



POLITECNICO DI TORINO

Analisi sperimentale numerica del comportamento termico ed energetico della facciata ventilata trasparente a doppia pelle denominata Avant Grip di Somec Spa

Politecnico di Torino – Dipartimento di Energetica

SOMEK

Report finale dell'attività

GRUPPO DI LAVORO

prof. ing. Marco Perino (responsabile scientifico)

prof. arch. Valentina Serra

arch. Lorenza Bianco

INDICE

PARTE1 – ANALISI SPERIMENTALE	5
1- INTRODUZIONE	5
1.1 <i>Legenda</i>	7
2- PRESTAZIONE ENERGETICA DELLA FACCIATA	9
2.1 <i>COMPORTAMENTO DELLA FACCIATA ATTIVA</i>	10
2.1.1 <i>Comportamento estivo</i>	10
2.1.1.1 Energie e flussi termici (estate 2010)	10
2.1.1.2 Energie e flussi termici (estate 2011)	11
1.1.1 <i>Comportamento invernale</i>	12
1.1.1.1 Giornata soleggiata - Flussi termici ed energie giornaliere	12
1.1.1.2 Giornata nuvolosa - Flussi termici ed energie giornaliere.....	13
1.1.2 <i>Comportamento in mezza stagione - primavera</i>	15
1.1.2.1 Flussi termici ed energie giornaliere	15
1.2 CONFRONTO TRA FACCIATE	16
1.2.1 <i>Comportamento estivo (2010)- Confronto con la facciata passiva in assenza di schermo esterno</i>	16
1.2.1.1 Flussi termici totali.....	16
1.2.1.2 Energie totali giornaliere	16
1.2.1.3 Fabbisogno energetico specifico normalizzato periodo estivo	17
1.2.2 <i>Comportamento estivo (2011)- Confronto con la facciata passiva in presenza di schermo esterno</i>	18
1.2.2.1 Flussi termici totali.....	18
1.2.2.2 Energie totali giornaliere	18
1.2.3 <i>Comportamento estivo (2011)- Confronto con la facciata passiva in assenza di schermo esterno</i>	19
1.2.3.1 Flussi termici totali.....	19
1.2.3.2 Energie totali giornaliere	19
1.2.3.3 Fabbisogno energetico specifico normalizzato periodo estivo	20
1.2.4 <i>Comportamento invernale</i>	21
1.2.4.1 Giornata soleggiata - Flussi termici ed energie giornaliere	21
1.2.4.2 Giornata nuvolosa - Flussi termici ed energie giornaliere.....	22
1.2.4.3 Fabbisogno energetico specifico normalizzato periodo invernale.....	23
1.2.5 <i>Comportamento in mezza stagione - primavera</i>	24
1.2.5.1 Flussi termici ed energie giornaliere	24
1.2.5.2 Flussi totali ed energie totali giornaliere	25
1.2.5.3 Fabbisogno energetico specifico normalizzato stagione primaverile	25
2 ANALISI DEL COMFORT TERMICO INTERNO	27
2.1 COMFORT TERMICO LOCALE: COMPORTAMENTO DELLE FACCIATE ATTIVA E PASSIVA	29
2.1.1 <i>Comportamento estivo (2010)- Temperatura vetro interno</i>	29
2.1.1.1 Giornata soleggiata assenza di schermatura solare esterna per la facciata passiva	29
2.1.2 <i>Comportamento estivo (2011)- Temperatura vetro interno</i>	31
2.1.2.1 Giornata soleggiata in presenza di schermatura solare esterna per la facciata passiva	31
2.1.3 <i>Comportamento invernale - Temperatura vetro interno</i>	31
2.1.3.1 Giornata soleggiata	32
2.1.3.2 Giornata nuvolosa.....	32
2.1.4 <i>Comportamento in mezza stagione primavera - Temperatura vetro interno</i>	34
2.2 COMFORT TERMICO GLOBALE: CONFRONTO TRA LA FACCIATA ATTIVA E LA FACCIATA PASSIVA	35
2.2.1 <i>Comportamento estivo - pmv</i>	35
2.2.1.1 Confronto con facciata passiva con tenda esterna	35
2.2.2 <i>Comportamento invernale - pmv</i>	38
2.2.2.1 Giornata soleggiata	41
2.2.2.2 Giornata nuvolosa.....	43
2.2.3 <i>Comportamento in mezza stagione, primavera - pmv</i>	44
3 PARAMETRI PRESTAZIONALI: CARATTERISTICHE ENERGETICHE E LUMINOSE	46
3.1 TRASMISSIONE SOLARE.....	46
3.1.1 <i>Condizioni invernali</i>	46
3.1.2 <i>Condizioni estive</i>	48
3.1.3 <i>Condizioni di mezza stagione - primavera</i>	49
3.1.4 <i>Trasmissione solare della facciata passiva</i>	50
3.2 TRASMITTANZA TERMICA	52

