facciate

### 3.3.2 Modellazione della variazione dinamica del contesto climatico nel corso dell'anno

Al fine di tenere conto delle caratteristiche climatiche del sito di progetto, situato a Torino, le simulazioni sono state condotte utilizzando in *Honeybee* il file climatico '*ITA\_Torino.150590\_IWEC.epw*', vale a dire un file contenente i valori statistici delle irradiazioni dirette e diffuse misurate sperimentalmente (su scala pluriennale) per la città di Torino. Il file climatico ha una risoluzione oraria ed è stato scaricato dal sito di *EnergyPlus* ([https://energyplus.net/weather-region/europe\\_wmo\\_region\\_6](https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6)).

Di conseguenza, *Radiance*, utilizzando il file climatico, conduce una simulazione per ogni ora nel corso dell'anno, calcolando gli illuminamenti necessari per determinare i valori di *FLD*, di *sDA<sub>300,50%</sub>* e di *ASE<sub>1000,250</sub>*.

### 3.3.3 Griglia dei punti di misura

In tutti gli ambienti di verifica, si è predisposta una griglia di calcolo per la verifica dei requisiti di *daylighting* tale da coprire uniformemente lo spazio occupato.

Ogni griglia di calcolo è stata costruita con uno '*spacing*' (interdistanza fra i vari punti di misura) di 75 cm in entrambe le direzioni. Le griglie sono state collocate ad un'altezza di 80 cm rispetto al pavimento, in modo da essere allineate alle varie superfici di lavoro, quali scrivanie, tavoli da riunione, banconi della reception etc.

Nella figura riportata a seguire, è rappresentata una porzione dell'edificio (piano terra dell'Esedra localizzata nella porzione Est del fabbricato), in cui sono stati evidenziati i singoli punti di misura.

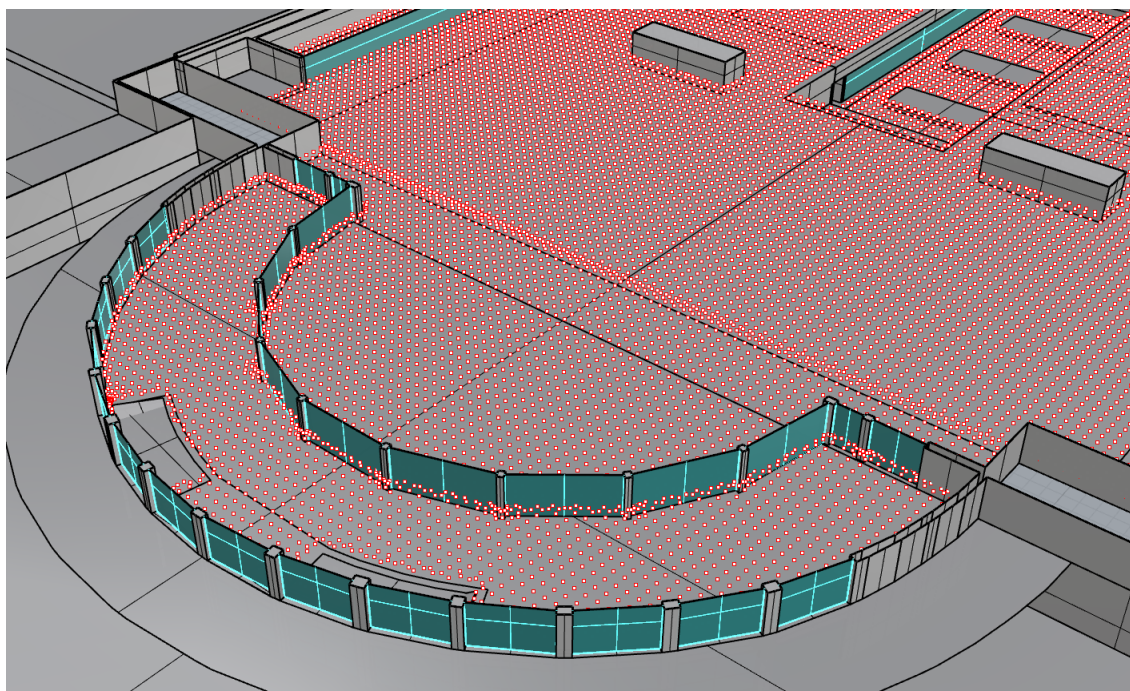


Figura 16 – Modello 3D, Pianta del livello 0: visualizzazione dei punti di misura



### 3.3.4 Materiali

I materiali dei vari spazi dell'edificio sono stati modellati attraverso *Honeybee-for-Rhino*, utilizzando materiali compatibili con *Radiance* appositamente definiti in modo da riprodurre le caratteristiche di trasmissione o riflessione luminosa proprie dei materiali presenti a progetto.

In *Tabella 2*, si riporta il dettaglio dei materiali modellati, in termini sia di quantità di luce trasmessa/riflessa (fattore di trasmissione luminosa TL e di riflessione luminosa RL), sia di modalità di riflessione/trasmmissione (speculare o diffusa):

*Tabella 2 - Dettaglio delle proprietà ottiche/fotometriche dei materiali modellati in Rhino, compatibili con Radiance*

ELEMENTO	VALORE TL O RL	MODALITÀ DI TRASMISSIONE/RIFLESSIONE
TERRENO (ALBEDO)	RL = 30%	RIFLESSIONE DIFFUSA
OSTRUZIONI (EDIFICIO CIRCOSTANTI)	RL = 50%	RIFLESSIONE DIFFUSA
PARETI VERTICALI ED ELEMENTI IN CALCESTRUZZO CHIARO	RL = 70%	RIFLESSIONE DIFFUSA
STRUTTURE ORIZZONTALI E PAVIMENTI IN CALCESTRUZZO CHIARO	RL = 70%	RIFLESSIONE DIFFUSA
PAVIMENTAZIONI TERRAZZA ESEDRA E POZZI DI LUCE INTERNI	RL = 50%	RIFLESSIONE DIFFUSA
STRUTTURE TRASPARENTI IN POLICARBONATO (LUCERNAI)	TL=20%	TRASMISSIONE SPECULARE
VETRI (STRUTTURE VERSO L'ESTERNO)	TL=65%	TRASMISSIONE SPECULARE
VETRI (STRUTTURE INTERNE ALL'EDIFICIO)	TL=80%	TRASMISSIONE SPECULARE

In merito ai valori relativi agli elementi in polycarbonato, si segnala come questi potranno essere caratterizzati da un comportamento più diffondente, permettendo di trasmettere in modo più uniforme la luce proveniente dall'esterno, al tempo stesso attenuandone l'intensità, "aprendo" l'angolo di trasmissione diretta. A questo livello della progettazione (progetto definitivo) non sono disponibili le schede tecniche di dettaglio degli elementi che si andranno effettivamente ad installare, pertanto non avendo valori testati in laboratorio, si è scelto di impostare all'interno delle simulazioni in *Radiance* una trasmissione prevalentemente speculare.

In merito alla definizione delle caratteristiche tecniche dei componenti in calcestruzzo chiaro, i relativi valori di riflessione luminosa sono stati ricavati dal database del software *Climate Studio*: tale database è stato costruito mediante prove di laboratorio. Tale materiale è quello più diffuso all'interno del fabbricato allo stato attuale e sarà mantenuta tale anche nella condizione post-riqualificazione, in quanto caratterizzante l'edificio la cui storicità è sottoposta a tutela. A seguire è riportata una fotografia ricavata all'interno dell'ambiente principale dell'edificio (Figura 17) che permette di individuare il materiale in oggetto, il quale presenta una riflessione relativamente elevata.

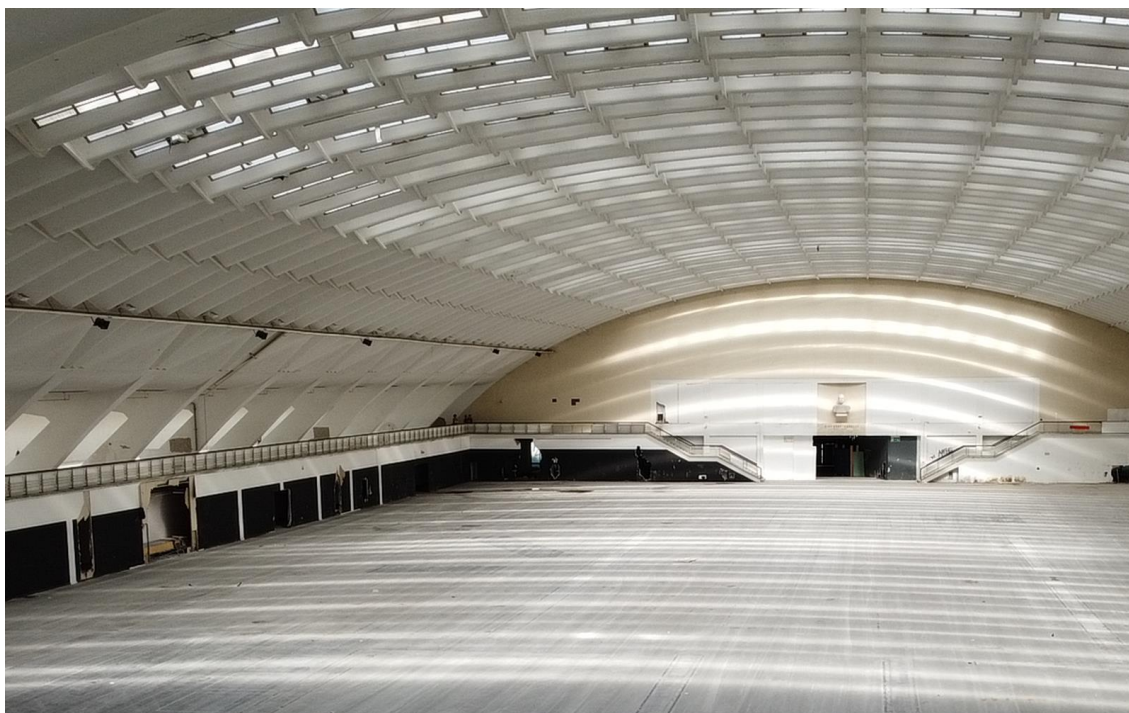


Figura 17 – Foto della zona centrale dell'edificio (stato pre riqualificazione)

### 3.3.5 Parametri di simulazione

Le simulazioni in *Radiance* sono state svolte avendo impostato i seguenti parametri di simulazione:

- ambient bounce ab
  - ab = 10 per il calcolo del *FLDm* e degli illuminamenti annuali per la metrica *sDA<sub>300,50%</sub>*
  - ab = 0 per il calcolo della metrica *ASE<sub>1000,250</sub>*, per la quale è richiesto il calcolo della sola componente solare diretta (senza riflessioni)
- ambient division ad 2048
- ambient sampling as 2048
- ambient resolution ar 64
- ambient accuracy aa 0.1

### 3.3.6 Profilo di utilizzo

Coerentemente con la definizione stessa delle metriche '*spatial Daylight Autonomy*' (*sDA<sub>300,50%</sub>*) e '*Annual Sunlight Exposure*' (*ASE<sub>1000,250</sub>*), per tutti gli ambienti regolarmente occupati dell'edificio, definiti nella sezione 1, si è assunto un profilo di occupazione di 10 ore/giorno, dalle 8.00 alle 18.00, per tutti i giorni dell'anno (per un totale 3650 ore/anno).

### 3.4 Risultati dei calcoli

Nelle pagine successive, viene riportato il dettaglio dei risultati di *fattore medio luce diurna FLDm* e delle simulazioni dinamiche delle condizioni di daylighting (*sDA<sub>300,50%</sub>* e *ASE<sub>1000,250</sub>*) nei vari spazi analizzati.

*Tabella 3 – Risultati complessivi delle simulazioni illuminotecniche*

ID.	TIPOLOGIA DI AMBIENTE	FLDM [%]	sDA <sub>300,50%</sub> [%]	ASE <sub>1000,250</sub> [%]
1	OCCUPAZIONE CONTINUA	5,4%	100%	90%
2	OCCUPAZIONE CONTINUA	5,0%	100%	0%
3	OCCUPAZIONE SALTUARIA	0,1%	0%	0%
4	OCCUPAZIONE SALTUARIA	0,1%	0%	0%
5	OCCUPAZIONE CONTINUA	3,2%	82%	54%
6	OCCUPAZIONE CONTINUA	2,6%	84%	27%
7	OCCUPAZIONE CONTINUA	2,6%	96%	29%
8	OCCUPAZIONE CONTINUA	0,5%	4%	0%
9	OCCUPAZIONE CONTINUA	1,0%	50%	1%
10	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,3%	100%	0%
11	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,3%	100%	0%
12	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,3%	100%	0%
13	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,4%	100%	0%
14	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,4%	100%	0%
15	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,4%	100%	0%
16	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,4%	100%	0%
17	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,4%	100%	0%
18	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,5%	100%	0%
19	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,4%	100%	0%
20	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,5%	100%	0%
21	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,5%	100%	0%
22	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,5%	100%	0%
23	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,5%	100%	0%
24	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,4%	100%	0%
25	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,4%	100%	0%
26	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,2%	100%	0%
27	OCCUPAZIONE CONTINUA	4,0%	100%	0%
28	OCCUPAZIONE CONTINUA	2,5%	81%	4%
29	OCCUPAZIONE CONTINUA	5,0%	98%	0%
30	OCCUPAZIONE CONTINUA	2,0%	98%	25%
31	OCCUPAZIONE SALTUARIA	0,1%	0%	0%
32	OCCUPAZIONE SALTUARIA	0,3%	6%	6%
33	OCCUPAZIONE CONTINUA	2,4%	98%	1%
34	OCCUPAZIONE CONTINUA	8,6%	100%	71%
<b>VALORE MEDIO DEI SOLI AMBIENTI CON OCCUPAZIONE CONTINUA</b>		<b>3,2%</b>	<b>83%</b>	<b>38%</b>
<b>VALORE MEDIO RELATIVO ALL'INTERO EDIFICIO</b>		<b>2,8%</b>	<b>73%</b>	<b>34%</b>

Per maggior completezza, si riportano infine nelle pagine seguenti le piante dei diversi piani dell'edificio con rappresentati gli andamenti dei parametri illuminotecnici descritti nel presente elaborato.

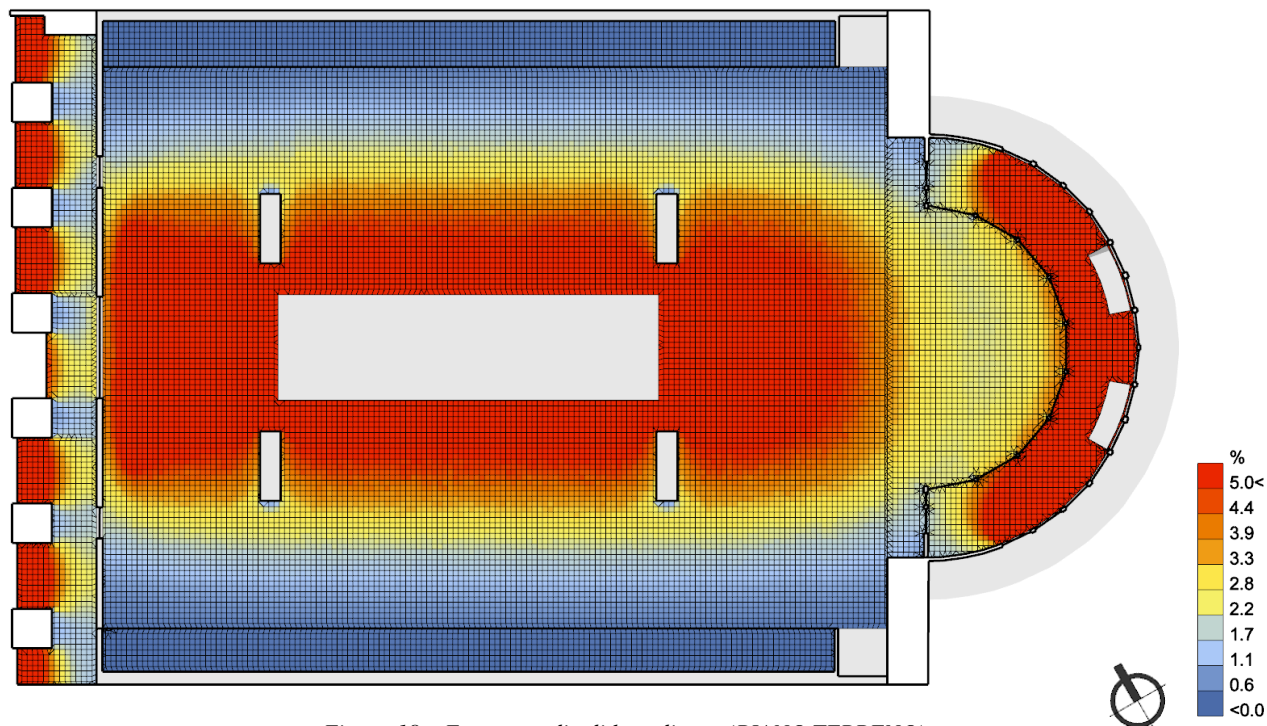


Figura 18 – Fattore medio di luce diurna (PIANO TERRENO)

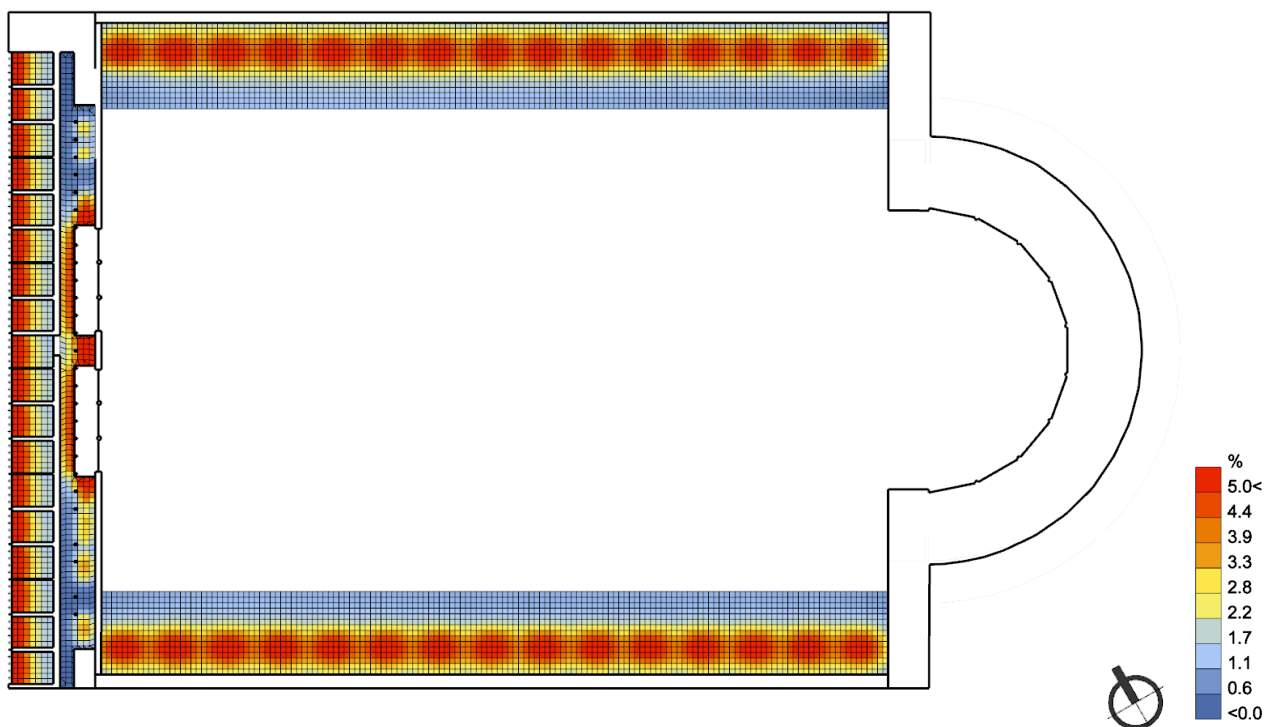


Figura 19 – Fattore medio di luce diurna (PIANO PRIMO)

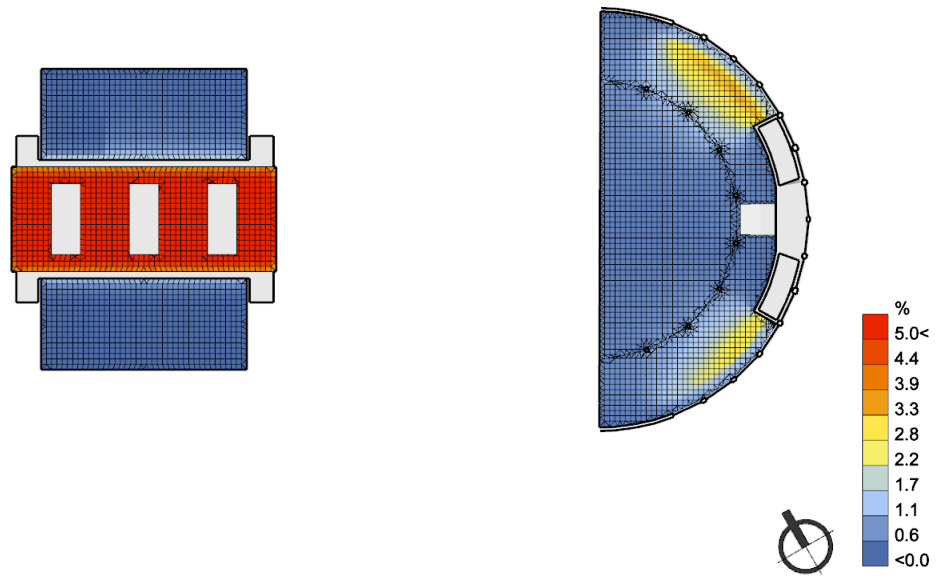


Figura 20 – Fattore medio di luce diurna (PIANO INTERRATO)

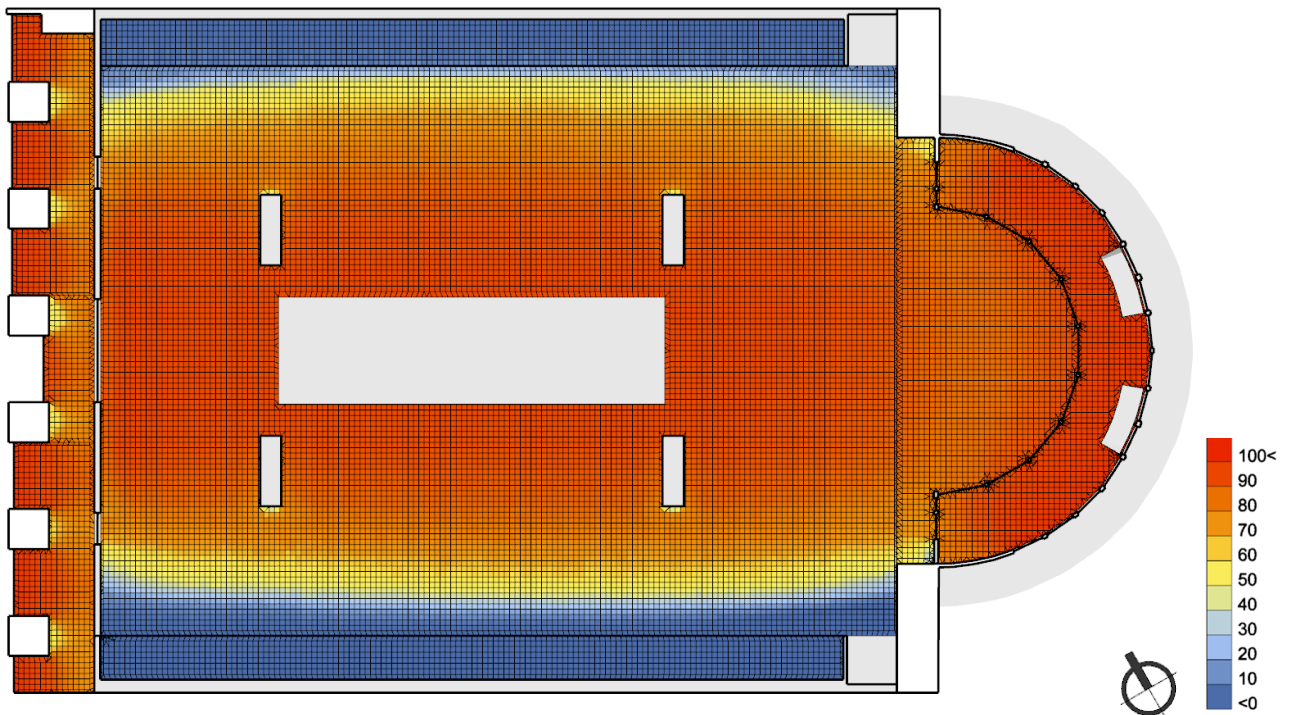


Figura 21 – Daylight Autonomy con target 300 lx (PIANO TERRENO)