3.2.1	Trasmittanza termica stagione estiva 2010.....	52
3.2.2	Trasmittanza termica stagione invernale 2010 - 2011	53
3.2.3	Trasmittanza termica stagione primaverile 2011	54
3.2.4	Trasmittanza termica stagione estiva 2011.....	55
3.3	FATTORE SOLARE EQUIVALENTE	56
3.4	TRASMISSIONE LUMINOSA	60
3.4.1	Condizioni invernali	60
3.4.2	Condizioni estive	61
3.4.3	Condizioni di mezza stagione	62
4	SIMULAZIONE CON SOFTWARE WIS.....	63
4.1	PACCHETTO VETRATO ANALIZZATO.....	63
4.1.1	<i>facciata attiva</i>	63
4.1.1.1	Ventilazione intercapedine facciata attiva - estate.....	63
4.1.1.2	Ventilazione intercapedine facciata attiva - inverno	64
4.1.2	<i>facciata passiva</i>	65
4.2	CARATTERISTICHE E LIMITI DI WIS.....	66
4.3	SIMULAZIONI.....	66
4.3.1	Condizioni estive	67
4.3.2	Condizioni estive, giornata soleggiata 30/06/2011 presenza di schermatura.....	67
4.3.2.1	Analisi delle temperature superficiali interne ed esterne	67
4.3.2.2	Confronto tra le trasmittanze termiche	70
4.3.2.3	Confronto tra le energie giornaliere facciata attiva e passiva	71
4.3.3	Condizioni invernali.....	75
4.3.4	Condizioni invernale, giornata soleggiata 12/01/2011 presenza di schermatura (facciata attiva).....	75
4.3.4.1	Analisi delle temperature superficiali interne ed esterne	75
4.3.4.2	Confronto tra le trasmittanze termiche	77
4.3.4.3	Confronto tra le energie giornaliere facciata attiva e passiva	78
4.3.5	Condizioni invernale, giornata nuvolosa 13/01/2011 assenza di schermatura	82
4.3.5.1	Analisi delle temperature superficiali interne ed esterne	82
4.3.5.2	Confronto tra le trasmittanze termiche	83
4.3.5.3	Confronto tra le energie giornaliere facciata attiva e passiva	84
4.4	CONCLUSIONI ED INDICAZIONI	87

PARTE1 – ANALISI SPERIMENTALE

1- INTRODUZIONE

Il presente rapporto ha lo scopo di presentare un riepilogo dell'analisi prestazionale della facciata attiva (e della facciata passiva) effettuata in seguito ad un anno di monitoraggio (da luglio 2010 al 30 settembre 2011) e alle simulazioni numeriche realizzate mediante il software WIS.

Verranno illustrati:

- la prestazione energetica determinata sulla base delle misure;
- l'analisi del comfort termico effettuata sulla base delle misure;
- i parametri prestazionali (caratteristiche energetiche e luminose) determinati sulla base delle misure;
- i risultati delle simulazioni effettuate con il software WIS, con la valutazione dell'utilizzabilità dello stesso software al fine di prevedere il comportamento energetico di una facciata attiva;

Sono state testate le seguenti configurazioni:

- Comportamento estivo (del 2010 e del 2011)
 - o Facciata attiva
 - Giornata soleggiata:
 - presenza dello schermo in intercapedine
 - o Facciata passiva
 - Giornata soleggiata:
 - assenza dello schermo esterno
 - presenza dello schermo esterno
- Comportamento invernale (2010-2011)
 - o Facciata attiva
 - giornata soleggiata
 - giornata nuvolosa
 - o Facciata passiva
 - giornata soleggiata (senza schermo esterno)
 - giornata nuvolosa (senza schermo esterno)
- Comportamento di mezza stagione (primavera 2011)
 - o Facciata attiva
 - giornata soleggiata
 - giornata nuvolosa
 - o Facciata passiva
 - giornata soleggiata
 - giornata nuvolosa

Al fine di meglio comprendere i grafici che seguono viene riportato lo schema del sistema di misura, con indicazione della posizione e della numerazione dei sensori (Figura 1).