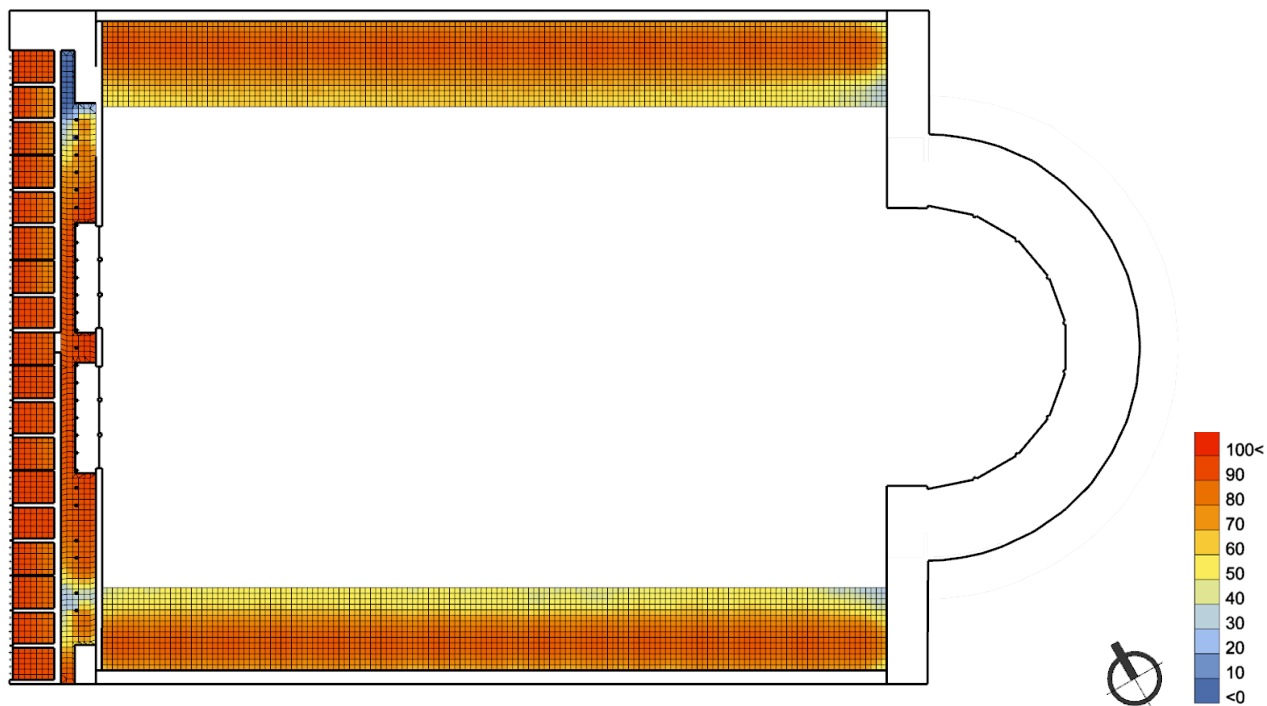


Figura 22 –Daylight Autonomy con target 300 lx (PIANO PRIMO)

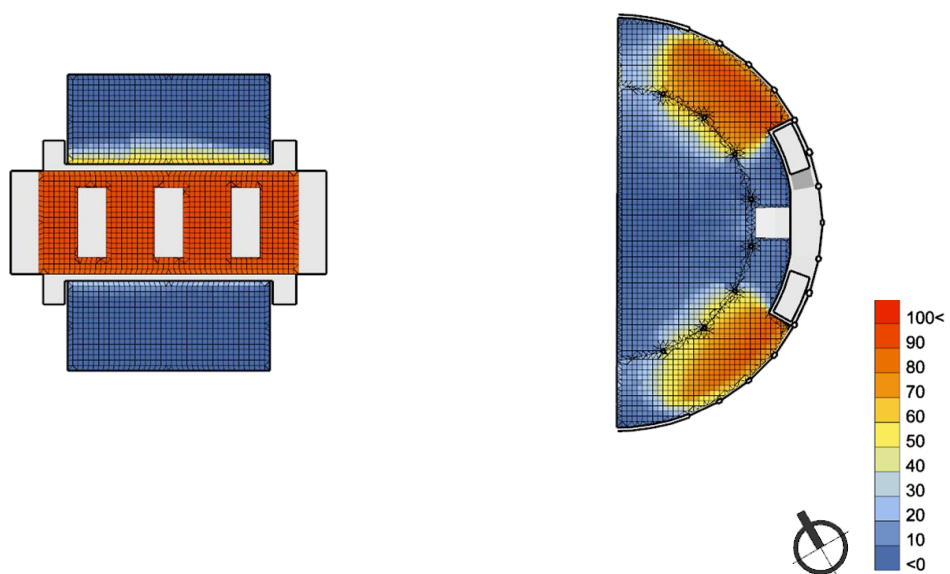


Figura 23 –Daylight Autonomy con target 300 lx (PIANO INTERRATO)

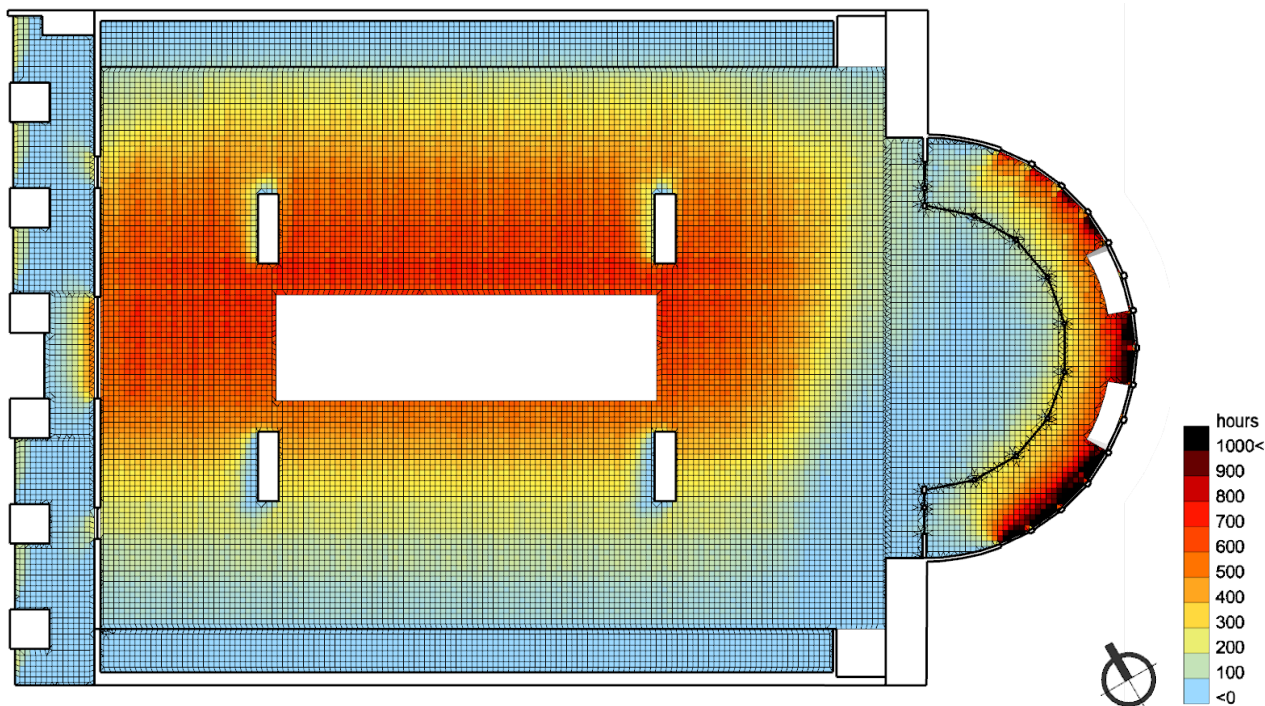


Figura 24 – Annual Sunlight Exposure (PIANO TERRENO)

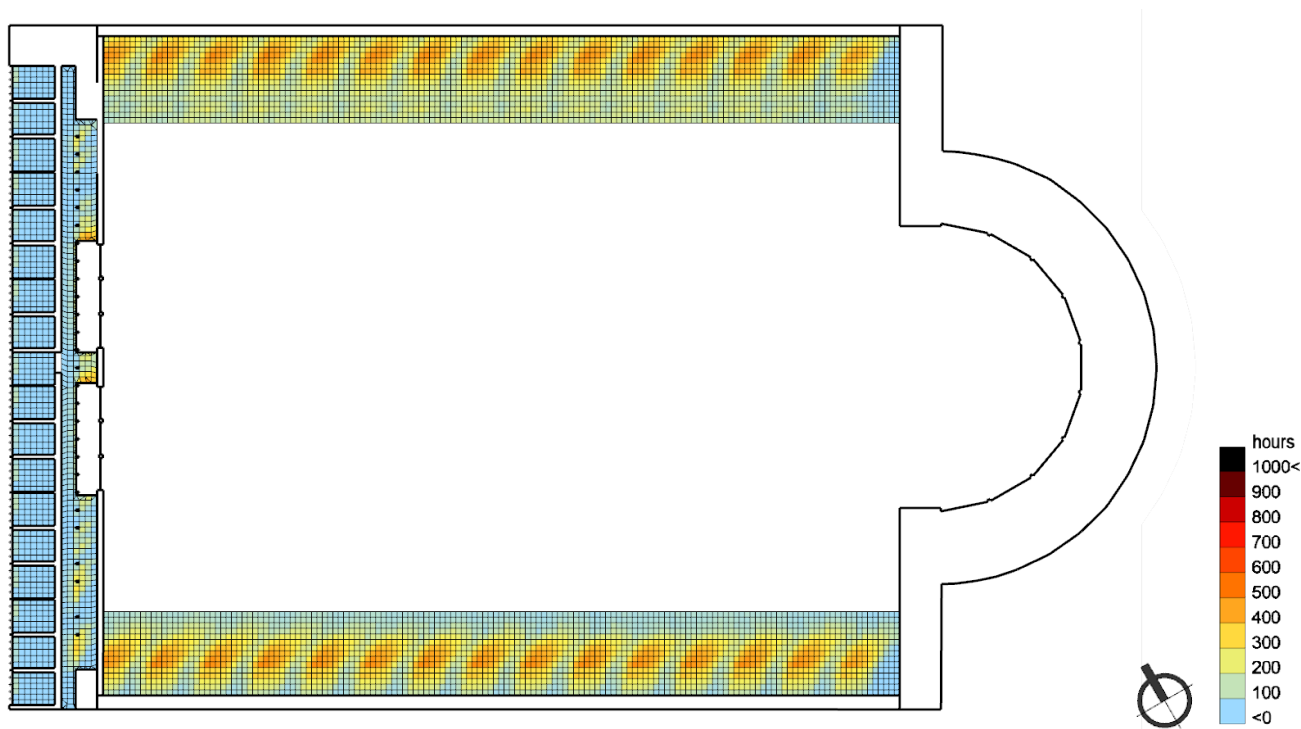


Figura 25 – Annual Sunlight Exposure (PIANO PRIMO)

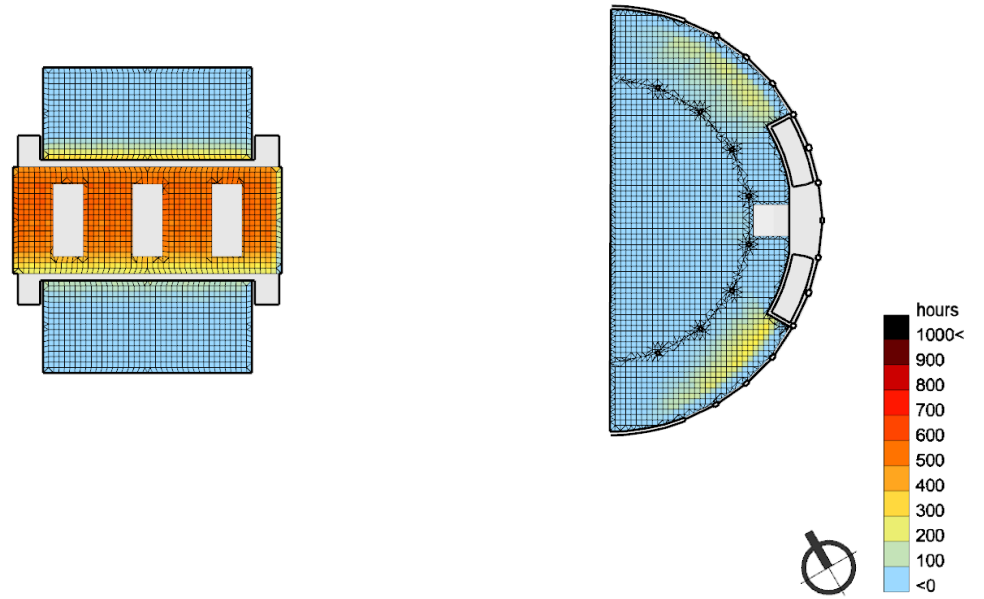


Figura 26 – Annual Sunlight Exposure (PIANO INTERRATO)



### 3.5 Conclusioni

Relativamente ai risultati presentati all'interno della tabella sopra riportata, è possibile affermare come:

- per quanto concerne la verifica del **Fattore medio di luce diurna (FLDm)**, i valori ottenuti risultano a livello di intero edificio superiori alla soglia del 1%, sia considerando i soli ambienti con occupazione continua, sia includendo anche quelli a occupazione saltuaria, attestandosi rispettivamente al 3,2% e 2,8%. Tali valori permettono di rispettare quanto prescritto dalla normativa nazionale (valori validi per edifici adibiti ad ufficio) e dai *Criteri Ambientali Minimi* (si rimanda al capitolo 3.1.1 per maggior approfondimenti circa il quadro normativo);
- in merito alla **Spatial Daylight Autonomy**, questa presenta un valore complessivo (comprensivo di tutti gli ambienti oggetto di calcolo) di poco superiore al 70%, tale valore è un buon indicatore del fatto che l'edificio gode di un buon illuminamento naturale. In virtù di tale valore, si ritiene ragionevole ipotizzare che tali valori permetterebbero di ottenere in una possibile applicazione del protocollo *LEED V4.1* un punteggio pari a 2;
- relativamente all'**Annual Sunlight Exposure ASE**, questo risulta particolarmente elevato (valori superiori al 30%). Ciò è sintomatico della possibile presenza di fenomeni di abbagliamento per gli occupanti durante le ore di occupazione dell'edificio. In merito, il protocollo *LEED V4.1* richiede che qualora si riscontrino valori superiori al 10% vengano intraprese delle azioni atte al contenimento di tali fenomeni. Per il caso in oggetto si è scelto di adottare due diverse modalità di intervento agenti sulle aperture trasparenti, ed in particolare:
  - tutte le aperture verticali in vetro sono state dotate di tendaggi interni, i quali potranno essere attivati dall'utenza qualora insorgessero fenomeni di abbagliamento (ciò risulterà particolarmente efficace per la zona dell'Esedra e per gli ambienti prospicienti corso Massimo d'Azzeglio);
  - per i lucernai presenti in copertura, per motivazioni di tutela degli aspetti architettonici del bene, non è possibile adottare schermature mobili, pertanto si è scelto di indirizzare la scelta della soluzione tecnologica verso elementi in policarbonato dotati di una contenuta trasmissione luminosa (pari a circa il 20%) e di un elevato potere diffondente.

Le attività condotte per la verifica del **fattore di luce diurna medio (FLDm)** e illustrate nella presente relazione, permettono di accertare per tutti gli ambienti significativi testati la rispondenza ai requisiti di norma con livelli anche superiori ai minimi previsti. Le verifiche sono state condotte con riferimento ai dati resi disponibili dal livello di approfondimento progettuale eseguito in questa fase. I successivi livelli di progettazione permetteranno di disporre di dati più dettagliati con i quali si dovrà affinare e confermare i risultati delle simulazioni qui riportati con particolare riferimento alle situazioni che hanno evidenziato delle potenziali criticità (cfr. valori ASE).

Il progetto fissa requisiti prestazionali che dovranno essere rispettati nelle successive fasi di sviluppo del progetto e successivamente della costruzione, soprattutto in termini di caratteristiche dei lucernari in copertura e dei serramenti.

## 4 COMFORT TERMO-IGROMETRICO

### 4.1 Metriche utilizzate e valori di riferimento

Il presente capitolo riporta i risultati delle analisi svolte per la verifica del comfort termo-igrometrico attraverso la metrica degli indici di comfort.

Come evidenziato più avanti nella trattazione, durante l'iter progettuale si è prestata particolare attenzione all'adozione di soluzioni tecniche che permettessero l'ottenimento di valori di comfort termo-igrometrici in linea con quanto richiesto dalla normativa nazionale. In particolare, essendo l'edificio in oggetto di proprietà pubblica, esso ricade all'interno dell'applicazione dei *Criteri Ambientali Minimi*, così come definiti dal *Decreto 11 ottobre 2017*, il quale prescrive come per gli interventi di *Ristrutturazione Importante di I livello* (così come definiti dal *D.M 26 giugno 2015, Requisiti Minimi*) sia necessario garantire condizioni conformi almeno alla *classe B* secondo la norma *UNI EN ISO 7730:2006* in termini di *PMV* (*Voto medio previsto*) e di *PPD* (*Percentuale prevista di insoddisfatti*).

Il *PMV* (*Valore medio previsto*) è un indice adimensionale che rappresenta il voto medio che un gruppo consistente di persone assegnerebbe alla propria sensazione termica su una scala a 7 punti (Tabella 4).

Tabella 4 – Scala di sensazione termica a sette punti

VALORE	SENSAZIONE TERMICA
+3	MOLTO CALDO
+2	CALDO
+1	LEGGERMENTE CALDO
0	NEUTRO
-1	LEGGERMENTE FREDDO
-2	FREDDO
-3	MOLTO FREDDO

Tale indice è calcolato a partire dal bilancio termico dell'individuo rispetto all'ambiente circostante e dipende dai seguenti parametri:

- fattori ambientali:
  - o temperatura dell'aria;
  - o temperatura media radiante;
  - o velocità relativa dell'aria;
  - o pressione parziale del vapore d'acqua;
  - o coefficiente di scambio termico convettivo;
- fattori legati al singolo individuo:
  - o potenza metabolica efficace (MET - funzione dell'attività svolta dal soggetto);
  - o resistenza termica dell'abbigliamento degli occupanti (CLO).

A partire dal *PMV* è possibile calcolare l'indice *PPD* (*Percentuale prevista di insoddisfatti*), il quale fornisce una previsione della percentuale di persone termicamente insoddisfatte, che sentirebbero pertanto troppo freddo o troppo caldo (il rapporto tra *PMV* e *PPD* è rappresentato in Figura 27). In merito si evidenzia come, essendo tale correlazione elaborata su base statistica, anche con valori di *PMV* nulli (condizioni teoricamente ottimali), la percentuale prevista di insoddisfatti registrerebbe un valore pari al 5%.

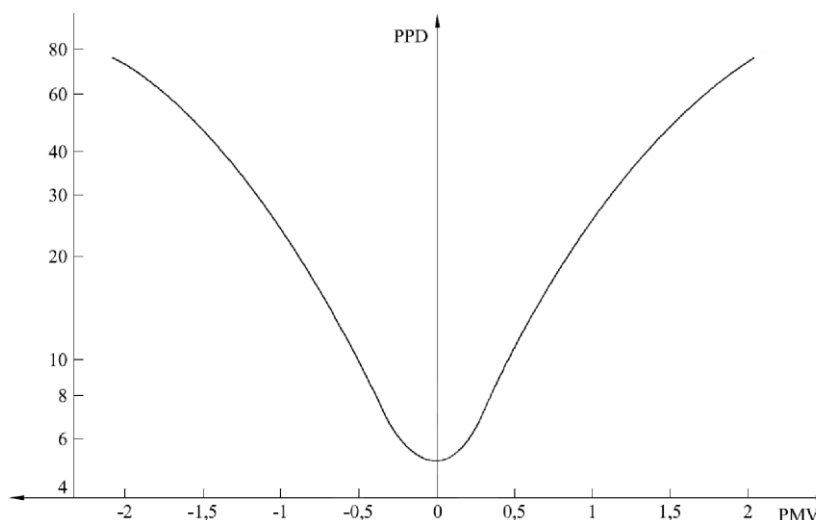


Figura 27 – Confronto tra PMV e PPD

Come anticipato in premessa, per il caso in esame **la classe di comfort prevista secondo UNI EN ISO 7730:2006 è la Classe B (corrispondente a valori di PMV compresi tra -0,5 e +0,5)**, così come definito dal punto 2.3.5.7 dei *Criteri Ambientali Minimi ex. D.M. 11 ottobre 2017*. La definizione delle classi di comfort introdotte dalla normativa sopracitata e dei valori corrispondenti di *PMV* e *PPD* è riportata in Tabella 5.

Tabella 5 – Correlazione classi di comfort e indici PMV e PPD

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

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. Tali aspetti dovranno essere approfonditi in fase di progettazione esecutiva, in quanto direttamente dipendenti dalle tipologie di terminale che saranno effettivamente selezionati per la ventilazione meccanica e la climatizzazione. I principali parametri da tenere in conto sono i seguenti:

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

All’interno del capitolo conclusivo del presente elaborato, sono riportate alcune indicazioni puntuali, le quali costituiscono i requisiti prestazionali che dovranno essere rispettati durante le successive fasi di progettazione e saranno la base da cui partire per le valutazioni di dettaglio sopra descritte.

#### 4.2 Individuazione degli ambienti oggetto di verifica

All'interno del presente capitolo sono brevemente individuati e descritti gli ambienti caratteristici oggetto di valutazione della classe di comfort termo-igrometrico mediante simulazione *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*). Tali ambienti si possono ritenere sufficientemente rappresentativi delle diverse casistiche riscontrabili all'interno del fabbricato.

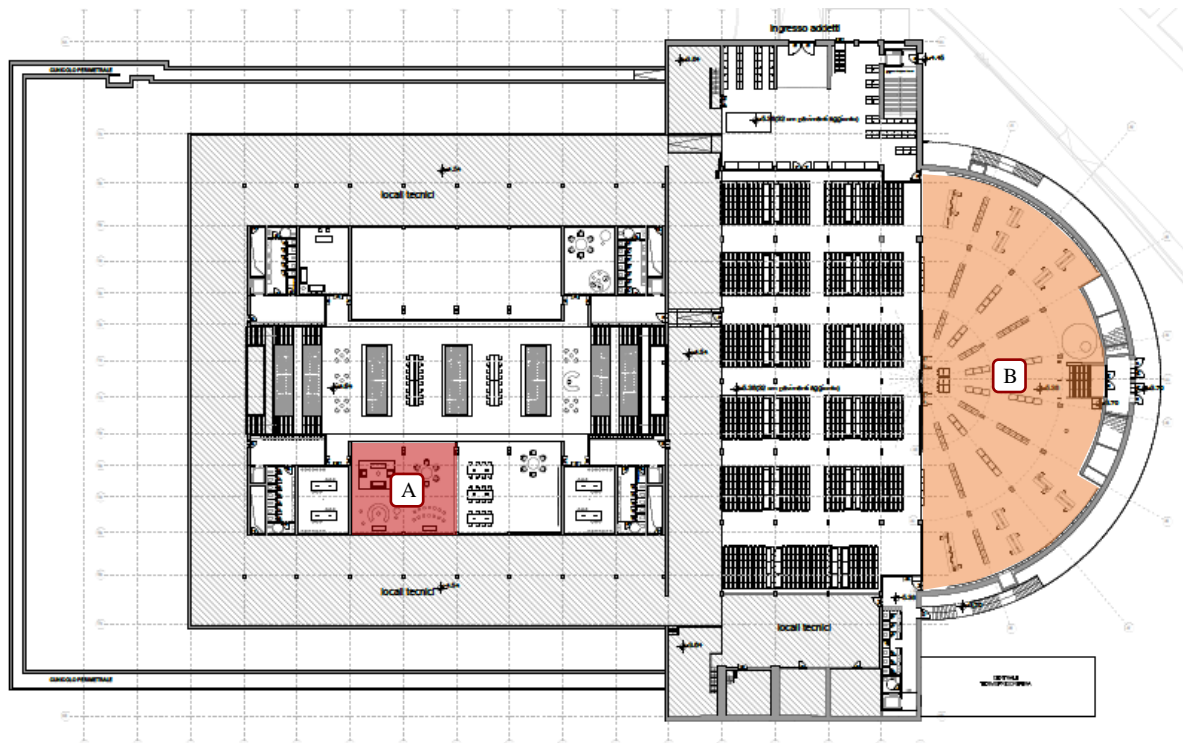


Figura 28– Stato di progetto. Pianta piano interrato.