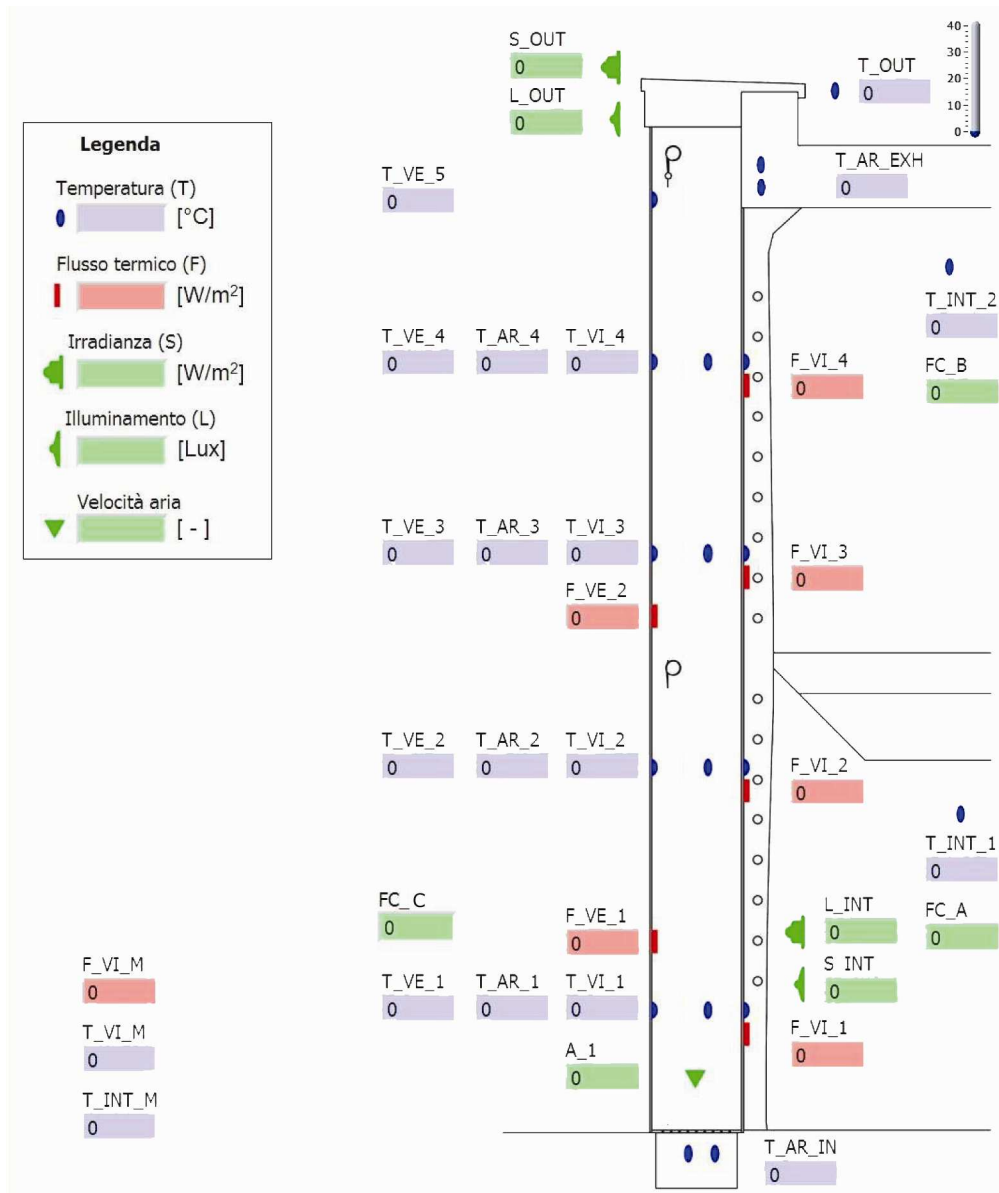


Figura 1 – Schema dei sensori installati nella facciata attiva.

1.1 LEGENDA

Di seguito viene riportata la corrispondenza tra i sensori indicati in Figura 1 e le grandezze che saranno illustrate nei grafici seguenti.

T_OUT	(temperatura dell'aria esterna)
T_INT_1	(temperatura dell'aria nell'ufficio al piano terra)
T_INT_2	(temperatura dell'aria nell'ufficio a primo piano)
T_INT_M	(temperatura dell'aria nell'ufficio con facciata passiva)
FC_A	(fotocellula per la posizione dello schermo interno al piano terra)
FC_B	(fotocellula per la posizione dello schermo interno al primo piano)
FC_C	(fotocellula per la posizione dello schermo nell'intercapedine)
A_1	(anemometro a filo caldo)
S_OUT	(irradianza incidente)
S_INT	(irradianza trasmessa)
L_OUT	(illuminamento esterno)
L_INT	(illuminamento interno)
F_VE_1	(flusso termico attraverso la vetrata esterna, posizione bassa)
F_VE_2	(flusso termico attraverso la vetrata esterna, posizione alta)
F_VI_1	(flusso termico attraverso la vetrata interna, ufficio piano terra, posizione bassa)
F_VI_2	(flusso termico attraverso la vetrata interna, ufficio piano terra, posizione alta)
F_VI_3	(flusso termico attraverso la vetrata interna, ufficio primo piano, posizione bassa)
F_VI_4	(flusso termico attraverso la vetrata interna, ufficio primo piano, posizione alta)
F_VI_M	(flusso termico attraverso la facciata passiva)
T_VE_1	(temperatura del vetro esterno, posizione 1)
T_VE_2	(temperatura del vetro esterno, posizione 2)
T_VE_3	(temperatura del vetro esterno, posizione 3)
T_VE_4	(temperatura del vetro esterno, posizione 4)
T_VE_5	(temperatura del vetro esterno, posizione 5)
Media di T_AR_IN_1 e T_AR_IN_2 = $T_{AIR_IN_av}$	(temperatura media dell'aria in ingresso intercapedine)
Media di T_AR_EXH_1 e T_AR_EXH_2 = $T_{AIR_EXH_av}$	(temperatura media dell'aria in uscita dall'intercapedine)
T_AR_1 = T_{AIR_1}	(temperatura dell'aria in intercapedine, posizione 1)
T_AR_2 = T_{AIR_2}	(temperatura dell'aria in intercapedine, posizione 2)
T_AR_3 = T_{AIR_3}	(temperatura dell'aria in intercapedine, posizione 3)