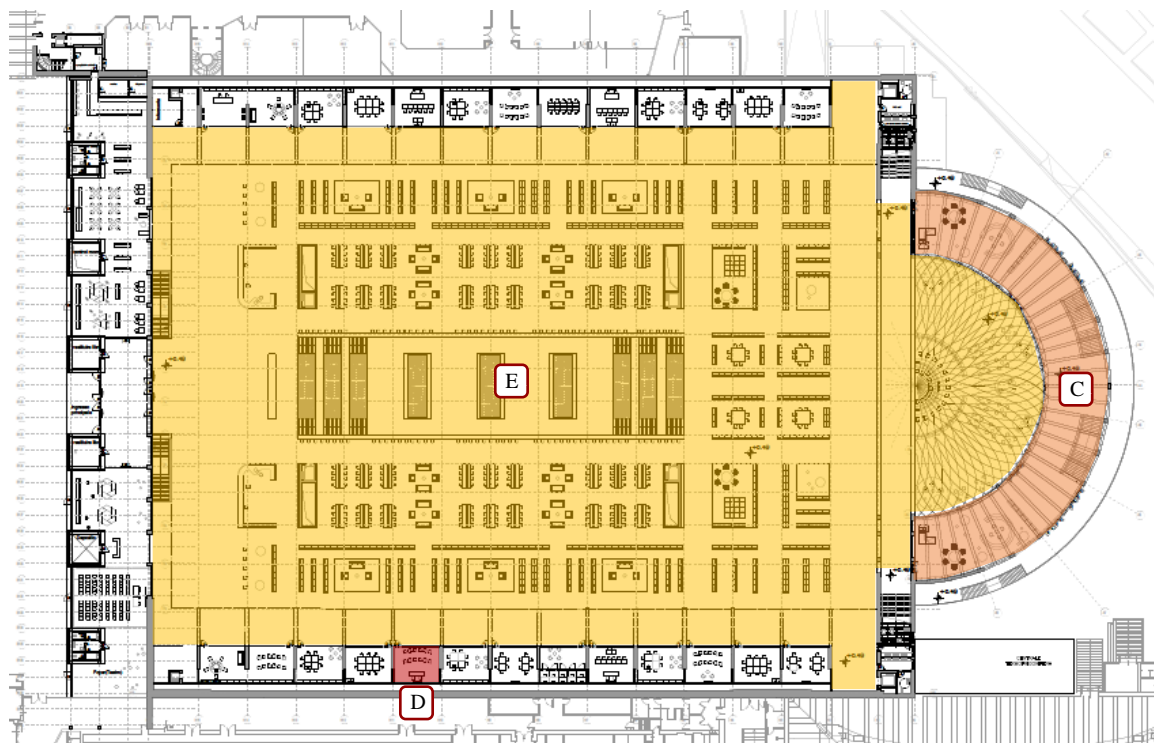


Figura 29– Stato di progetto. Pianta piano terra.

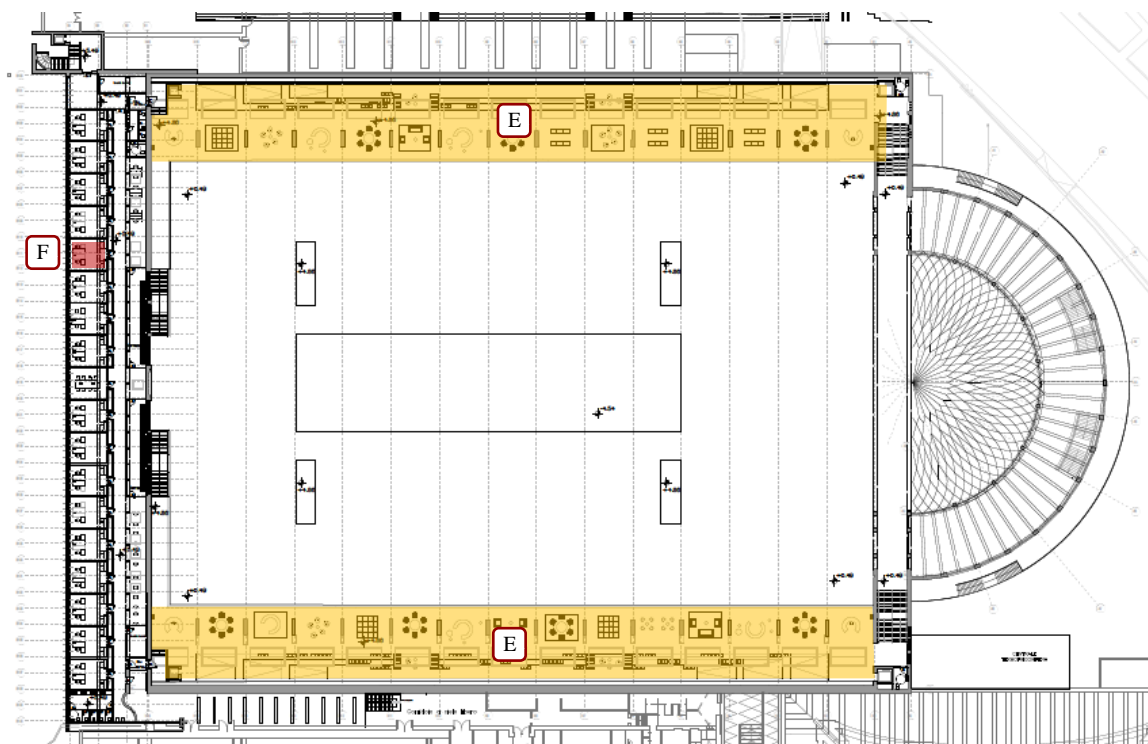


Figura 30– Stato di progetto. Pianta piano primo.

In particolare, si riportano di seguito gli ambienti oggetto di simulazione, per i quali sono state verificate le condizioni di comfort termico:

- A. Piano interrato – Laboratorio
- B. Piano interrato – Biblioteca
- C. Piano terra – Biblioteca e sale approfondimenti tematici
- D. Piano terra – Sala incontri tematici
- E. Piano terra e primo – Biblioteca
- F. Piano primo - uffici

Analizzando gli ambienti sopra selezionati, è possibile osservare come:

- la *navata centrale* del padiglione 2 (caratterizzata dalla lettera E in Figura 4 e Figura 5) è caratterizzata da un unico ambiente di notevoli dimensioni (superficie di pavimento pari a oltre 9.000 m<sup>2</sup> ed altezza libera massima superiore a 20 m) e risulterà climatizzata prevalentemente mediante sistemi di ventilazione a dislocamento e pavimento radiante;
- gli uffici e gli altri ambienti della biblioteca sono costituiti invece da volumi più contenuti con altezze interne più vicine a quelle tradizionalmente utilizzate in edilizia. La climatizzazione di tali ambienti avverrà in parte mediante terminali ad aria (ventilconvettori e bocchette collegate alle UTA) ed in parte mediante sistemi radianti.

### 4.3 Software di simulazione

Le simulazioni per il calcolo del livello di comfort atteso all'interno degli ambienti oggetto di approfondimento sono state effettuate utilizzando due diversi software di analisi CFD (*Computational Fluid Dynamics*): *Design Builder* e *VENTO AEC*, i quali sono descritti nei paragrafi a seguire.

#### 4.3.1 Design Builder

Il software *Design Builder* è caratterizzato da un motore di calcolo che, oltre a permettere la modellazione puntuale in CFD, consente l'esecuzione di analisi in regime dinamico su base annua (valutate con il motore di calcolo *Energy Plus*), in regime stazionario ed illuminotecniche. Tale strumento è normalmente utilizzato per la simulazione di volumi di dimensioni relativamente contenute (es. uffici singoli e open space, sale riunioni, locali comuni, etc), dotati di impianti "tradizionali" (es. climatizzazione mediante ventilconvettori o sistemi radianti). Per tali ragioni è stato utilizzato per lo studio dei seguenti ambienti:

- A. Piano interrato – Laboratorio
- C. Piano terra – Biblioteca e sale approfondimenti tematici
- D. Piano terra – Sala incontri tematici
- E. Piano primo - uffici

Il software 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 (velocità dell'aria, temperature radianti e operanti, mappe di PMV e PPD). Tale software è stato testato mediante un lavoro di convalida, effettuato dalla *Northumbria University*, Newcastle.

#### 4.3.2 Vento AEC

Per quanto concerne il software *VENTO AEC*, questo è stato sviluppato dalla casa produttrice (*CSPFea*) esclusivamente per lo studio di flussi di aria all'interno di volumi complessi e caratterizzati da condizioni al contorno estremamente variabili. Tale strumento è stato utilizzato per la simulazione della navata centrale (ambiente *F*: piano primo e terra – Biblioteca) e dell'ambiente interrato dell'edicola (ambiente *B*: piano interrato – Biblioteca), in quanto caratterizzati da ambienti estremamente ampi e da sistemi di climatizzazione complessi (ugelli a lancio profondo abbinati a sistemi a dislocamento e/o pavimento radiante). Non fornendo direttamente mappe di PMV e PPD, i dati ottenuti mediante tale simulazione sono stati poi aggregati e analizzati globalmente così da ottenere delle previsioni di comfort globali per ambiente.

#### 4.3.3 Definizione delle condizioni al contorno

L'iter progettuale ha previsto la realizzazione di una serie di interventi, riguardanti sia i componenti d'involucro edilizio, sia gli impianti di climatizzazione, finalizzati ad elevare il livello di comfort termologico all'interno dell'edificio.

Si riporta all'interno della Tabella 6 un quadro riassuntivo delle strategie energetiche messe in atto e delle ricadute attese sul comfort termologico degli ambienti interni.

Tabella 6 – Analisi delle strategie energetiche messe in atto e dei benefici attesi sul comfort termo-igrometrico

INTERVENTO	RICADUTE IN TERMINI DI COMFORT TERMO-IGROMETRICO
COIBENTAZIONE DELLA TOTALITÀ DELLE STRUTTURE DELL'INVOLUCRO EDILIZIO CONFINANTI IL VOLUME CLIMATIZZATO E SOSTITUZIONE DEI SERRAMENTI ESISTENTI	Maggiore <u>uniformità della temperatura radiante</u> sia durante il periodo invernale che quello estivo e drastica riduzione dei possibili casi di asimmetria radiante
	Aumento della temperatura superficiale durante il periodo invernale e <u>riduzione dei casi di possibile condensa superficiale e di muffe sulle strutture edilizie</u> (ricaduta positiva per il miglioramento della qualità dell'aria interna anche se non direttamente correlata agli aspetti di comfort termo-igrometrico)
	Riduzione del carico termico in ambiente, così da permettere l' <u>utilizzo di terminali in bassa temperatura</u> per la climatizzazione invernale ed estiva, i quali saranno caratterizzati da una temperatura prossima alla temperatura dell'aria in ambiente
	<u>riduzione della formazione di correnti d'aria</u> convettive conseguenti alla presenza di superfici caratterizzate da temperature superficiali distanti dalla temperatura media dell'aria in ambiente
UTILIZZO DI SISTEMI DI VENTILAZIONE A DISLOCAMENTO	Presenza in ambiente di <u>velocità dell'aria contenute</u> <u>Efficace rimozione degli inquinanti ambientali e dei VOC</u> dalle zone caratterizzate dalla presenza di utenza finale
UTILIZZO DI SISTEMI DI EMISSIONE DEL CALORE IN BASSA TEMPERATURA (SISTEMA RADIANTE A PAVIMENTO)	Maggior <u>uniformità delle temperature in ambiente</u> Utilizzo di <u>sistemi normalmente più silenziosi</u> rispetto a soluzioni che prevedono solo sistemi di emissione tradizionali (bocchette ad alta velocità)

Come riportato in Tabella 6, la **ventilazione a dislocamento** ha permesso di contenere le velocità dell'aria in ambiente e di garantire un efficace smaltimento degli inquinanti (quest'ultimo aspetto acquista particolare efficacia in virtù delle elevate altezze presenti nella navata centrale del padiglione 2). Tale sistema consiste nell'immissione in ambiente di aria a bassa velocità a livello del pavimento, la quale, riscaldandosi grazie a sistemi radianti e ai naturali pennacchi termici caratterizzanti le persone e le apparecchiature elettroniche, aumenta di quota trasportando eventuali inquinanti nella parte alta degli ambienti (volumi non occupati dalle persone), ove questi sono smaltiti.

Tale tecnologia è stata utilizzata in tutti gli ambienti caratterizzati da un'elevata altezza interna, mentre per gli ambienti di altezza più contenuta (es. uffici prospicienti corso Massimo D'Azzeglio o locali presenti sotto le balconate) si è preferito adottare sistemi di ventilazione a miscelazione.

Partendo dall'analisi delle stratigrafie post-riqualificazione e degli interventi di coibentazione/sostituzione sopra descritti, sono stati ricavati i valori di temperatura superficiale interna dei vari locali, mediante l'analisi del flusso termico che attraverserebbe tali componenti edilizi in condizioni di progetto.

Tale flusso termico dipende dal gradiente di temperatura esterno/interno ( $\Delta T$ ), dal coefficiente di scambio termico liminare ( $h_i$ ) e dalla trasmittanza termica ( $U$ ) del componente stesso ed è calcolato con la seguente equazione:

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

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

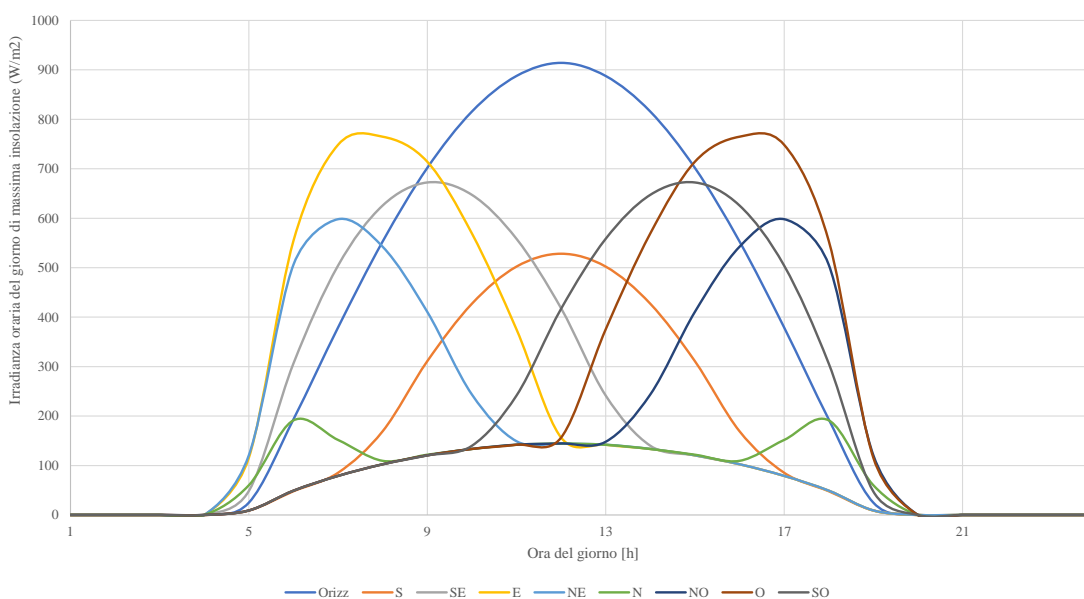
Dove  $h_i$  è il coefficiente di adduzione che vale  $7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  per le superfici verticali interne,  $5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  per le superfici orizzontali interne con flusso discendente e  $10 \text{ W/m}^2\text{K}$  per le superfici orizzontali interne con flusso ascendente (da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

Per il periodo invernale si è considerato quanto segue:

- 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 -8 °C (corrispondente alla temperatura di progetto secondo la norma UNI 5364 e s.m.i.);
- temperatura degli ambienti non climatizzati localizzati al piano interrato pari a 10°C (dato ottenuto utilizzando fattore di correzione  $b_{tr,U}$  da UNI EN 12831:2006 come da elaborati progettuali);
- 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 locali non climatizzati pari a 30,5 °C (assumendo, in via cautelativa, il medesimo valore di progetto utilizzato 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 (all'interno del grafico riportato in Figura 31 sono rappresentati gli andamenti orari per i vari orientamenti dell'irradianza solare caratterizzante del caso in esame).



*Figura 31 – Andamento dell'irradianza oraria del giorno di massima insolazione (W/m<sup>2</sup>)*

In merito alle caratteristiche termiche dei diversi componenti edilizi, si rimanda a quanto contenuto all'interno degli elaborati progettuali di competenza. A titolo indicativo, si riporta a seguire una breve descrizione dei singoli componenti edilizi congiuntamente al relativo livello prestazione considerato (trasmissione termica U):

- **Solaio controterra:** struttura dotata di intercapedine debolmente areata, di strato coibente in poliuretano e di sistema radiante a pavimento (valori di temperatura superficiali definiti tramite i set-point relativi ai pannelli radianti);
- **Solaio verso ambienti non climatizzati siti al piano interrato:** struttura in calcestruzzo armato, dotata di strato coibente in polistirene all'intradosso e di sistema radiante a pavimento (valori di temperatura superficiali definiti tramite i set-point relativi ai pannelli radianti);



- Copertura della navata centrale: struttura in calcestruzzo armato esistente dotata all'estradosso di isolamento termico in polistirene e finitura in lamiera metallica altamente riflettente ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Coperture piane: strutture in laterocemento o calcestruzzo armato esistenti, dotate all'estradosso di isolamento termico in polistirene e finitura in membrana impermeabilizzante altamente riflettente ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Muratura su esterno con isolamento a cappotto: muratura esistente in laterizio forato, con coibentazione dall'esterno mediante pannelli in lana minerale e finitura intonacata ( $U = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ );
- Muratura su esterno con isolamento dall'interno: muratura esistente in laterizio forato, con coibentazione dall'interno in pannelli di poliuretano racchiusi da una contro-parete in cartongesso ( $U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$ );
- Muratura verso vani tecnici siti al piano interrato: muratura in laterizio con coibentazione eseguita in pannelli di lana minerale ( $U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$ );
- Serramenti esterni verticali: elementi dotati di telaio in alluminio e vetro camera basso emissivo a controllo solare ( $U_w = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$  – valore medio previsto a progetto);
- Lucernai orizzontali e serramenti presenti in copertura: elementi dotati di telaio in alluminio e elemento trasparente in policarbonato ( $U_w = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$  – valore medio previsto a progetto);
- Strutture adiabatiche interne al volume climatizzato: strutture edilizie e serramenti interni caratterizzati da temperature superficiali pari alla temperatura di set point del periodo analizzato.

Per quanto concerne gli impianti tecnologici, sono presenti impianti di ventilazione meccanica bilanciata e di climatizzazione invernale ed estiva alimentati questi ultimi da pompe di calore ad acqua. Tali sistemi sono dotati delle seguenti dotazioni per la ventilazione e l'emissione del calore in ambiente:

- sistemi radianti a pavimento;
- ventilconvettori;
- bocchette ed ugelli per l'immissione di aria collegate ad UTA centralizzate.

I dati di funzionamento di ciascuno dei terminali sopracitati sono stati desunti dalla documentazione progettuale inerente agli impianti meccanici e sono riassunti all'interno delle tabelle riportate a seguire:

*Tabella 7 – Definizione dei terminali impiantistici – AMBIENTE A: Piano interrato – Laboratorio*

TIPOLOGIA DI TERMINALE IMPIANTISTICO	FUNZIONAMENTO IN CONDIZIONI DI PROGETTO
PAVIMENTO RADIANTE	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistema in funzione per il riscaldamento, installato a pavimento sull'intera superficie disponibile, dotato di temperatura media pari a 28°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistema in funzione per il raffrescamento, installato a pavimento sull'intera superficie disponibile, dotato di temperatura media pari a 21°C</p>
BOCCHETTA LINEARE	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria ed il riscaldamento con portata della singola bocchetta pari a 350 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 25°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria e il raffrescamento, con portata della singola bocchetta pari a 350 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 16°C</p>

*Tabella 8 – Definizione dei terminali impiantistici – AMBIENTE B: Piano interrato – Biblioteca*

TIPOLOGIA DI TERMINALE IMPIANTISTICO	FUNZIONAMENTO IN CONDIZIONI DI PROGETTO
PAVIMENTO RADIANTE	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistema in funzione per il riscaldamento, installato a pavimento sull'intera superficie disponibile, dotato di temperatura media pari a 28°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistema in funzione per il raffrescamento, installato a pavimento sull'intera superficie disponibile, dotato di temperatura media pari a 21°C</p>
UGELLO A LANCIO PROFONDO	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria ed il riscaldamento con portata della singola bocchetta pari a 200 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 28°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria e il raffrescamento, con portata della singola bocchetta pari a 200 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 16°C</p>

*Tabella 9 – Definizione dei terminali impiantistici – AMBIENTE C: Piano terra – Biblioteca e sale approfondimenti tematici*

TIPOLOGIA DI TERMINALE IMPIANTISTICO	FUNZIONAMENTO IN CONDIZIONI DI PROGETTO
PAVIMENTO RADIANTE	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistema in funzione per il riscaldamento, installato a pavimento sull'intera superficie disponibile, dotato di temperatura media pari a 28°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistema in funzione per il raffrescamento, installato a pavimento sull'intera superficie disponibile, dotato di temperatura media pari a 21°C</p>
VENTILCONVETTORI	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistemi in funzione per il riscaldamento con immissione di aria in ambiente per circa 455 m<sup>3</sup>/h per terminale e temperatura dell'aria immessa pari a 35°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistemi in funzione per il raffrescamento con immissione di aria in ambiente per circa 455 m<sup>3</sup>/h per terminale e temperatura dell'aria immessa pari a 15°C</p>
DIFFUSORE A DISLOCAMENTO A PAVIMENTO	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria con portata della singola bocchetta pari a 100 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 20°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria e il raffrescamento, con portata della singola bocchetta pari a 120 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 21°C</p>

*Tabella 10 – Definizione dei terminali impiantistici – AMBIENTE D: Piano terra – Sala incontri tematici*

TIPOLOGIA DI TERMINALE IMPIANTISTICO	FUNZIONAMENTO IN CONDIZIONI DI PROGETTO
PAVIMENTO RADIANTE	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistema in funzione per il riscaldamento, installato a pavimento sull'intera superficie disponibile, dotato di temperatura media pari a 28°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistema in funzione per il raffrescamento, installato a pavimento sull'intera superficie disponibile, dotato di temperatura media pari a 21°C</p>
DIFFUSORE A BOCCHETTE COMBINATO MANDATA/RIPRESA	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria ed il riscaldamento con portata della singola bocchetta pari a 250 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 25°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria e il raffrescamento, con portata della singola bocchetta pari a 250 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 16°C</p>

*Tabella 11 – Definizione dei terminali impiantistici – AMBIENTE E: Piano terra e primo – Biblioteca*

TIPOLOGIA DI TERMINALE IMPIANTISTICO	FUNZIONAMENTO IN CONDIZIONI DI PROGETTO
PAVIMENTO RADIANTE	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistema in funzione per il riscaldamento, installato a pavimento sull'intera superficie disponibile, dotato di temperatura media pari a 28°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistema in funzione per il raffrescamento, installato a pavimento sull'intera superficie disponibile, dotato di temperatura media pari a 21°C</p>
DIFFUSORE A DISLOCAMENTO A PAVIMENTO (NAVATA CENTRALE)	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria con portata della singola bocchetta pari a 100 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 20°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria e il raffrescamento, con portata della singola bocchetta pari a 120 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 21°C</p>
UGELLO A LANCIO PROFONDO (BALCONATE E GIARDINO IPOGEO)	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria ed il riscaldamento con portata della singola bocchetta pari a 225 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 25°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria e il raffrescamento, con portata della singola bocchetta pari a 225 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 16°C</p>

*Tabella 12 – Definizione dei terminali impiantistici – AMBIENTE F: Piano primo - Uffici*

TIPOLOGIA DI TERMINALE IMPIANTISTICO	FUNZIONAMENTO IN CONDIZIONI DI PROGETTO
BOCCHETTA LINEARE	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria ed il riscaldamento con portata della singola bocchetta pari a 370 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 23°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistema in funzione per il ricambio dell'aria e il raffrescamento, con portata della singola bocchetta pari a 370 m<sup>3</sup>/h e temperatura dell'aria immessa pari a 23°C</p>
VENTILCONVETTORI CANALIZZATI	<p><b>STAGIONE INVERNALE:</b> sistemi in funzione per il riscaldamento con immissione di aria in ambiente per circa 420 m<sup>3</sup>/h a terminale e temperatura dell'aria immessa pari a 35°C</p> <p><b>STAGIONE ESTIVA:</b> sistemi in funzione per il raffrescamento con immissione di aria in ambiente per circa 420 m<sup>3</sup>/h per terminale e temperatura dell'aria immessa pari a 15°C</p>

Per quanto riguarda invece i parametri relativi al singolo individuo, si segnala quanto segue:

- **l'attività metabolica** è stata valutata pari a **1,2 met**, valore corrispondente ad un'attività sedentaria;
- **il livello di abbigliamento** degli utenti è stato valutato pari a:
  - o **1 clo** per la stagione invernale;
  - o **0,7 clo** per la stagione estiva.

#### 4.4 Risultati dei calcoli: software Design Builder

##### 4.4.1 AMBIENTE A: piano interrato – Laboratorio

L'ambiente in oggetto è localizzato al piano interrato, al di sotto della navata centrale del padiglione 2. Analizzandone l'involucro edilizio, si segnala che:

- due pareti verticali confinano con i locali tecnici localizzati al piano interrato, e sono caratterizzate da una temperatura superficiale pari a 19°C per la stagione invernale e 26°C per quella estiva;
- una parete (prevalentemente vetrata) e la copertura confinano con altri ambienti climatizzati, pertanto si è adottata una temperatura superficiale pari a 20°C per la stagione invernale e 26°C per quella estiva;
- il pavimento presenta al suo interno le serpentine utilizzate per la climatizzazione invernale ed estiva e presenta una temperatura superficiale pari a 28°C per la stagione invernale e 20°C per quella estiva.