$T_{AR_4} = T_{AIR_4}$ (temperatura dell'aria in intercapedine, posizione 4)
 $T_{VI_1} = T_{G1\ ind}$ (temperatura del vetro interno, ufficio piano terra, posizione bassa)
 $T_{VI_2} = T_{G2\ ind}$ (temperatura del vetro interno, ufficio piano terra, posizione alta)
 $T_{VI_3} = T_{G3\ ind}$ (temperatura del vetro interno, ufficio primo piano, posizione bassa)
 $T_{VI_4} = T_{G4\ ind}$ (temperatura del vetro interno, ufficio primo piano, posizione alta)
 $T_{VI_M} = T_{Gpass\ ind}$ (temperatura del vetro interno, facciata passiva)

2- PRESTAZIONE ENERGETICA DELLA FACCIATA

La prestazione energetica della facciata è stata valutata considerando i flussi termici ed i flussi totali che attraversano la facciata stessa e le rispettive energie, ottenute integrando i flussi tra le 8:00 e le 20:00, normale periodo di utilizzo di un edificio per uffici.

$$E = \int_{8am}^{8pm} \dot{q}(\tau) d\tau \quad [Wh/m^2] \quad \text{Equazione 1}$$

Con il termine “termico” ci si riferisce solo ai flussi (ed alle energie) trasmessi per convezione ed irraggiamento ad elevata lunghezza d’onda.

Con il termine “totale” ci si riferisce ai flussi (ed alle energie) “termici” più i contributi dovuti al flusso solare (flusso termico radiativo a bassa lunghezza d’onda).

I flussi termici totali sono stati calcolati considerando oltre alla componente long-wave anche il flusso termico radiativo a bassa lunghezza d’onda. Il contributo dovuto alla radiazione solare (short-wave) è stato calcolato come il prodotto tra la radiazione solare incidente e il coefficiente di trasmissione solare della facciata il valore calcolato viene sommato al flusso termico (long-wave) misurato dal termo flussimetro (1).

$$\dot{Q}/A_{TOT} = S_{out} * \tau_{sol} + \dot{Q}/A \quad [W/m^2] \quad \text{Equazione 2}$$

Il coefficiente di trasmissione solare della facciata attiva è stato calcolato attraverso i dati sperimentali raccolti come rapporto tra i valori di irradianza incidenti sulla facciata (S_{out}) e quelli trasmessi (S_{int}).

$$\tau_{solact} = \frac{S_{int}}{S_{out}} \quad \text{Equazione 3}$$

Il coefficiente di trasmissione solare della facciata passiva è stato calcolato tramite il software WIS per le diverse stagioni di monitoraggio.

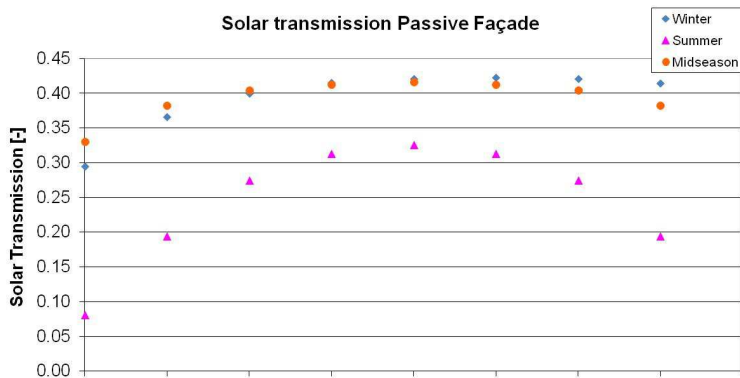


Figura 2 - Coefficienti di trasmissione solare della facciata passiva per le diverse stagioni.

2.1 COMPORTAMENTO DELLA FACCIATA ATTIVA

2.1.1 COMPORTAMENTO ESTIVO

2.1.1.1 Energie e flussi termici (estate 2010)

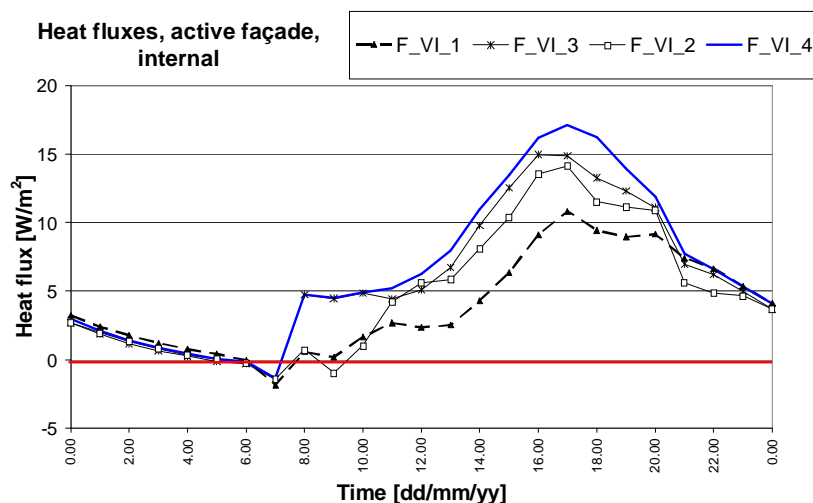


Figura 3 - Flussi termici specifici attraverso la vetrata interna della facciata attiva (estate 2010).

La giornata analizzata presenta la schermatura abbassata nell'intercapedine e la tenda interna aperta. Nei due piani si nota un comportamento abbastanza simile, con un picco per entrambi i piani verso le 16:00. Ad entrambi i livelli si nota un aumento dei flussi tra i sensori posti in basso e quelli posti in alto, tale stratificazione è più importante al piano terra. I flussi al primo piano sono sempre maggiori rispetto al piano terra. Tale comportamento si spiega considerando che la temperatura dell'aria interna dell'ufficio al primo piano è sempre minore di quella al piano terra, e che la temperatura dell'aria nell'intercapedine al livello del primo piano è sempre maggiore rispetto al piano terra.

Durante la giornata analizzata non sono presenti energie di heating. Il valore medio (facciata al piano terra e piano primo) di energia di cooling che attraversa la facciata attiva è pari a 98,6 Wh/m^2 .

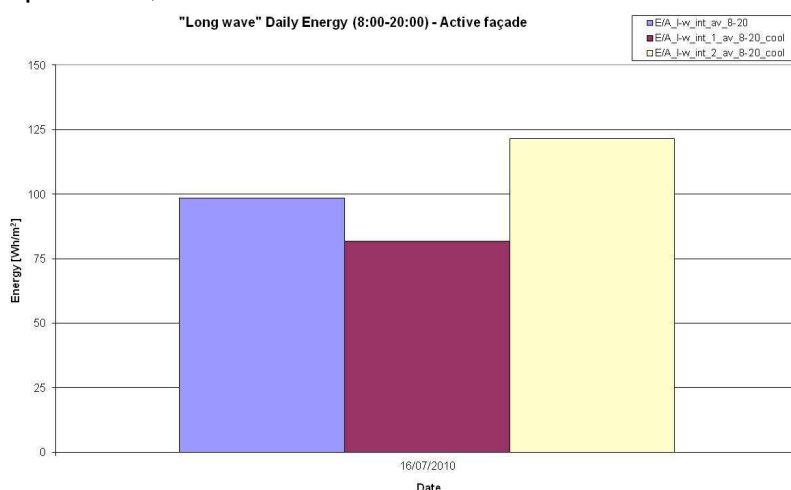


Figura 4 - Energie termiche giornaliere che attraversano la facciata attiva, giornata estiva soleggiata (2010).

2.1.1.2 Energie e flussi termici (estate 2011)

Giornata con schermature abbassate (intercapedine della facciata attiva).