Da un punto di vista impiantistico, sono presenti i terminali elencati in Tabella 7.

#### REGIME INVERNALE

Si riporta a seguire alcuni estratti dal software di calcolo *Design Builder*, in cui sono rappresentate le mappe relative alla distribuzione del parametro *PMV* per il regime invernale.

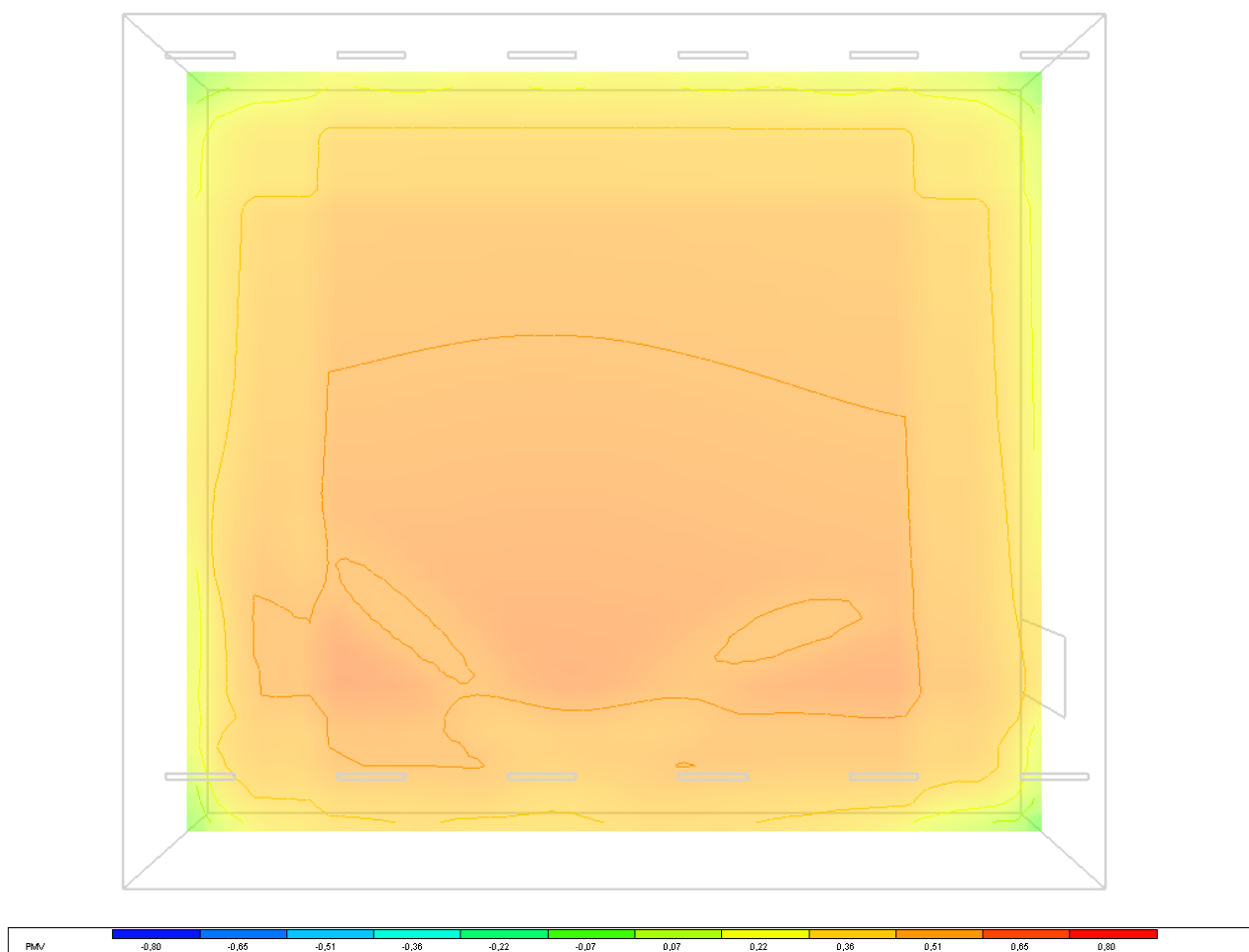


Figura 32 – Ambiente A – PMV regime invernale

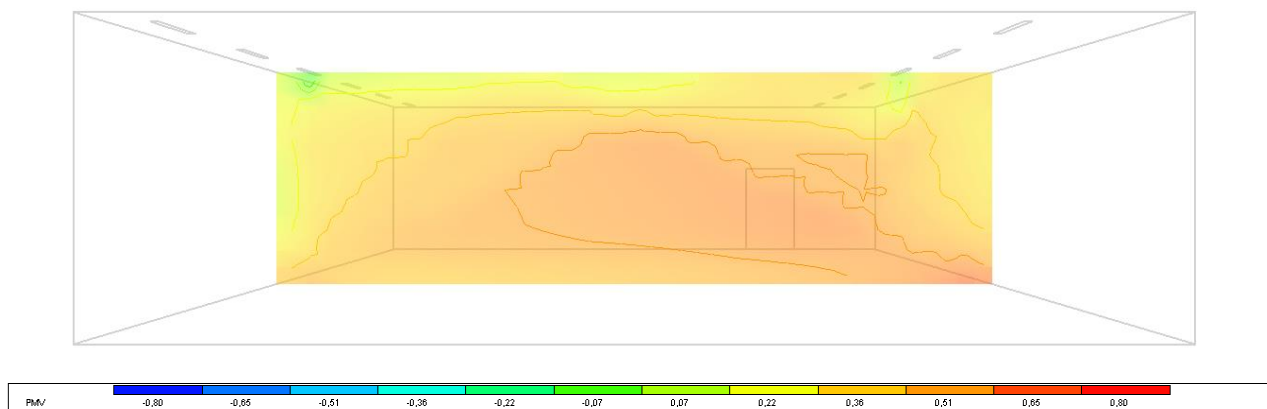


Figura 33 – Ambiente A – PMV regime invernale

Dall'analisi di tali elaborazioni, si evince come i valori di *PMV* per le zone occupate varino tra -0,5 e +0,5, corrispondenti alla classe B prevista dalla norma.

**REGIME ESTIVO**

Si riporta a seguire alcuni estratti dal software di calcolo *Design Builder*, in cui sono rappresentate le mappe relative alla distribuzione del parametro *PMV* per il regime estivo.

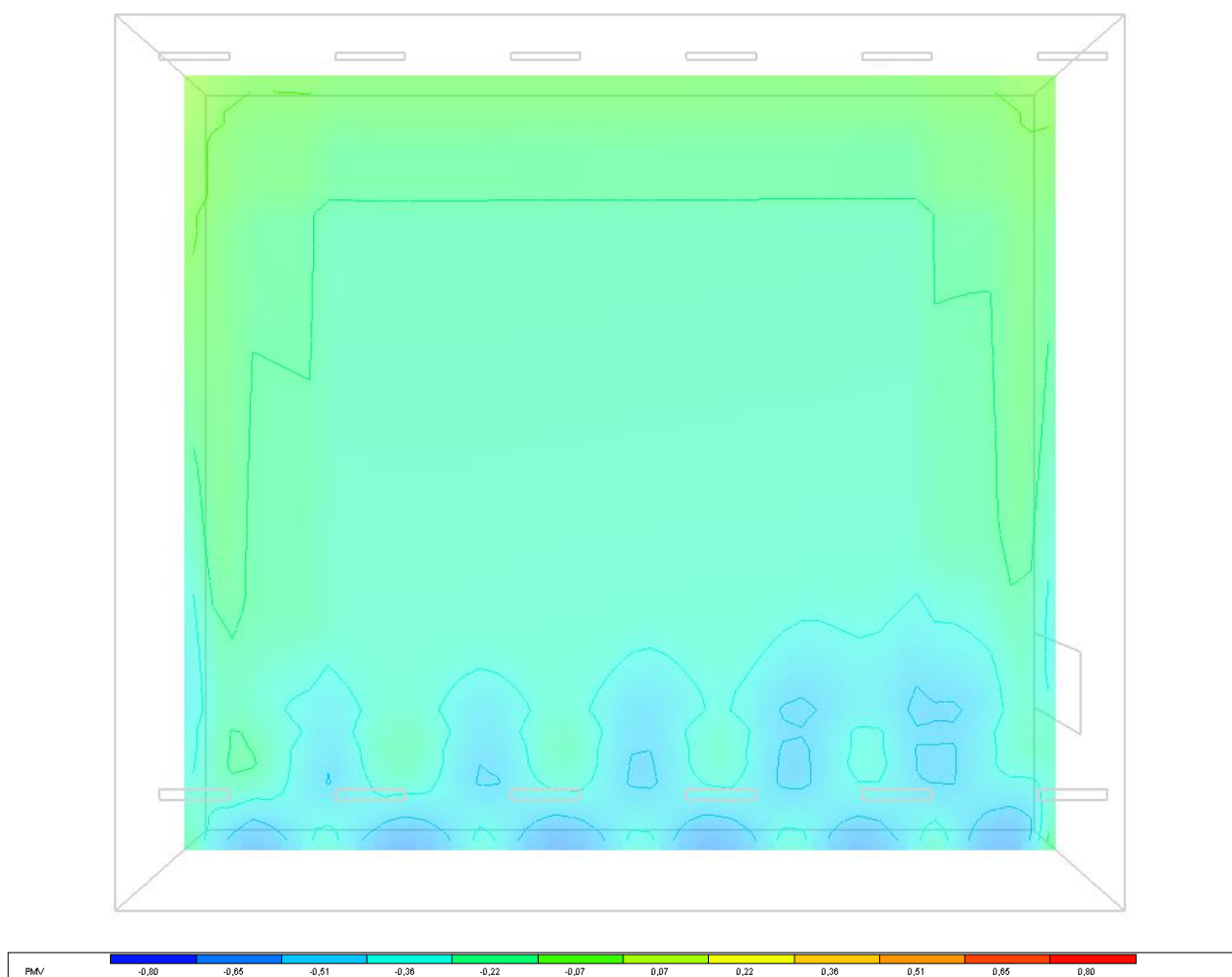


Figura 34 – Ambiente A – PMV regime estivo

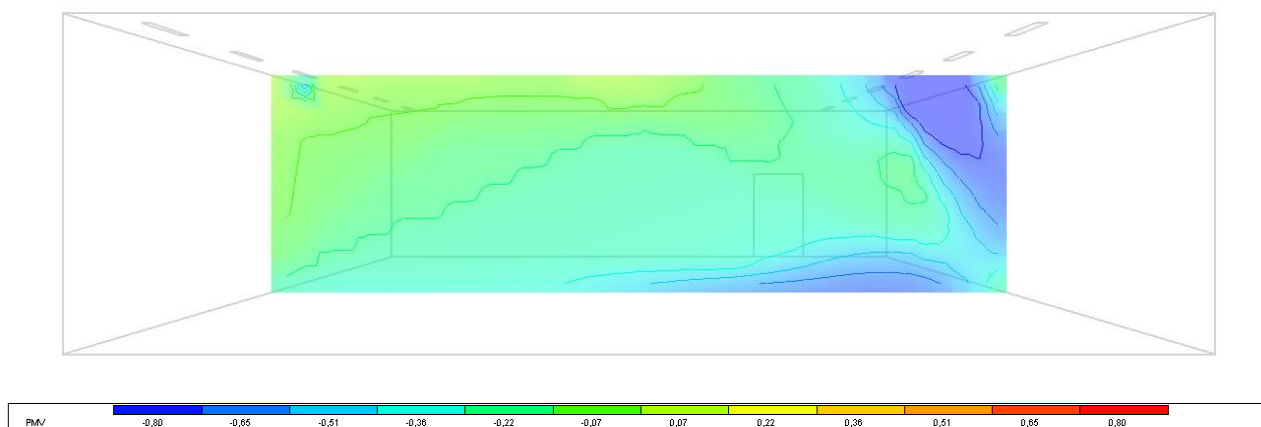


Figura 35 – Ambiente A – PMV regime estivo

Dall'analisi di tali elaborazioni, si evince come i valori di *PMV* per le zone occupate varino tra -0,5 e +0,5, corrispondenti alla classe B prevista dalla norma. Si segnala come alcune zone localizzate in corrispondenza del lancio delle bocchette dell'aria presentino valori di *PMV* inferiori a -0,5. Tuttavia tali zone non sono interessate dall'occupazione continuativa, in quanto zone di passaggio e/o adiacenti alle pareti esterne e quindi non particolarmente rilevanti ai fini del comfort termico. In linea generale si specifica che il progetto esecutivo, occupandosi della selezione puntuale dei terminali d'impianto, dovrà tenere in maggiore considerazione la posizione e l'orientamento di queste bocchette in modo da minimizzare il più possibile il rischio di discomfort.

#### 4.4.2 AMBIENTE C: piano terra – Biblioteca e sale approfondimenti tematici

L'ambiente in oggetto è localizzato al piano terreno, all'interno della porzione di edificio denominata padiglione 4 (volume semicircolare localizzato nella porzione sud est del fabbricato).

Analizzandone l'involucro edilizio, si segnala che:

- la parete curva confina con l'esterno risulta occupata da un'importante superficie finestrata (di nuova installazione), mentre le porzioni in muratura opache sono oggetto di coibentazione dall'esterno. Per quanto concerne la simulazione invernale si è adottata una temperatura superficiale interna pari a 19°C per le strutture opache e pari a 14°C per le strutture trasparenti. Per quanto concerne invece la simulazione estiva, risulta valido quanto segue:
  - le strutture opache presentano una temperatura superficiale pari a 27°C;
  - le strutture trasparenti sono state imputate nel calcolo considerando la radiazione termica che potrebbe verificarsi in condizione di massimo irraggiamento solare (si veda l'andamento dell'irraggiamento solare descritto in Figura 31), tenendo conto inoltre del fattore solare del serramento ( $g_{gl,sh}$  pari al 35%) e di una contrazione del 10% imputabile alla presenza di telai opachi e di ostruzioni esterne;
- relativamente alle pareti confinanti verso l'interno del fabbricato, si è adottata una temperatura superficiale pari a 20°C per la stagione invernale e 26°C per quella estiva;
- la copertura risulta coibentata dall'esterno e racchiusa da una finitura altamente riflettente e presenta una temperatura superficiale pari a 19°C per la stagione invernale e pari a 27°C per quella estiva;
- il pavimento racchiude al suo interno le serpentine utilizzate per la climatizzazione invernale ed estiva ed è caratterizzato da una temperatura superficiale pari a 28°C per la stagione invernale e 20°C per quella estiva.

Da un punto di vista impiantistico, sono presenti i terminali elencati in Tabella 9.

## REGIME INVERNALE

Si riporta a seguire alcuni estratti dal software di calcolo *Design Builder*, in cui sono rappresentate le mappe relative alla distribuzione del parametro *PMV* per il regime invernale.

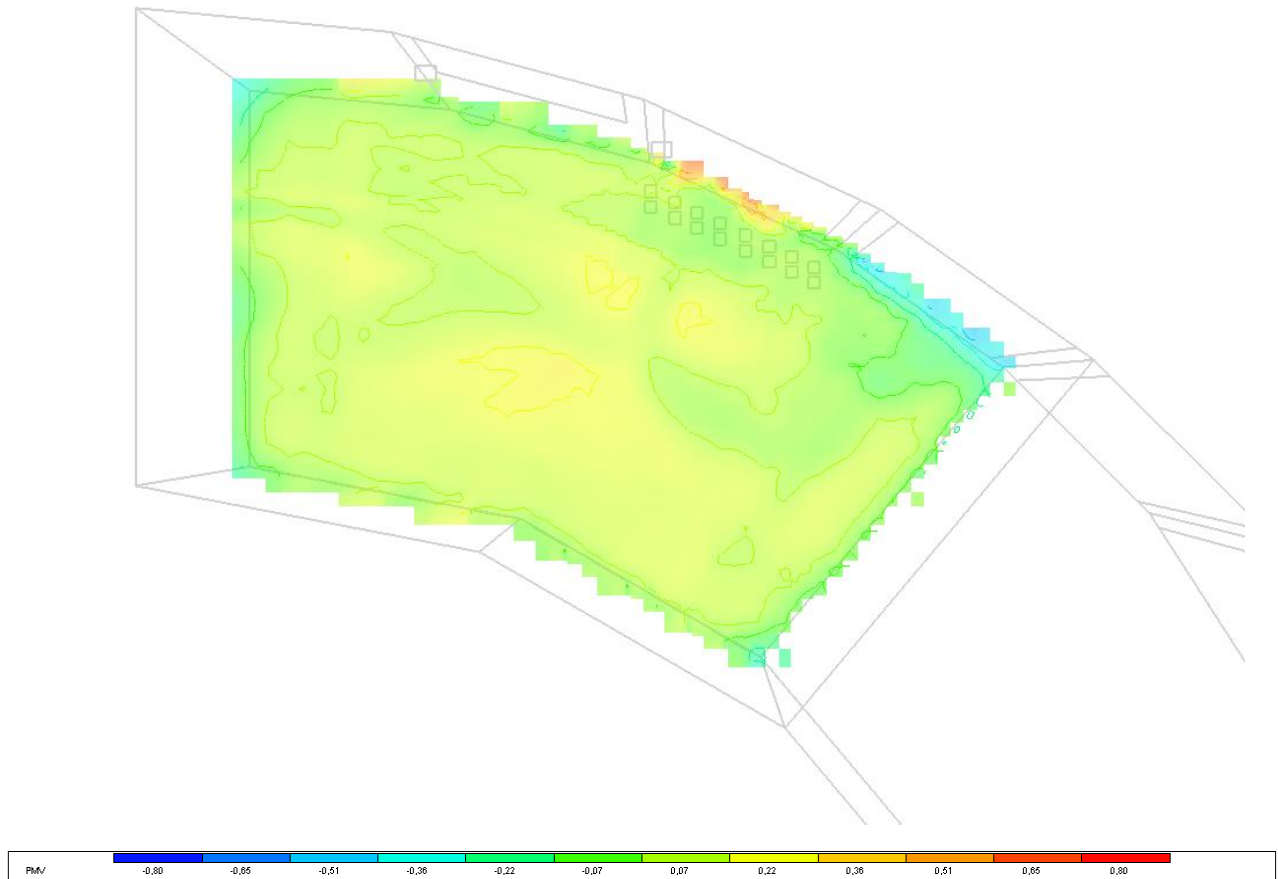


Figura 36 – Ambiente C – PMV regime invernale

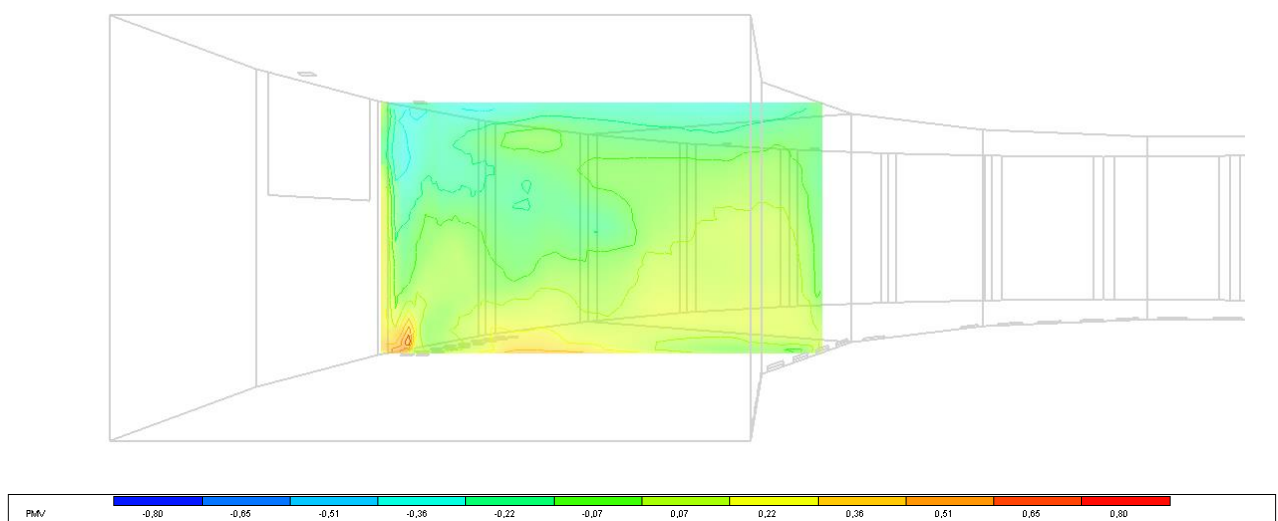


Figura 37 – Ambiente C – PMV regime invernale

Dall'analisi di tali elaborazioni, si evince come i valori di *PMV* per le zone occupate varino tra -0,5 e +0,5, corrispondenti alla classe B prevista dalla norma.

**REGIME ESTIVO**

Si riporta a seguire alcuni estratti dal software di calcolo *Design Builder*, in cui sono rappresentate le mappe relative alla distribuzione del parametro PMV per il regime estivo.

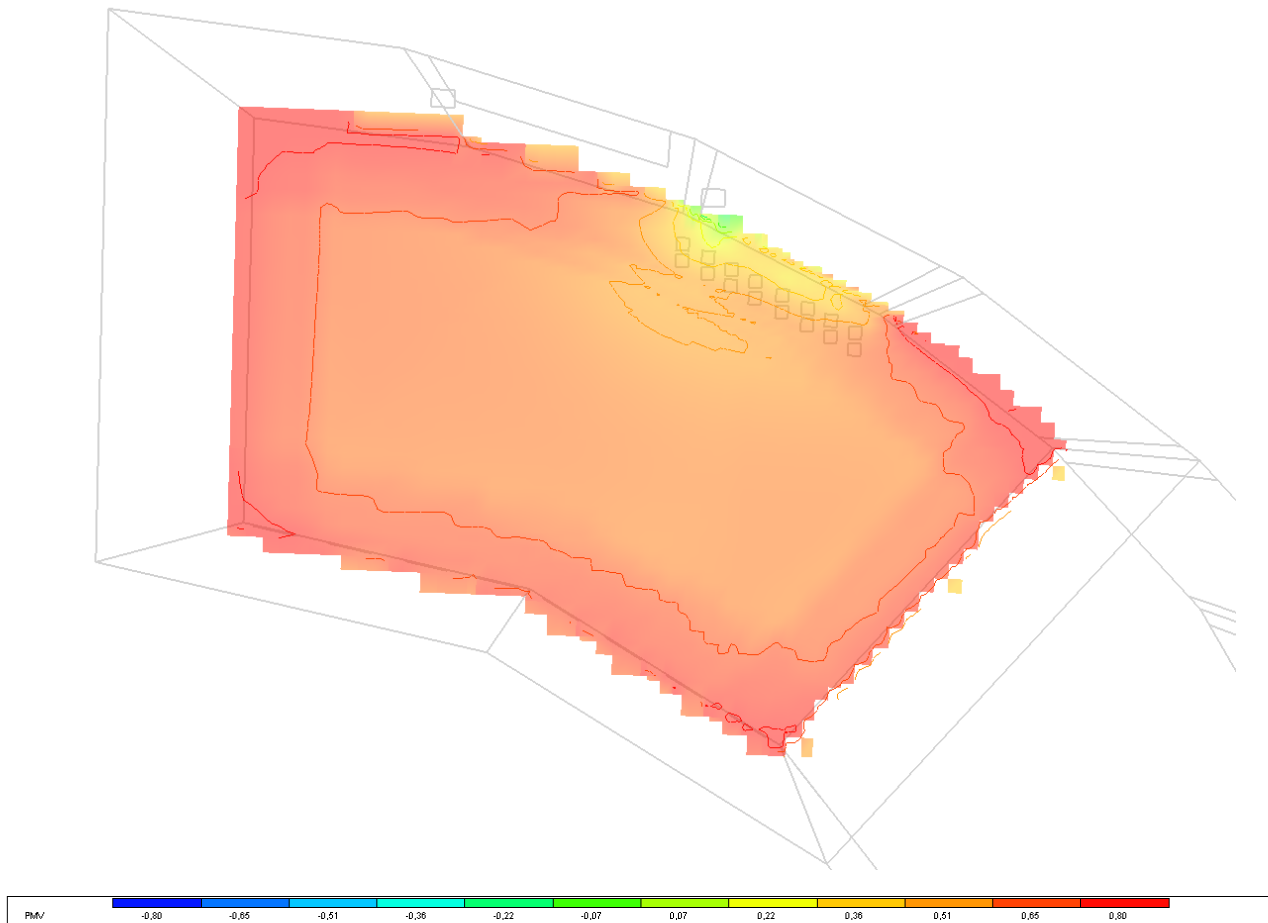


Figura 38 – Ambiente C – PMV regime estivo

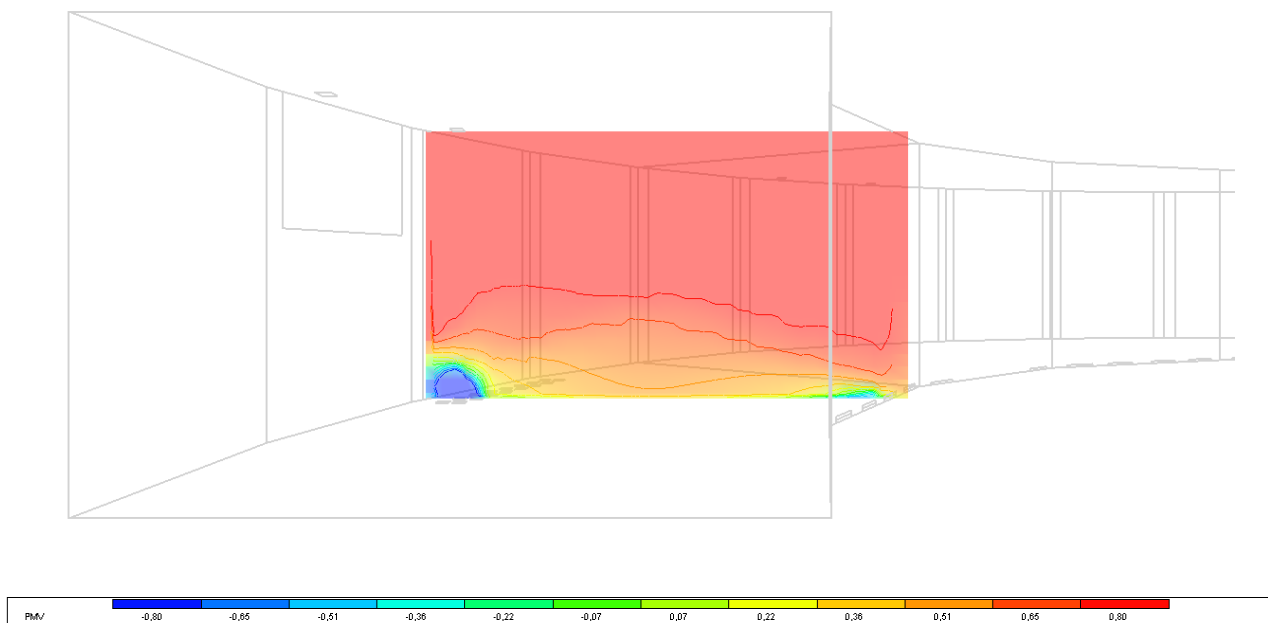


Figura 39 – Ambiente C – PMV regime estivo



Dall'analisi dei risultati ottenuti dalle simulazioni, è possibile osservare come la porzione del volume caratterizzata da un'occupazione continua da parte degli utenti (cioè la fascia compresa tra la quota di pavimento e un'altezza di circa 2m) presenta valori di *PMV* compresi tra +0,2 e +0,5, con alcune porzioni che raggiungono i +0,70. Tali condizioni permettono di affermare come l'ambiente risulti prevalentemente compreso all'interno della classe di comfort B, ma a causa dell'elevata incidenza della radiazione solare, alcune porzioni ricadono all'interno della classe C. Tali condizioni sono direttamente correlate alla particolare geometria della struttura e all'impossibilità di installare schermature solari esterne in virtù dei vincoli architettonici gravanti sull'edificio. Si ritiene tuttavia che il risultato raggiunto in termini di comfort termico sia sufficientemente cautelativo per i futuri occupanti in quanto anche in presenza delle condizioni esterne più gravose (poche ore all'anno), l'ambiente risulta almeno in Classe C. Il progetto esecutivo dovrà intervenire per l'ulteriore miglioramento delle condizioni interne mediante scelte puntuali di terminali impiantistici ed elementi dell'involucro (in particolare sulla prestazione del vetro) oltre che di tendaggi interni tecnici per l'ulteriore contenimento dell'incidenza della radiazione entrante.

#### 4.4.3 AMBIENTE D: piano terra– Sala incontri tematici

L'ambiente in oggetto è localizzato al piano terra, ai lati della navata centrale del padiglione 2.

Analizzandone l'involucro edilizio, si segnala che: -

- la parete frontale, le due laterali ed il soffitto separano l'ambiente in oggetto da altri locali dotati di terminali per la climatizzazione invernale ed estiva, pertanto si è considerata una temperatura superficiale pari a 20°C per la stagione invernale e 26°C per quella estiva
- Per quanto concerne le pareti confinate con il vano tecnico (parete opposta a quella confinante con la navata centrale) si è adottata una temperatura superficiale pari a 19°C per la stagione invernale e 27°C per quella estiva;
- il pavimento presenta al suo interno le serpentine utilizzate per la climatizzazione invernale ed estiva ed è caratterizzato da una temperatura superficiale pari a 28°C per la stagione invernale e 20°C per quella estiva.

Da un punto di vista impiantistico, sono presenti i terminali elencati in Tabella 10.

#### REGIME INVERNALE

Si riporta a seguire alcuni estratti dal software di calcolo *Design Builder*, in cui sono rappresentate le mappe relative alla distribuzione del parametro *PMV* per il regime invernale.

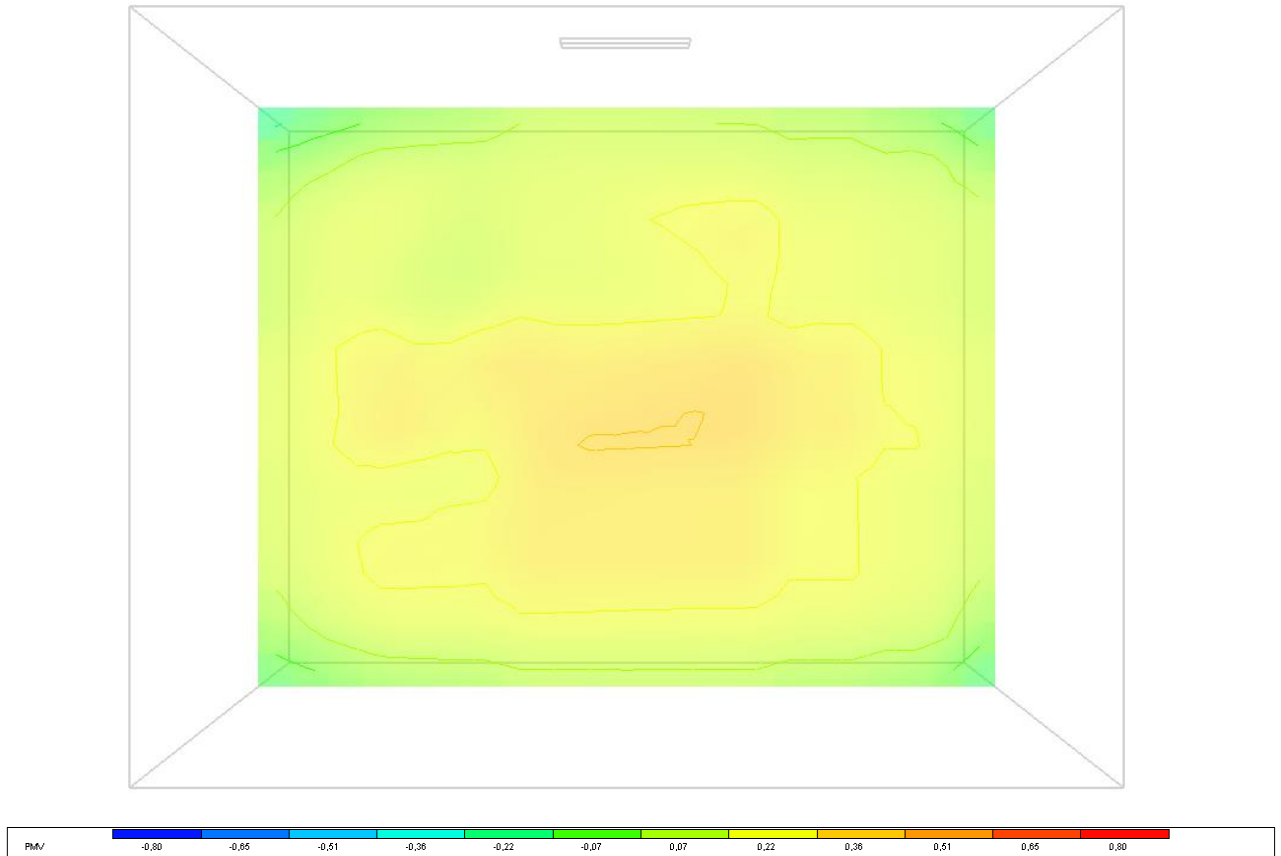


Figura 40 – Ambiente D – PMV regime invernale

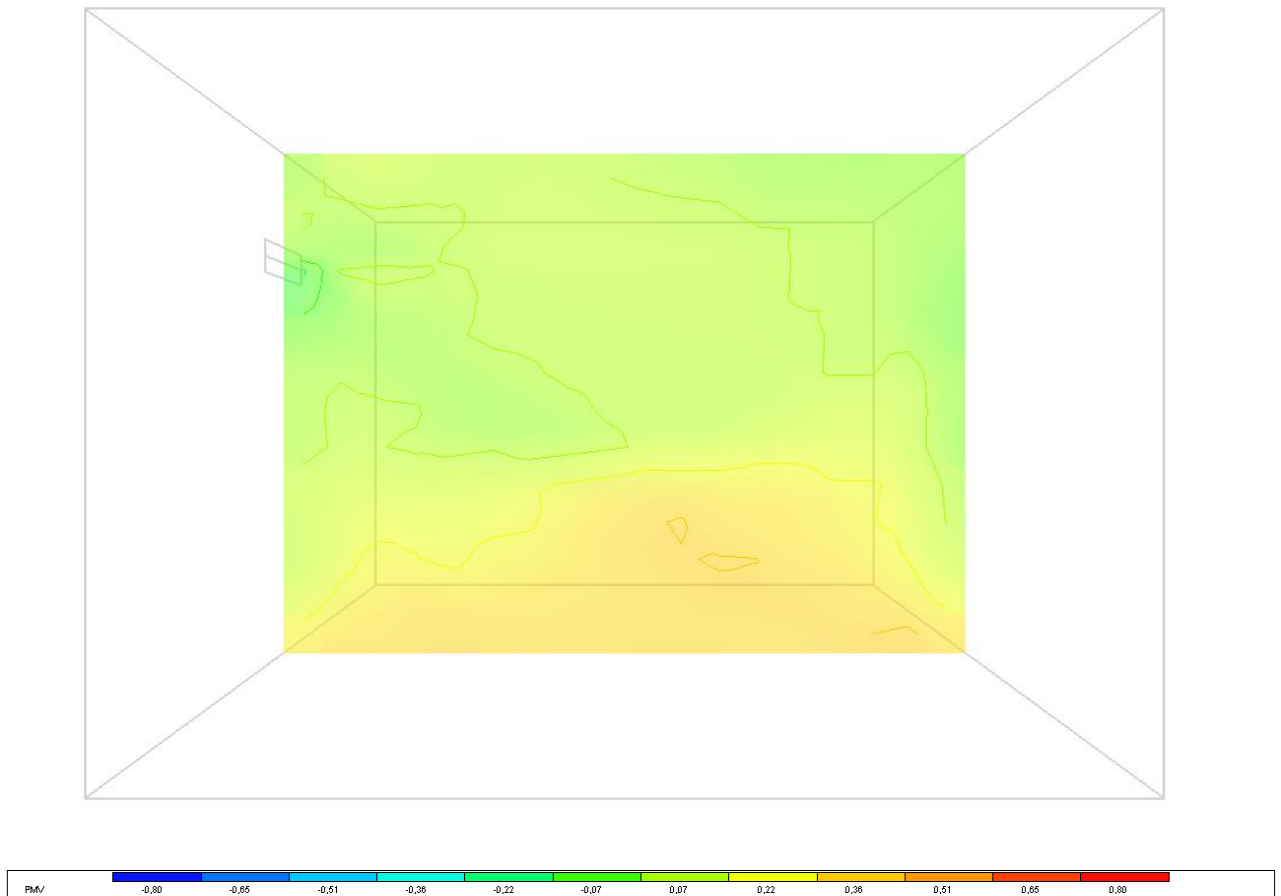


Figura 41 – Ambiente D – PMV regime invernale

Dall'analisi di tali elaborazioni, si evince come i valori di *PMV* per le zone occupate varino tra -0,5 e +0,5, corrispondenti alla classe B prevista dalla norma.

### REGIME ESTIVO

Si riporta a seguire alcuni estratti dal software di calcolo *Design Builder*, in cui sono rappresentate le mappe relative alla distribuzione del parametro *PMV* per il regime estivo.

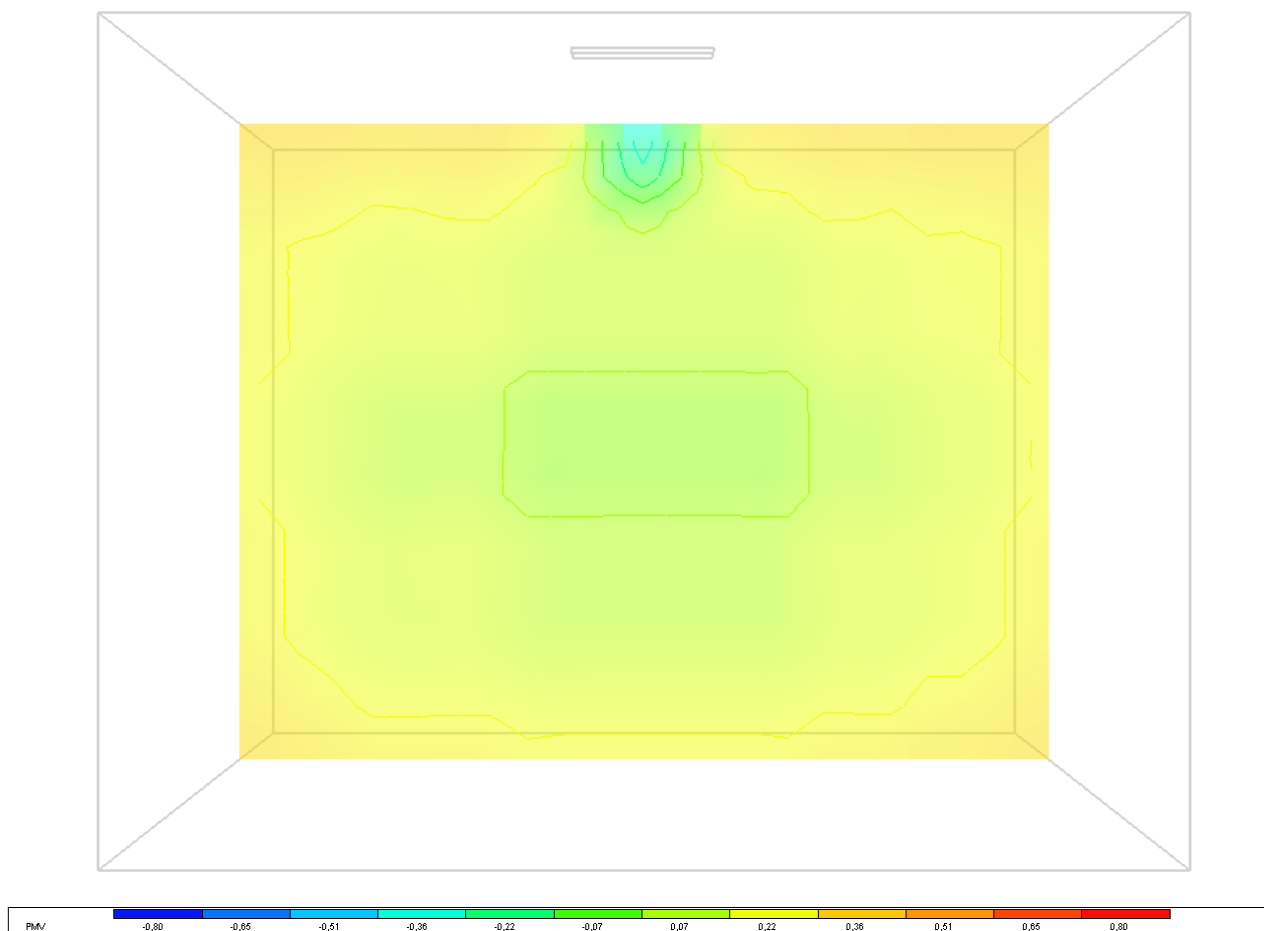


Figura 42 – Ambiente D – *PMV* regime estivo

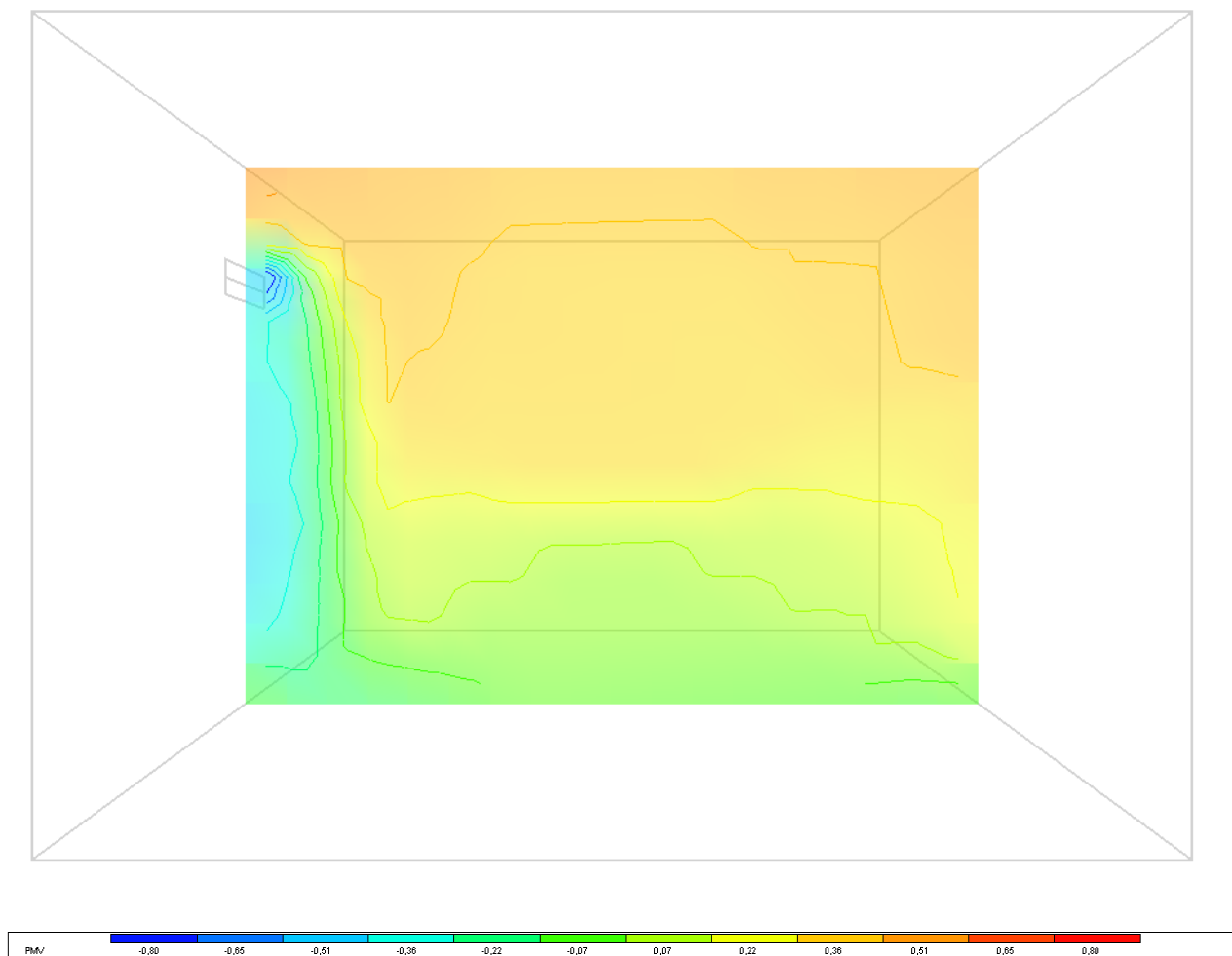


Figura 43 – Ambiente D – PMV regime estivo

Dall'analisi di tali elaborazioni, si evince come i valori di *PMV* per le zone occupate varino tra -0,5 e +0,5, corrispondenti alla classe B prevista dalla norma.

#### 4.4.4 AMBIENTE F: piano primo – uffici

L'ambiente in oggetto è localizzato al piano primo della manica prospiciente corso Massimo D'Azeglio ed è stata simulata considerando quanto segue:

- la parete prospiciente corso Massimo D'Azeglio è oggetto di coibentazione dall'interno ed è occupata parzialmente da un serramento a nastro oggetto di sostituzione. Per quanto riguarda la porzione opaca, si è considerata una temperatura superficiale invernale pari a 19°C, mentre durante il periodo estivo tale parametro è pari a 27°C. Per quanto concerne invece il serramento si è considerata una temperatura invernale pari a 14°C (considerata in assenza di radiazione solare), mentre per il periodo estivo, si è valutato il flusso termico entrante in condizioni di massimo irraggiamento solare (si veda l'andamento dell'irraggiamento solare descritto in Figura 31), tenendo conto inoltre del fattore solare del serramento ( $g_{gl,sh}$  pari al 35%);
- Per quanto concerne le altre pareti opache ed il solaio di pavimento, essendo disperdenti verso altri ambienti climatizzati, si è adottata una temperatura superficiale pari a 20°C per la stagione invernale e 26°C per quella estiva;
- la copertura risulta coibentata dall'esterno e racchiusa da una finitura altamente riflettente; la temperatura superficiale invernale è stata valutata pari a 19°C, mentre per la stagione estiva è pari a 27°C.

Da un punto di vista impiantistico, sono presenti i terminali elencati in Tabella 12.

### REGIME INVERNALE

Si riporta a seguire alcuni estratti dal software di calcolo *Design Builder*, in cui sono rappresentate le mappe relative alla distribuzione del parametro *PMV* per il regime invernale.

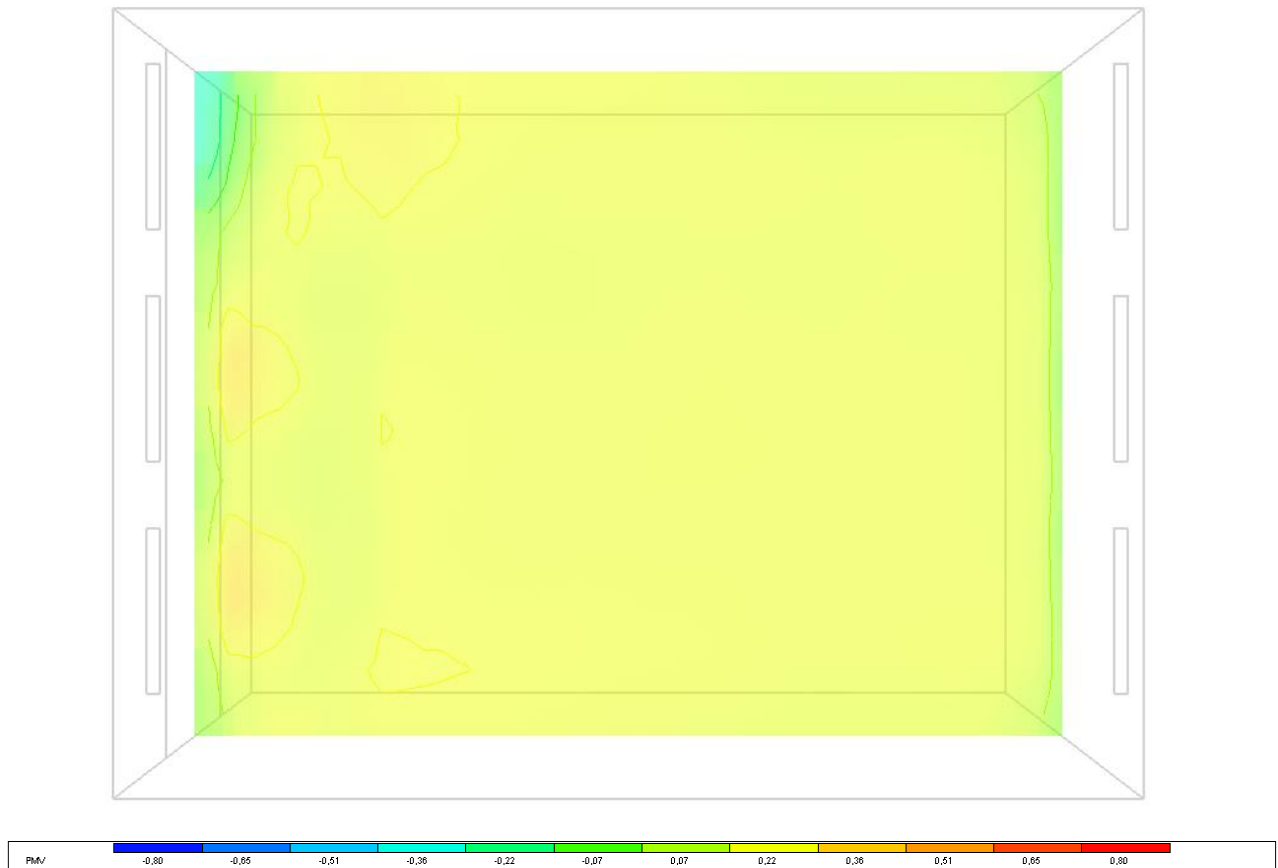


Figura 44 – Ambiente F – PMV regime invernale

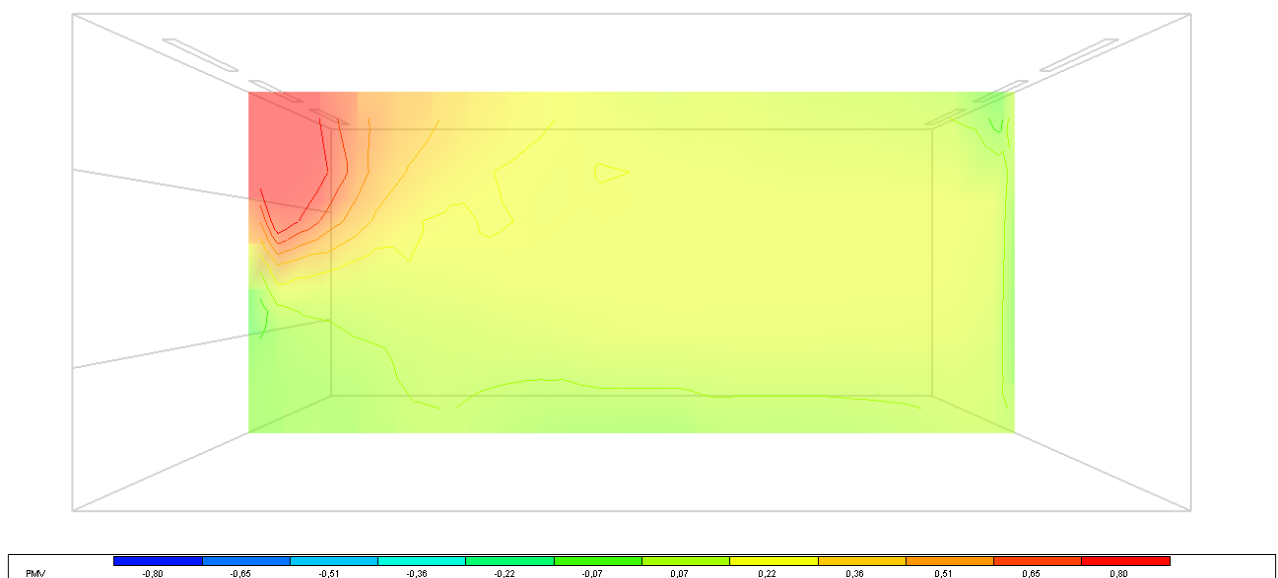


Figura 45 – Ambiente F – PMV regime invernale

Dall'analisi di tali elaborazioni, si evince come i valori di *PMV* per le zone occupate varino tra -0,5 e +0,5, corrispondenti alla classe B prevista dalla norma.