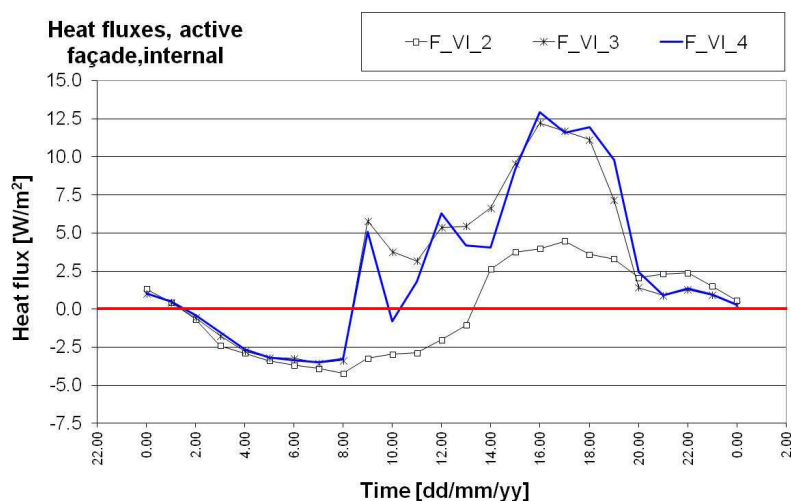


Figura 5 - Flussi termici specifici attraverso la vetrata interna della facciata attiva (estate 2011).

Dal grafico emerge che i flussi termici al piano terra (F_VI_2) sono inferiori rispetto a quelli del piano primo (F_VI_3 e 4). La differenza è imputabile alla diversa temperatura dell'aria interna. Infatti la temperatura dell'aria interna dell'ufficio al piano terra risulta essere superiore e quindi più vicina a quella esterna. Le temperature superficiali del vetro interno mostrano un andamento simile al piano terra (facciata attiva) e dietro la facciata passiva.

Le energie long-wave che attraversano la facciata al piano terra sono pari a circa 23 Wh/m² mentre al piano primo a 80 Wh/m². Il valore medio di energia long-wave di cooling che attraversa la facciata attiva è pari a 42 Wh/m².

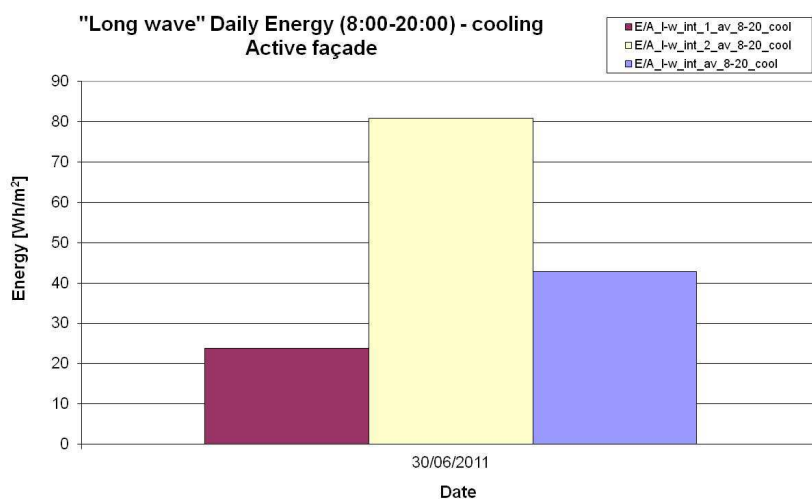


Figura 6 - Energie termiche giornaliere che attraversano la facciata attiva, giornata estiva soleggiata (2011).

1.1.1 COMPORTAMENTO INVERNALE

Il comportamento invernale della facciata è stato analizzato considerando due differenti condizioni meteorologiche al contorno: una giornata soleggiata ed una giornata nuvolosa.