### REGIME ESTIVO

Si riporta a seguire alcuni estratti dal software di calcolo *Design Builder*, in cui sono rappresentate le mappe relative alla distribuzione del parametro *PMV* per il regime estivo.

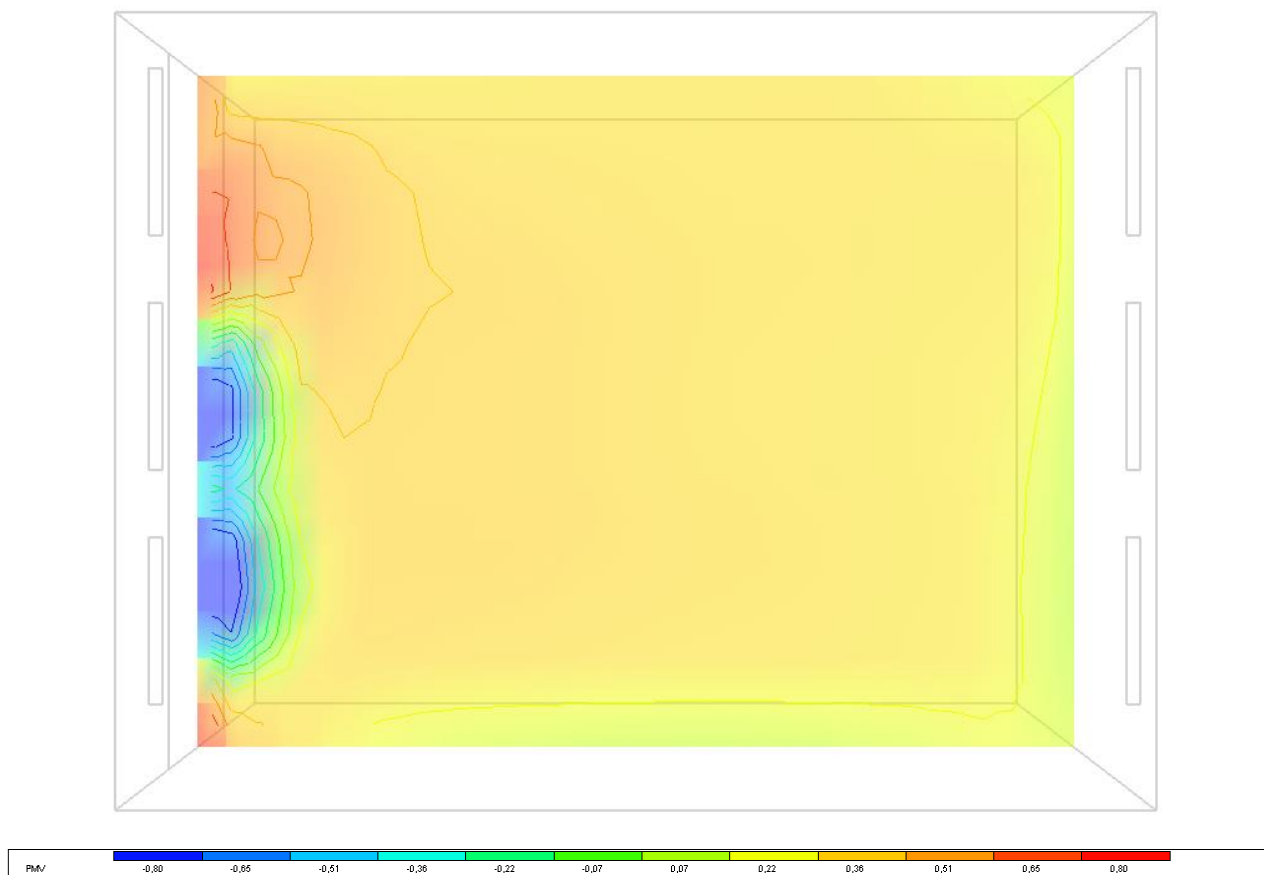


Figura 46 – Ambiente F – *PMV* regime estivo

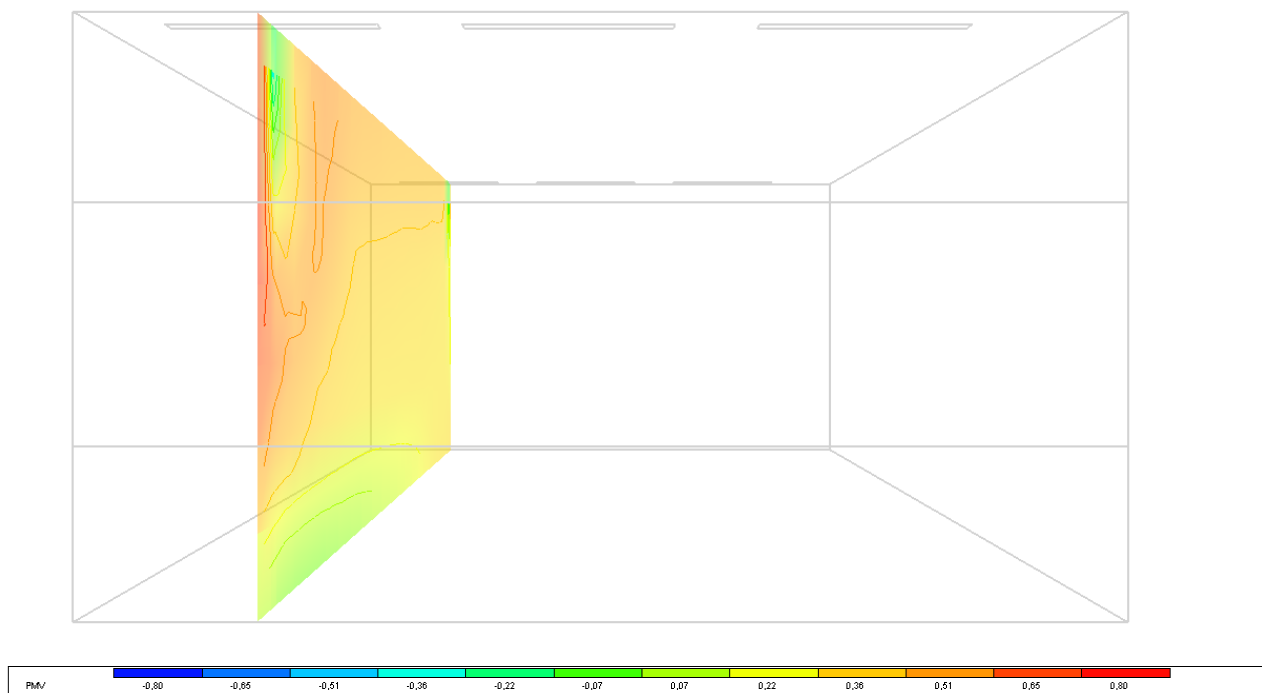


Figura 47 – Ambiente F – PMV regime estivo

Dall'analisi di tali elaborazioni, si evince come i valori di *PMV* per le zone occupate varino tra -0,5 e +0,5, corrispondenti alla classe B prevista dalla norma. Si segnala come la zona sottostante le bocchette dell'aria afferenti al ventilconvettore canalizzato presenti un valore di *PMV* inferiore a -0,5. Tale zona non è considerata una zona occupata (adiacente alla parete esterna) e quindi si ritiene lo scostamento evidenziato non influente ai fini delle valutazioni di comfort.

## 4.5 Risultati dei calcoli: software Vento AEC

### 4.5.1 AMBIENTE B: piano interrato – Biblioteca

L'ambiente in oggetto è localizzato al piano interrato della porzione di edificio denominata padiglione 4 (volume semicircolare localizzato nella porzione sud est). Analizzandone l'involucro edilizio, si segnala che:

- La parete lineare localizzata verso l'interno del complesso, comunica con un ambiente climatizzato utilizzato come deposito, pertanto si è adottata una temperatura superficiale pari a 20°C per la stagione invernale e 26°C per quella estiva
- Per quanto concerne le pareti confinanti con l'esterno si è adottata una temperatura superficiale pari a 19°C per la stagione invernale e 27°C per quella estiva;
- La copertura e le pareti che racchiudono la scala di accesso all'ambiente in esame, sono state ipotizzate adiabatiche (in quanto confinanti con i volumi climatizzati soprastanti), pertanto si è adottata una temperatura superficiale pari a 20°C per la stagione invernale e 26°C per quella estiva;
- il pavimento presenta al suo interno le serpentine utilizzate per la climatizzazione invernale ed estiva e presenta una temperatura superficiale pari a 28°C per la stagione invernale e 20°C per quella estiva.

Da un punto di vista impiantistico, sono presenti i terminali elencati in Tabella 8.

#### REGIME INVERNALE

Si riporta a seguire alcuni estratti dal software di calcolo *Vento AEC*, in cui sono rappresentate le mappe relative alla distribuzione della velocità dell'aria in ambiente per il regime invernale.

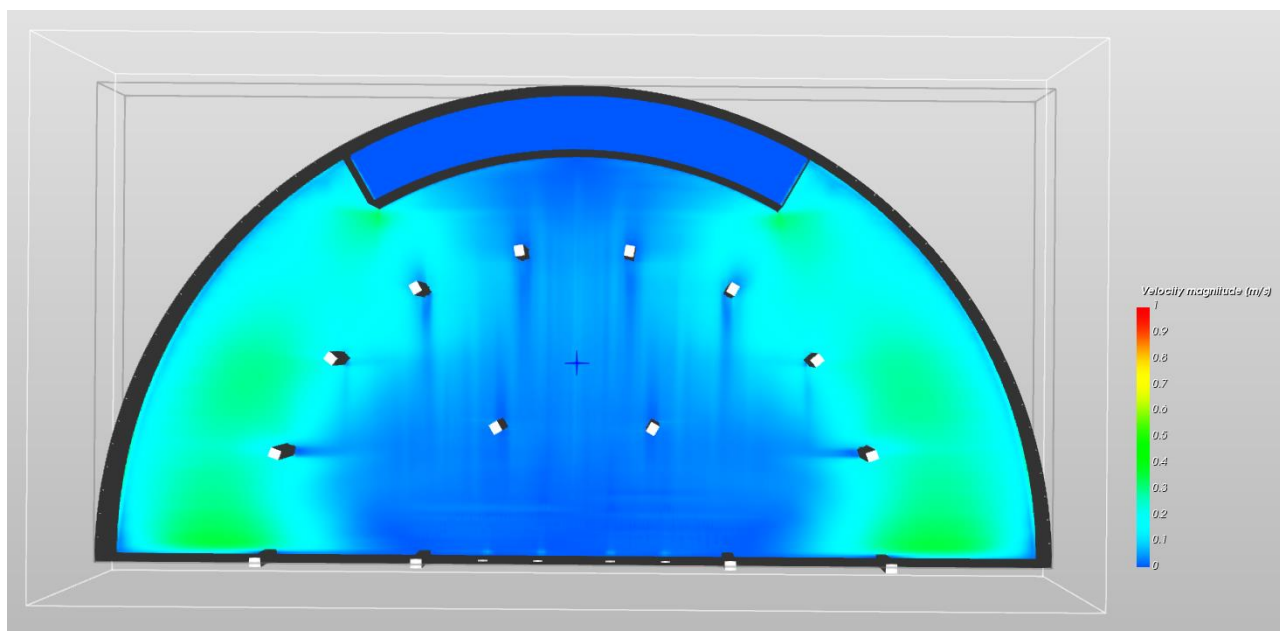


Figura 48 – Ambiente B – velocità dell'aria in regime invernale



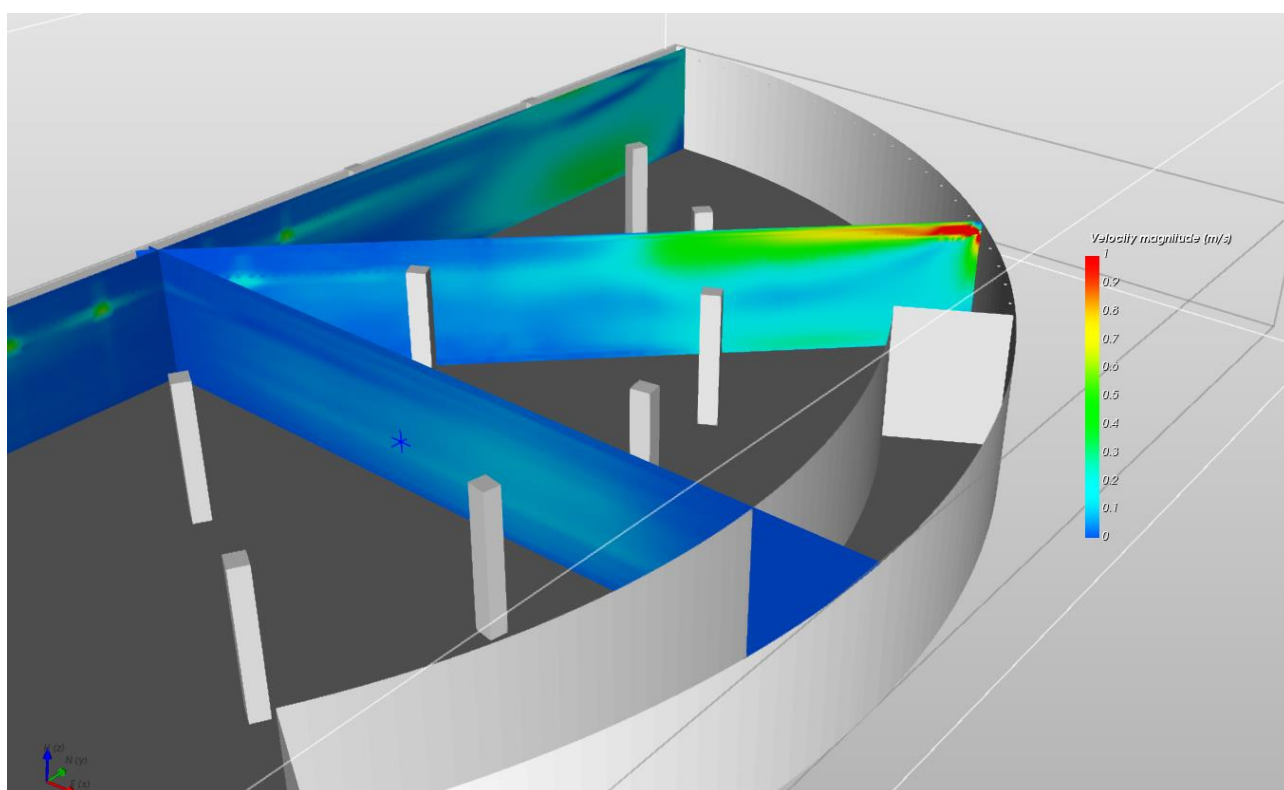


Figura 49 – Ambiente B – velocità dell'aria in regime estivo

Oltre ai dati sopra rappresentati, si riporta a seguire la distribuzione spaziale della temperatura dell'aria, ottenuta anch'essa mediante simulazione CFD con il software di calcolo *Vento AEC* per il regime invernale.

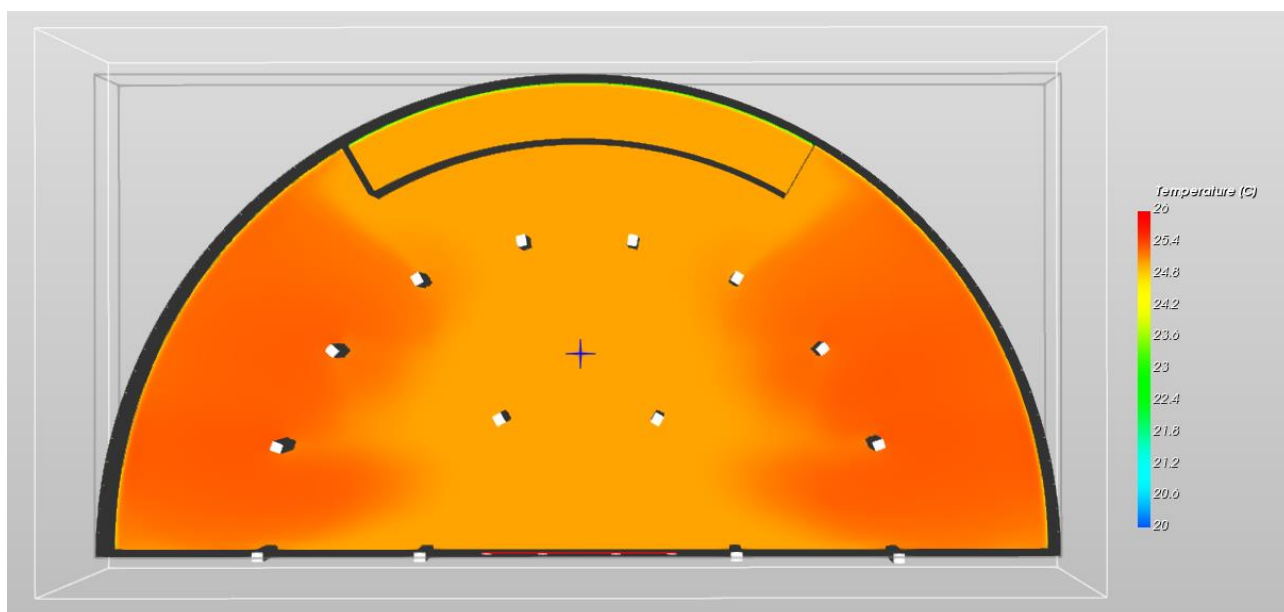


Figura 50 – Ambiente B – temperatura dell'aria in regime invernale

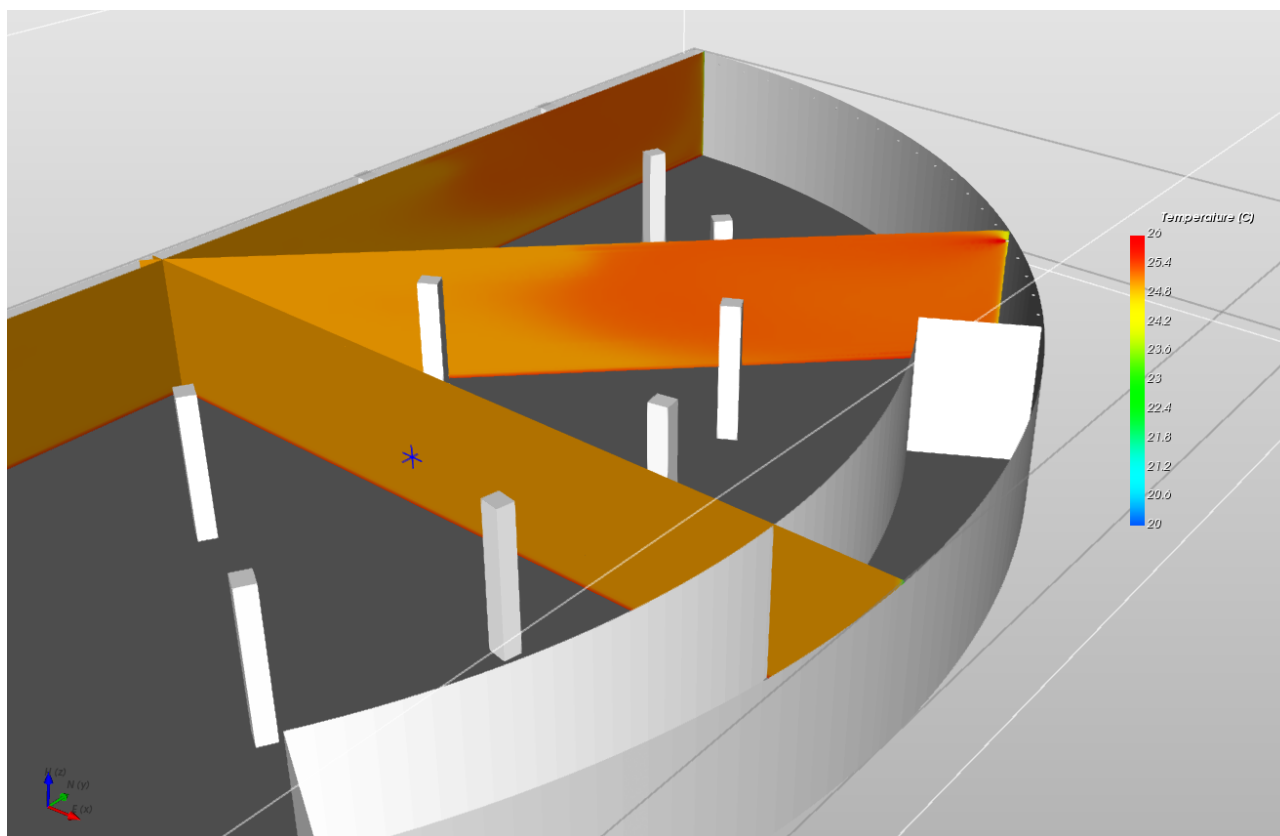


Figura 51 – Ambiente B – temperatura dell'aria in regime invernale

Dall'analisi dei dati sopra rappresentati, è possibile osservare come:

- all'interno della zona occupata, la velocità dell'aria presenta valori compresi tra 0 e 0,25 m/s;
- la temperatura dell'aria è abbastanza uniforme e presenta un valore medio pari a circa 23,5°C.

A partire dai dati sopra riassunti e ipotizzando una temperatura media radiante dell'ambiente pari a 23°C (ottenuta come media tra le temperature superficiali dei componenti d'involucro), si è valutato un valore di PMV<sup>1</sup> pari a 0,5, corrispondente ad un valore di PPD pari al 10% (valori ottenuti imputando una velocità media di 0,2) corrispondenti alla classe B. Tale valore di PMV è relativamente elevato e dipende in primo luogo dall'elevata temperatura di immissione dell'aria in ambiente tramite le bocchette di ventilazione. Durante le fasi di esercizio, sarà possibile rimodulare tale temperatura, fino ad ottenere una temperatura in ambiente più contenuta, corrispondente a valori di PMV ottimali.

<sup>1</sup> Valutazioni effettuate considerando: potenza metabolica efficace pari =1,2 met; resistenza termica dell'abbigliamento = 1 clo

REGIME ESTIVO

Si riporta a seguire alcuni estratti dal software di calcolo *Vento AEC*, in cui sono rappresentate le mappe relative alla distribuzione della velocità dell'aria in ambiente per il regime estivo.

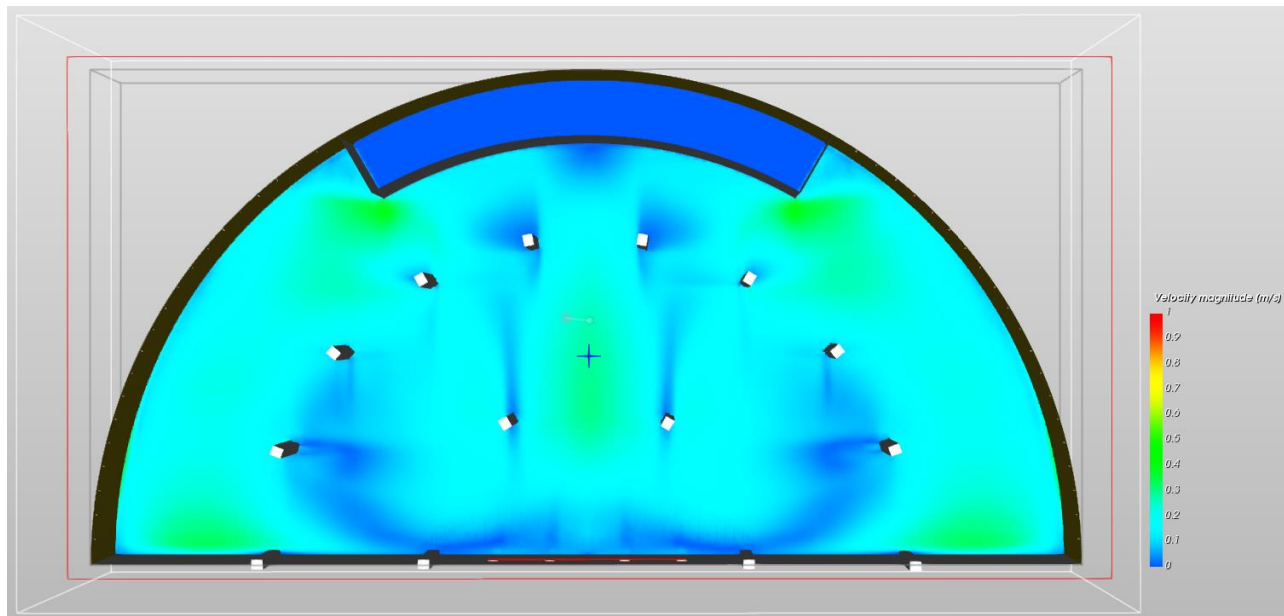


Figura 52 – Ambiente B – velocità dell'aria in regime estivo

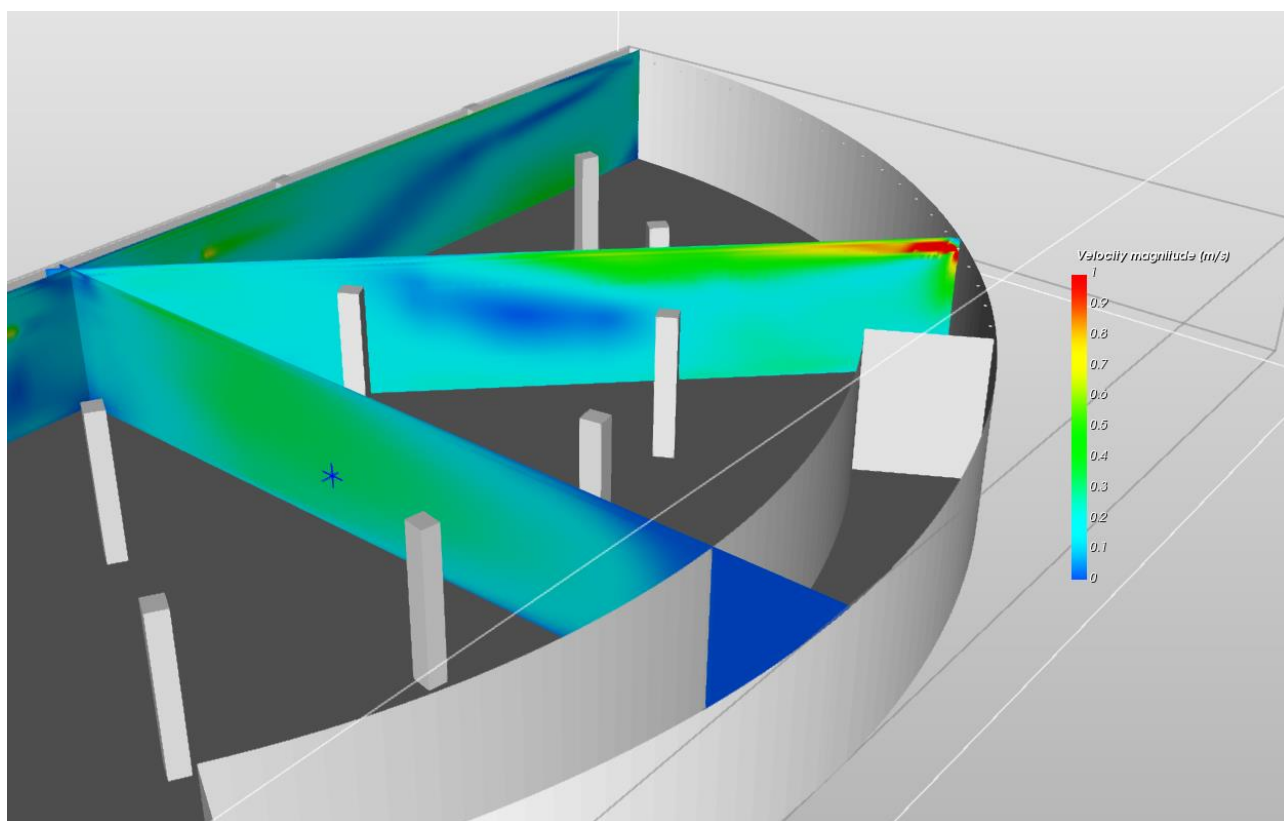


Figura 53 – Ambiente B – velocità dell'aria in regime estivo

Oltre ai dati sopra rappresentati, si riporta a seguire la distribuzione spaziale della temperatura dell'aria, ottenuta anch'essa mediante simulazione CFD con il software di calcolo *Vento AEC* per il regime estivo.

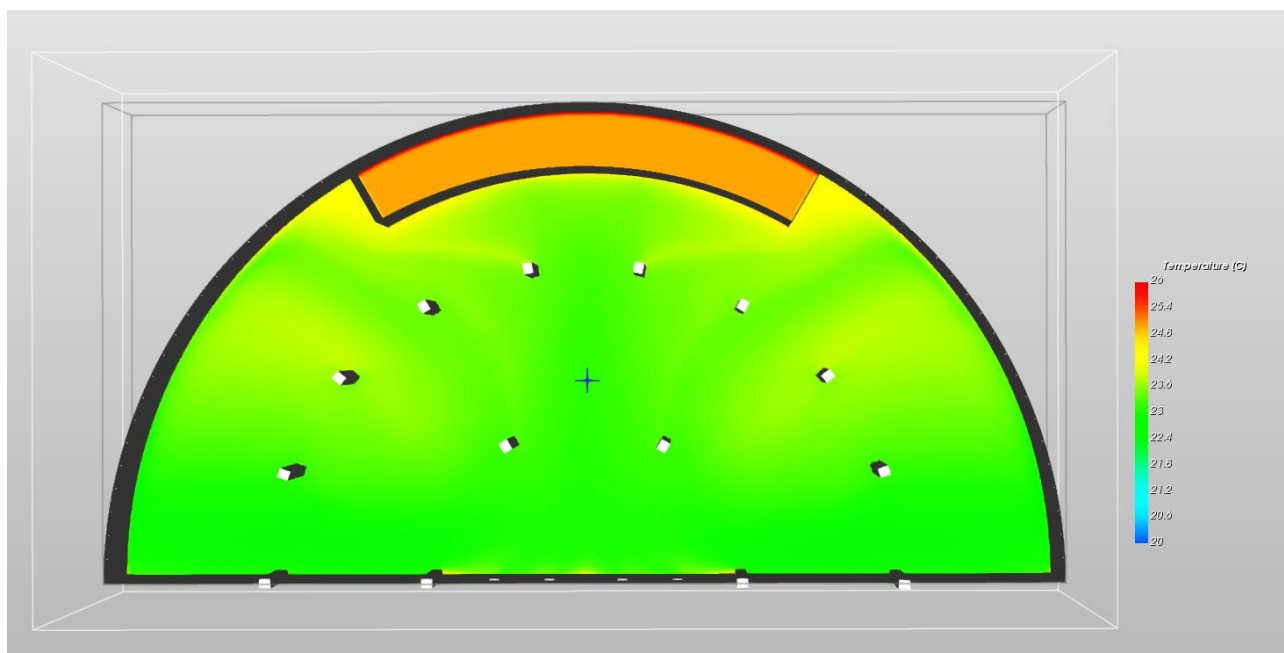


Figura 54 – Ambiente B – temperatura dell'aria in regime estivo

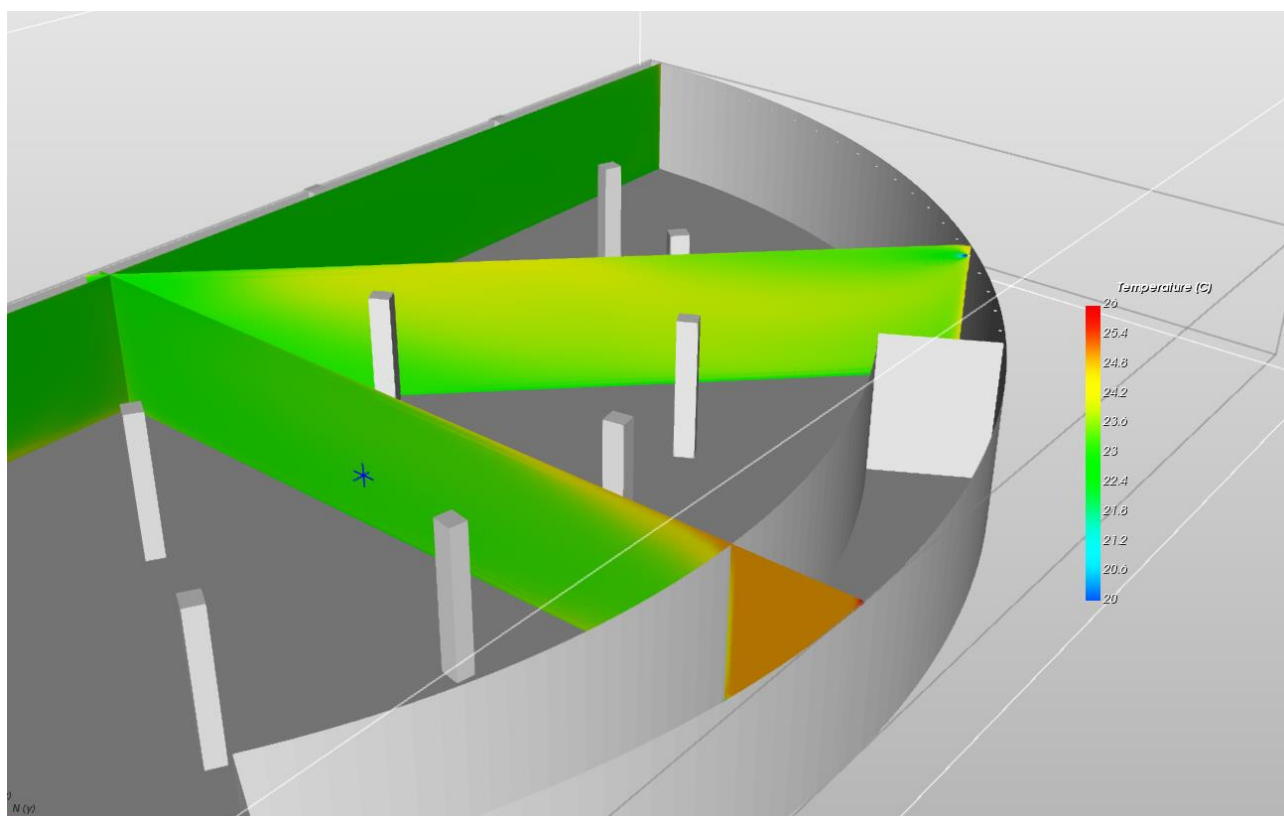


Figura 55 – Ambiente B – temperatura dell'aria in regime estivo

Dall'analisi dei dati sopra rappresentati, è possibile osservare come:

- all'interno della zona occupata, la velocità dell'aria presenta valori compresi tra 0,1 e 0,25 m/s;
- la temperatura dell'aria è abbastanza uniforme e presenta un valore medio pari a circa 23°C.

A partire dai dati sopra riassunti e ipotizzando una temperatura media radiante dell'ambiente pari a 23°C (ottenuta come media tra le temperature superficiali dei componenti d'involucro), si è valutato un valore di PMV<sup>2</sup> compreso tra 0 e 0,5, corrispondente ad un valore di PPD inferiore al 10%., valori corrispondenti alla classe B

#### 4.5.2 AMBIENTE E: piano terra e primo – Biblioteca

L'ambiente in oggetto è localizzato all'interno del padiglione 2 e rappresenta il volume climatizzato più esteso del complesso edilizio ivi analizzato. Tale ambiente è racchiuso dai componenti d'involucro riportati a seguire:

- le pareti opache e trasparenti che confinano con altri ambienti climatizzati sono caratterizzate da una temperatura superficiale pari a 20°C per la stagione invernale e 26°C per quella estiva;
- le pareti confinanti con l'esterno presentano una temperatura superficiale pari a 19°C per la stagione invernale e 27°C per quella estiva;
- la copertura della navata centrale è costituita da porzioni in calcestruzzo armato coibentate all'estradosso e in parte da lucernai, costituiti da telaio in alluminio e parte trasparente in policarbonato. Tale struttura è stata così valutata:
  - per la stagione invernale si è considerata una temperatura superficiale pari a alla media pesata tra i valori afferenti la parte opaca e quella trasparente (valore medio pari a 17,5°C)
  - per la stagione estiva, si è utilizzata nelle simulazioni la potenza termica entrante nel momento di massimo irraggiamento solare attraverso i lucernai, la quale è stata uniformemente ripartita sull'intera struttura;
- le coperture piane delle navate laterali sono costituite da solai in c.a. e in laterocemento, dotati di strato coibente all'estradosso e di lucernai caratterizzati da telaio in alluminio e elementi trasparenti in policarbonato. Tale struttura è stata valutata analogamente a quanto effettuato per la copertura della navata centrale (in questo caso la temperatura media invernale è pari a 18,5°C);
- il pavimento presenta al suo interno le serpentine utilizzate per la climatizzazione invernale ed estiva ed è caratterizzato da una temperatura superficiale pari a 28°C per la stagione invernale e 20°C per quella estiva.

Da un punto di vista impiantistico, sono presenti i terminali elencati in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

<sup>2</sup> Valutazioni effettuate considerando: potenza metabolica efficace pari =1,2 met; resistenza termica dell'abbigliamento = 0,7 clo

## REGIME INVERNALE

Si riporta a seguire alcuni estratti dal software di calcolo *Vento AEC*, in cui sono rappresentate le mappe relative alla distribuzione della velocità dell'aria in ambiente per il regime invernale.

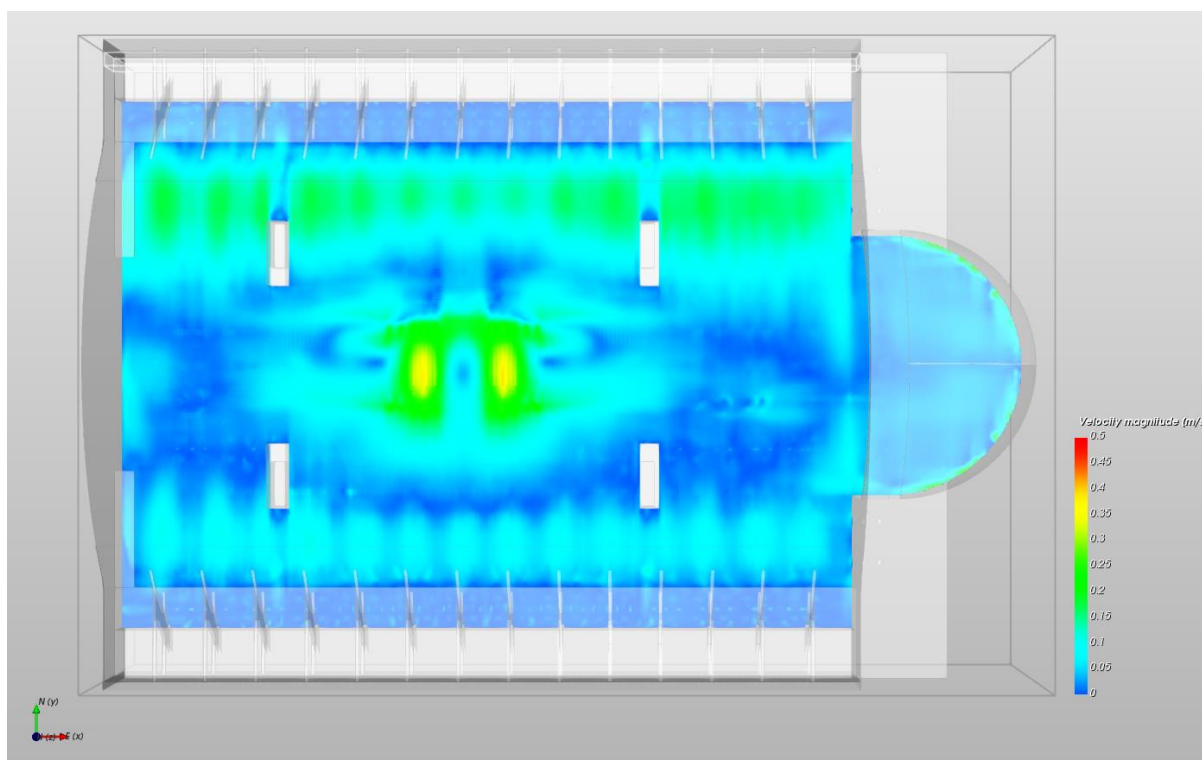


Figura 56 – Ambiente E (navata centrale) – velocità dell'aria in regime invernale

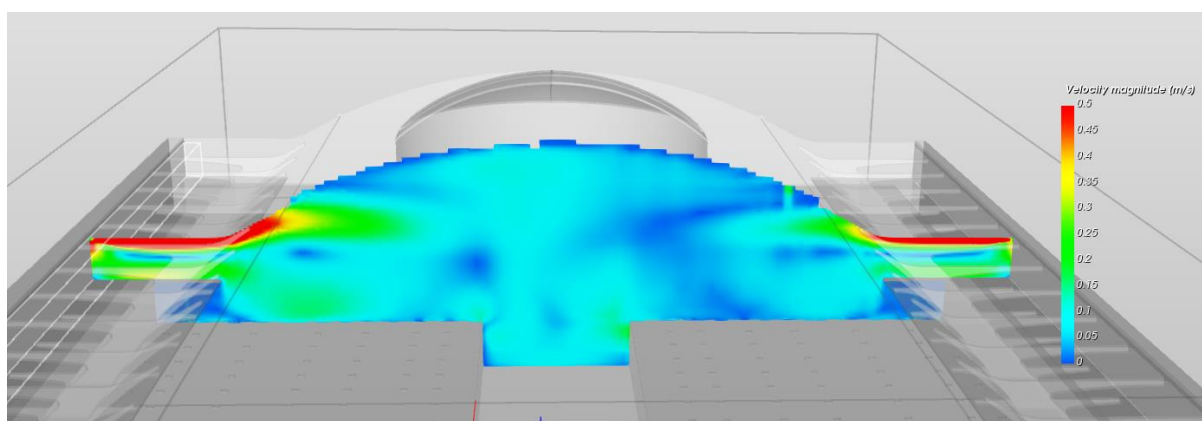


Figura 57 – Ambiente E (navata centrale) – velocità dell'aria in regime estivo

Oltre ai dati sopra rappresentati, si riporta a seguire la distribuzione spaziale della temperatura dell'aria, ottenuta anch'essa mediante simulazione CFD con il software di calcolo *Vento AEC* per il regime invernale.

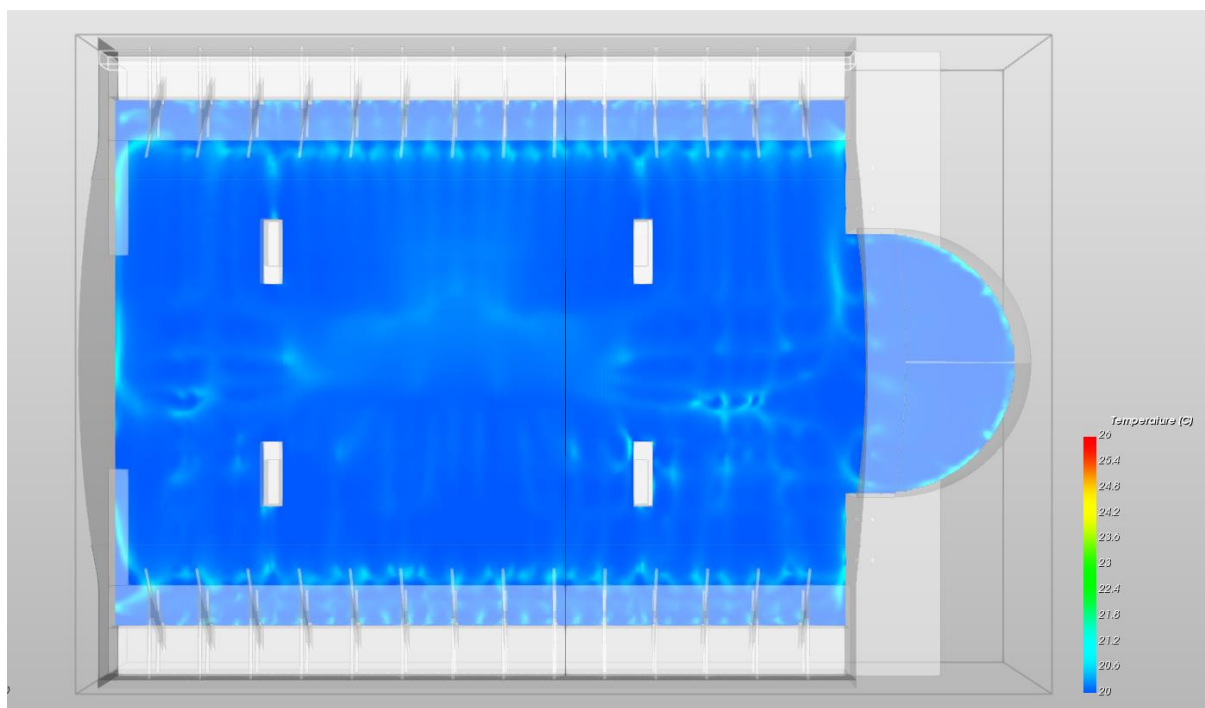


Figura 58 – Ambiente e (navata centrale) – temperatura dell'aria in regime invernale

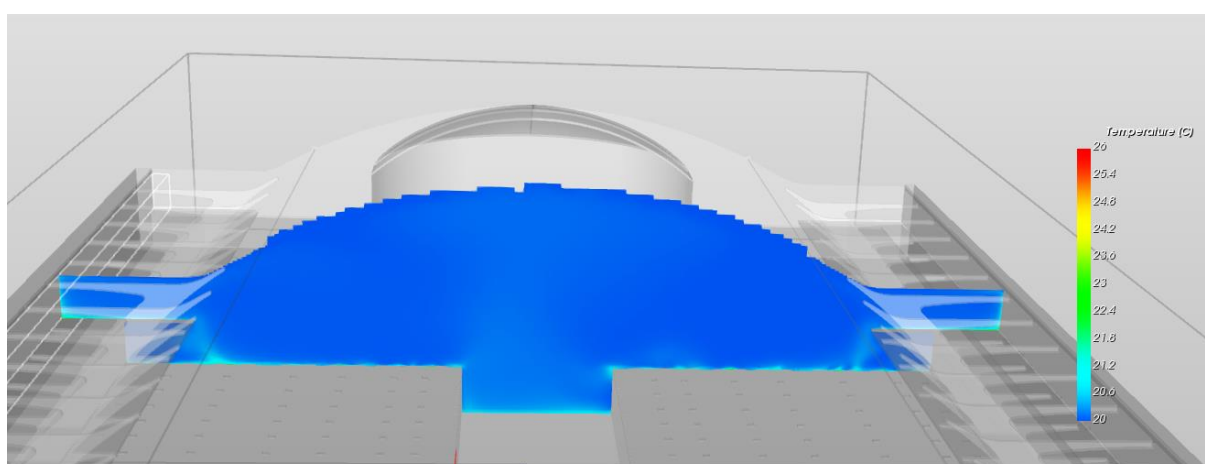


Figura 59 – Ambiente E (navata centrale) – temperatura dell'aria in regime invernale

Dall'analisi dei dati sopra rappresentati, è possibile osservare come:

- all'interno della zona occupata, la velocità dell'aria presenta valori compresi tra 0 e 0,2 m/s;
- la temperatura dell'aria è abbastanza uniforme e presenta un valore medio pari a circa 20°C.

A partire dai dati sopra riassunti e valutando una temperatura media radiante dell'ambiente pari a 24,5°C (ottenuta mediante simulazioni dedicate), si è valutato un valore di  $PMV^3$  compreso tra -0,13 e +0,1 corrispondente alla classe B prevista dalla norma.

<sup>3</sup> Valutazioni effettuate considerando: potenza metabolica efficace pari =1,2 met; resistenza termica dell'abbigliamento = 1 clo

## REGIME ESTIVO

Analogamente a quanto riportato per il regime invernale, sono rappresentati a seguire alcuni estratti dal software di calcolo *Vento AEC*, in cui sono rappresentate le mappe relative alla distribuzione della velocità dell'aria in ambiente per il regime estivo.

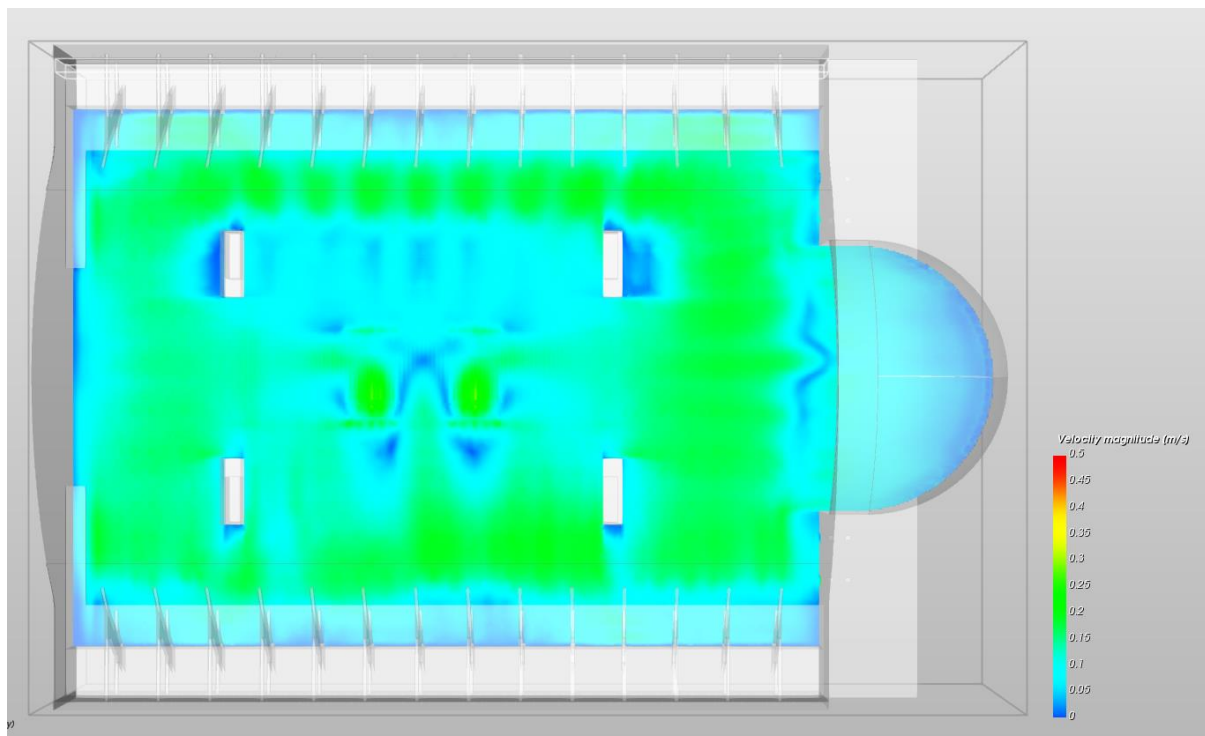


Figura 60 – Ambiente E (navata centrale) – velocità dell'aria in regime estivo

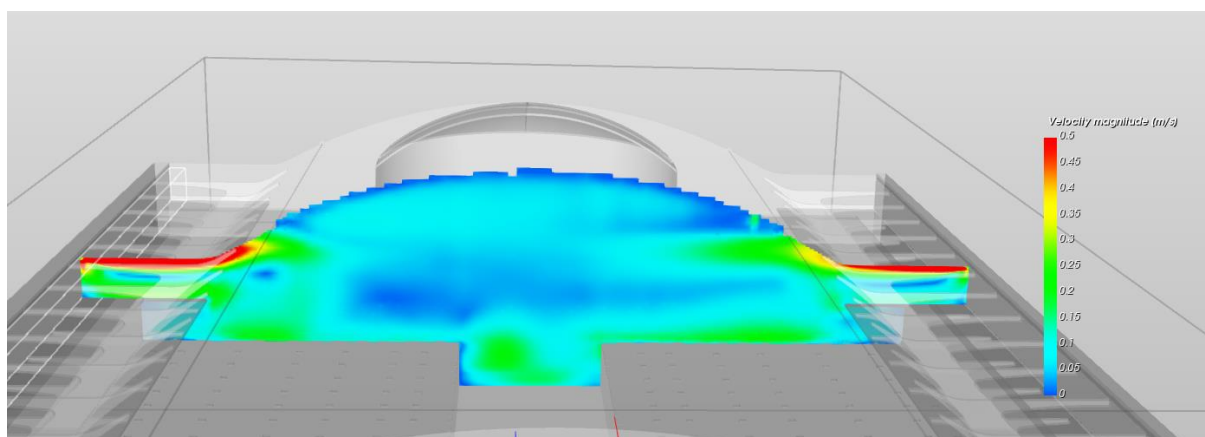


Figura 61 – Ambiente E (navata centrale) – velocità dell'aria in regime estivo

Oltre ai dati sopra rappresentati, si riporta a seguire la distribuzione spaziale della temperatura dell'aria, ottenuta anch'essa mediante simulazione CFD con il software di calcolo *Vento AEC* per il regime estivo.



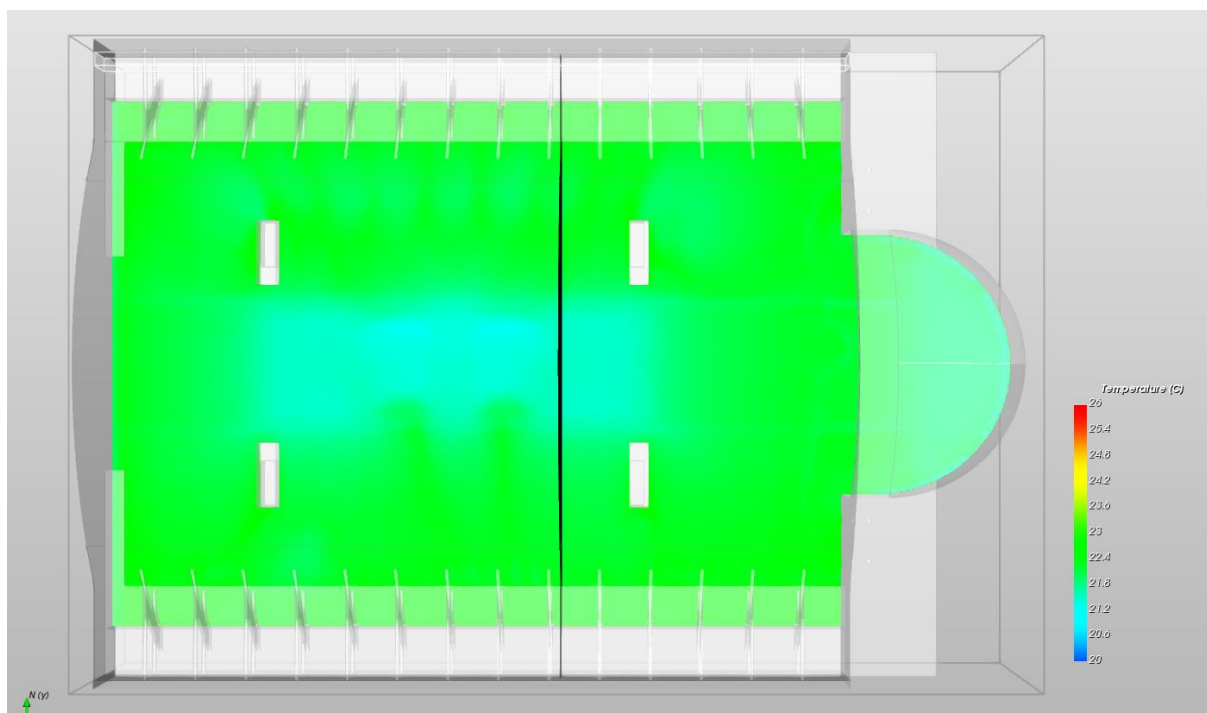


Figura 62 – Ambiente E (navata centrale) – temperatura dell'aria in regime estivo

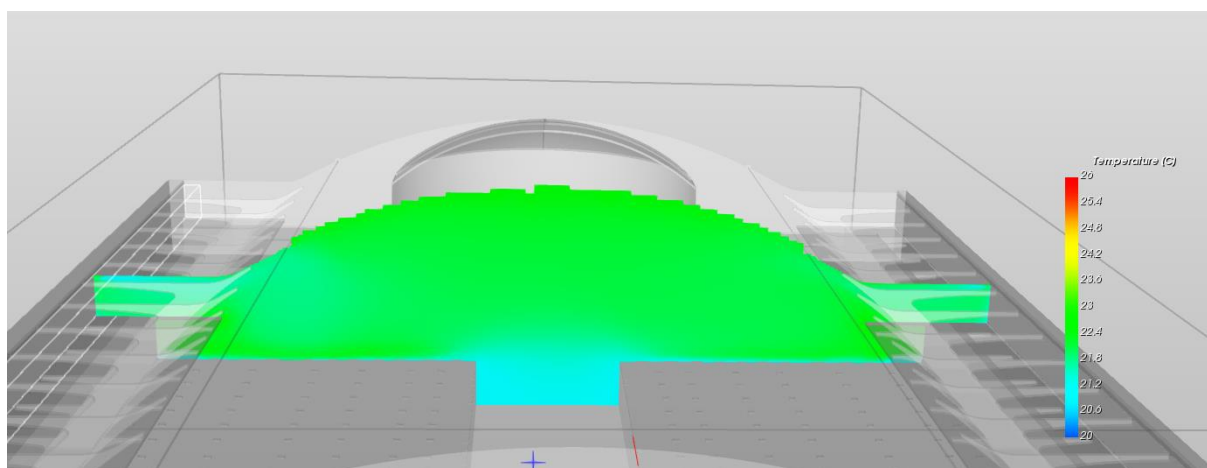


Figura 63 – Ambiente E (navata centrale) – temperatura dell'aria in regime estivo

Dall'analisi dei dati sopra rappresentati, è possibile osservare come:

- all'interno della zona occupata, la velocità dell'aria presenta valori compresi tra 0 e 0,25 m/s;
- la temperatura dell'aria è abbastanza uniforme e presenta un valore medio pari a circa 23°C.

A partire dai dati sopra riassunti e ipotizzando una temperatura media radiante dell'ambiente pari a 24°C, si è valutato un valore di PMV<sup>4</sup> pari a 0,3, corrispondente ad un valore di PPD pari al 7% (valori in linea con quanto previsto dalla norma).

<sup>4</sup> Valutazioni effettuate considerando: potenza metabolica efficace pari =1,2 met; resistenza termica dell'abbigliamento = 0,7 clo

Oltre a quanto sopra riportato afferente alla navata centrale, è stato svolto un approfondimento sugli ambienti collocati a livello delle balconate poste ai due lati della navata centrale. Tale operazione è finalizzata a valutare il comportamento degli ugelli a lancio profondo presenti e le conseguenze del loro funzionamento sulla velocità dell'aria in ambiente. Nelle immagini sotto riportate è descritto l'andamento della velocità a livello della balconata, ricavato mediante simulazione *CFD* effettuata con software *VENTO AEC*, sia per il regime invernale che per quello estivo.

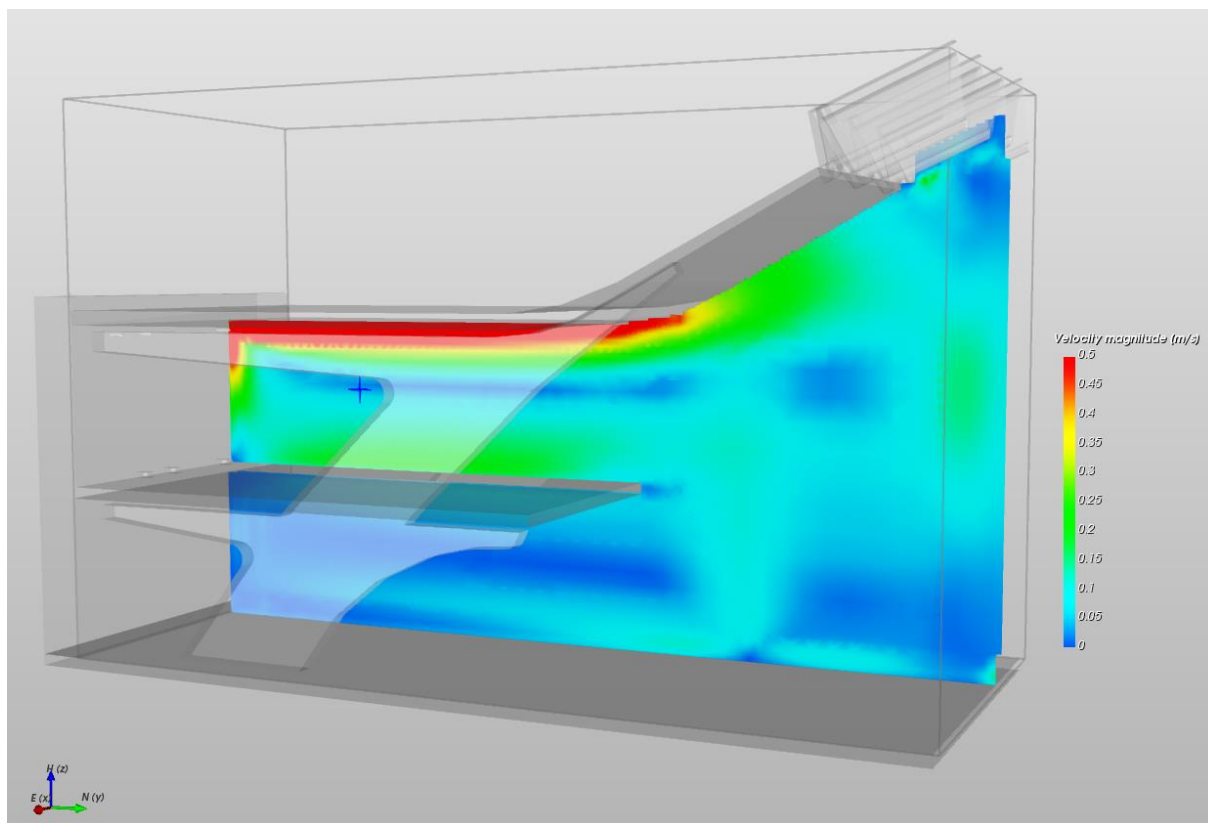


Figura 64 – Ambiente E (balconate laterali) – velocità dell'aria in regime invernale

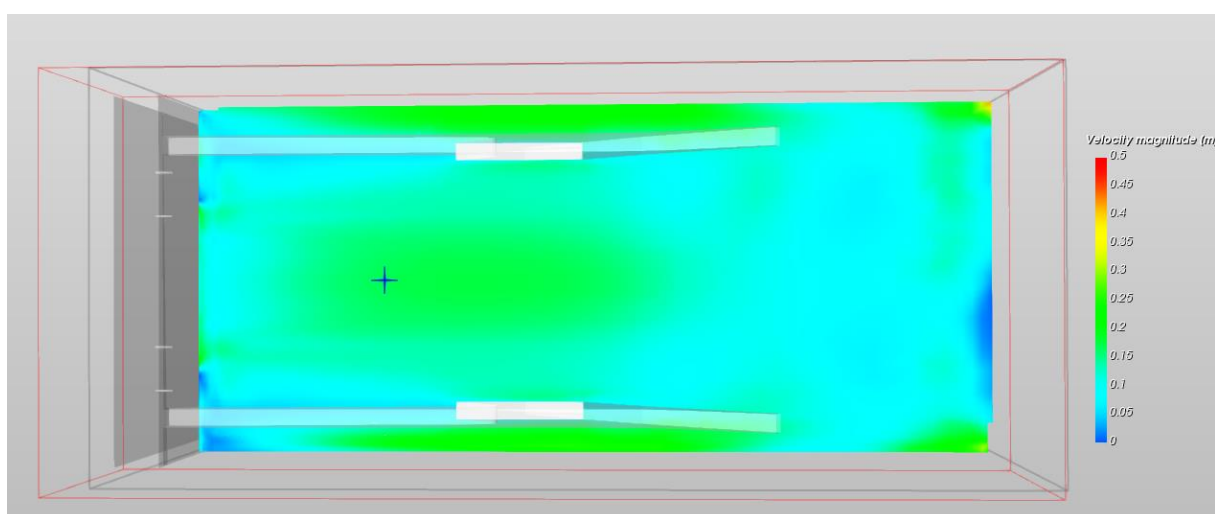


Figura 65 – Ambiente E (balconate laterali) – velocità dell'aria in regime invernale

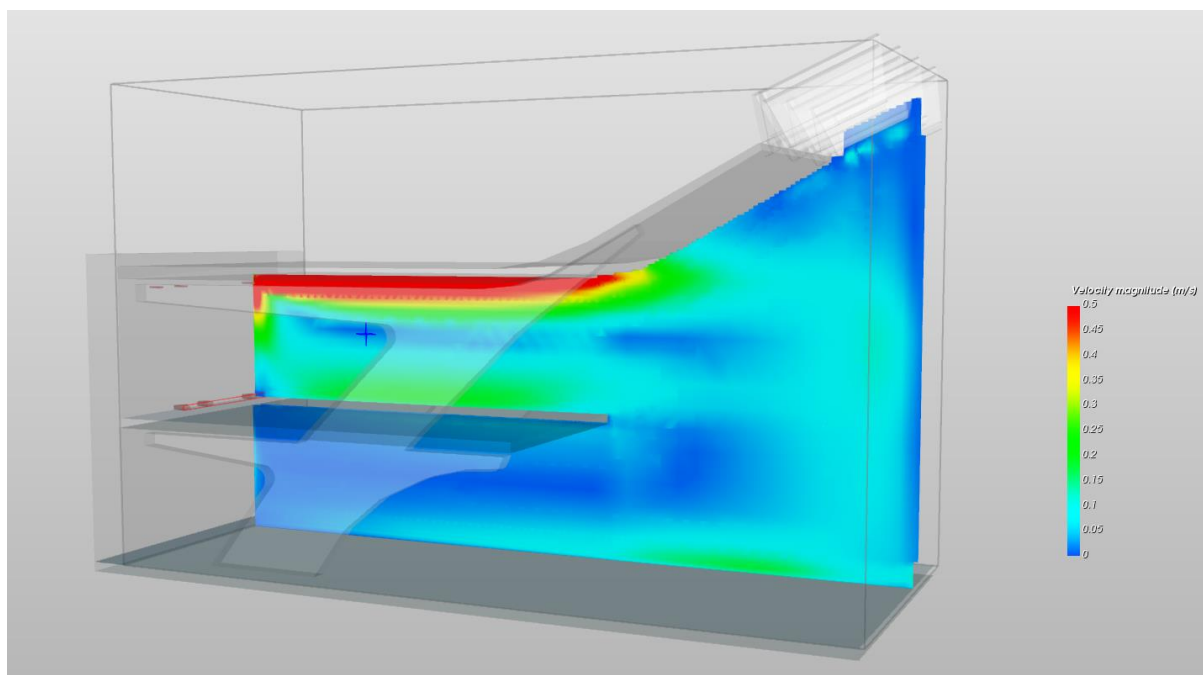


Figura 66 – Ambiente E (balconate laterali) – velocità dell'aria in regime estivo

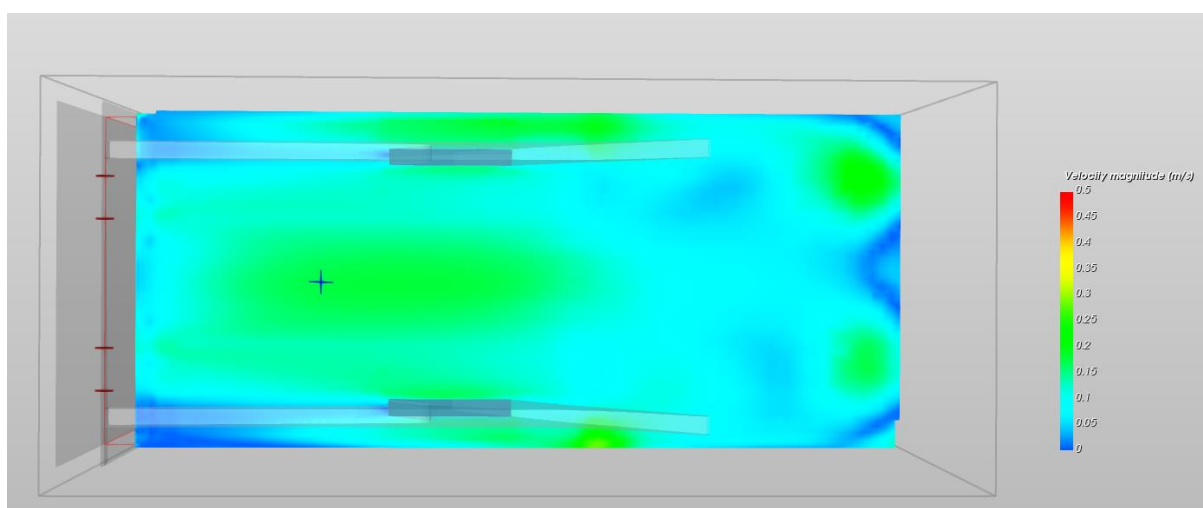


Figura 67 – Ambiente E (balconate laterali) – velocità dell'aria in regime estivo

Dagli andamenti sopra rappresentati è possibile osservare come gli ugelli dell'impianto di ventilazione siano caratterizzati da un'elevata velocità di immissione dell'aria in ambiente. Tale velocità genera dei flussi d'aria che si muovono prevalentemente al livello del soffitto, non interessando direttamente la zona occupata dall'utente finale. Oltre a ciò, è bene però sottolineare che:

- l'elevata velocità di uscita dell'aria dalla bocchetta tende a creare una corrente di ritorno, proveniente dalla navata centrale che si muove verso la parete di fondo della balconata. Tale flusso determina la presenza di velocità dell'aria a livello del pavimento non trascurabili, le quali andranno analizzate dettagliatamente in fase di progettazione esecutiva, così da **garantire valori di velocità dell'aria non superiori a 0,2 m/s nella zona occupata dall'utente**;
- la presenza a progetto di aree a quote più elevate rispetto al piano di calpestio della balconata (es. zona di deposito libri sui gradoni posizionati in corrispondenza della parete di fondo), può ridurre la distanza tra l'utente finale ed il flusso d'aria immesso dalle bocchette, esponendo le persone a velocità dell'aria elevate. Per tale ragione in fase di progettazione esecutiva sarà necessario

analizzare tale fenomeno e prevedere l'utilizzo di bocchette di lancio conformi con il requisito prestazionale sopracitato (velocità non superiore a 0,2 m/s nella zona occupata dall'utenza finale).

#### 4.6 Conclusioni

Le attività condotte per la verifica del comfort e illustrate nella presente relazione, permettono di accertare per tutti gli ambienti significativi testati la rispondenza alla classe B della norma UNI EN ISO 7730:2006 così come prescritto dai CAM. Le verifiche sono state condotte con riferimento ai dati resi disponibili dal livello di approfondimento progettuale eseguito in questa fase. I successivi livelli di progettazione permetteranno di disporre di dati più dettagliati con i quali si dovrà affinare e confermare i risultati delle simulazioni qui riportati con particolare riferimento alle situazioni che hanno evidenziato delle potenziali criticità.

Si segnala in particolare l'ambiente identificato con la lettera C (porzione circolare più esterna del padiglione 4 – Piano terra) che per le particolari caratteristiche delle vetrate di grandi dimensioni presenti potrebbe, per le condizioni estive maggiormente gravose, non rientrare in Classe B ma in Classe C. Sono escluse comunque cause di discomfort globale particolarmente significative. In fase di progettazione esecutiva si dovrà approfondire il comportamento e selezionare di conseguenza i sistemi impiantistici e d'involucro (serramenti e tende interne) in funzione del massimo miglioramento possibile per le condizioni di comfort di quest'area.

Ulteriori approfondimenti progettuali sono anche richiesti per la selezione degli ugelli a lunga gittata per l'ottimizzazione del loro funzionamento, così come descritto all'interno della relazione.

L'analisi CFD sviluppata per la navata centrale consente di esprimersi favorevolmente circa il funzionamento dell'impianto a dislocazione previsto a progetto che risulta in grado di garantire valori di comfort buoni per tutta l'area occupata.

Il progetto fissa requisiti prestazionali che dovranno essere rispettati nelle successive fasi di sviluppo del progetto e successivamente della costruzione, soprattutto in termini di isolamento dell'involucro, caratteristiche dei lucernari in copertura e dei serramenti, oltre che di velocità dell'aria nell'ambiente occupato.

In particolare, relativamente a questo ultimo punto, la velocità dell'aria nelle zone occupate non dovrà essere superiore ai 0,2 m/s. Tale obiettivo dovrà essere garantito dalla selezione di terminali di impianto idonei ed in linea con le indicazioni del presente progetto.