1.1.1.1 Giornata soleggiata - Flussi termici ed energie giornaliere

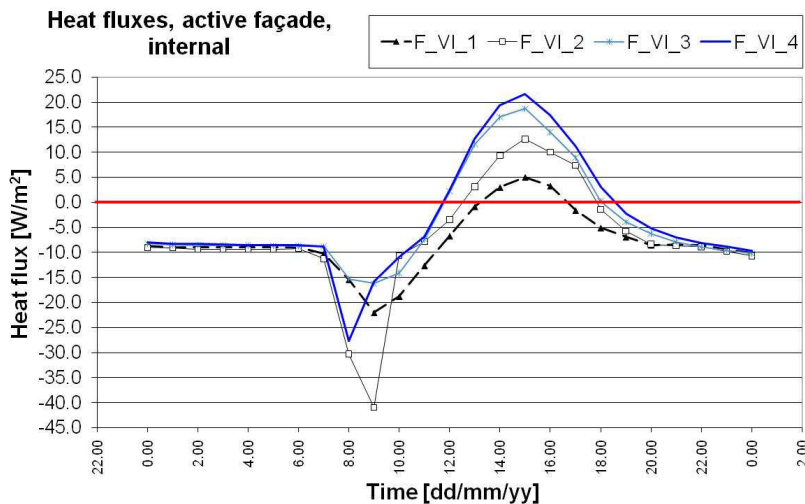


Figura 7 - Flussi termici specifici attraverso la vetrata interna della facciata attiva, giornata invernale soleggiata.

In Figura 7 si possono osservare i flussi termici che attraversano la facciata ai quattro livelli monitorati.

Si nota che al piano terra si hanno maggiori dispersioni nelle prime ore della giornata e minori apporti gratuiti durante il giorno, in presenza di radiazione solare. Al primo piano, invece, si hanno degli apporti gratuiti termici più consistenti, sino ad un picco di 20 W/m². Tale comportamento si spiega considerando che la temperatura dell'aria interna dell'ufficio al primo piano è sempre minore di quella al piano terra, diminuendo così la differenza con l'esterno e diminuendo di conseguenza le dispersioni. Il maggior flusso entrante (apporto gratuito) durante le ore soleggiate è inoltre spiegabile considerando che la temperatura dell'aria nell'intercapedine al livello del primo piano è maggiore della temperatura dell'aria interna, mentre al livello del piano terra l'aria nell'intercapedine ha una temperatura più bassa dell'aria interna. L'effetto di isolamento dinamico è dunque maggiore nella porzione più alta della facciata.

Di particolare interesse per la stagione invernale è l'energia di "heating": quella che deve essere fornita dall'impianto di riscaldamento per compensare le perdite per trasmissione.

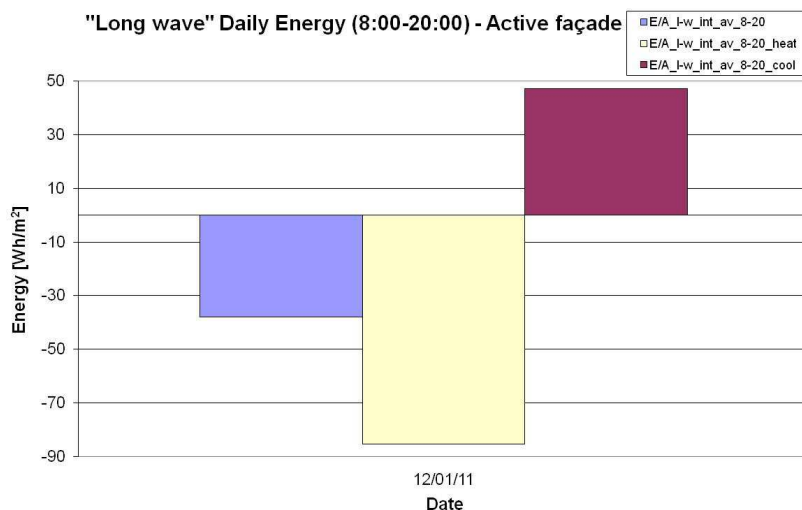


Figura 8 – Energie termiche giornaliere che attraversano la facciata attiva, giornata invernale soleggiata.

In Figura 8 si nota come l'energia complessivamente uscente dall'ambiente interno posto dietro la facciata attiva sia circa 85 Wh/m^2 . Nell'arco della giornata (periodo diurno) sono anche presenti circa 47 Wh/m^2 di apporti gratuiti.

1.1.1.2 Giornata nuvolosa - Flussi termici ed energie giornaliere

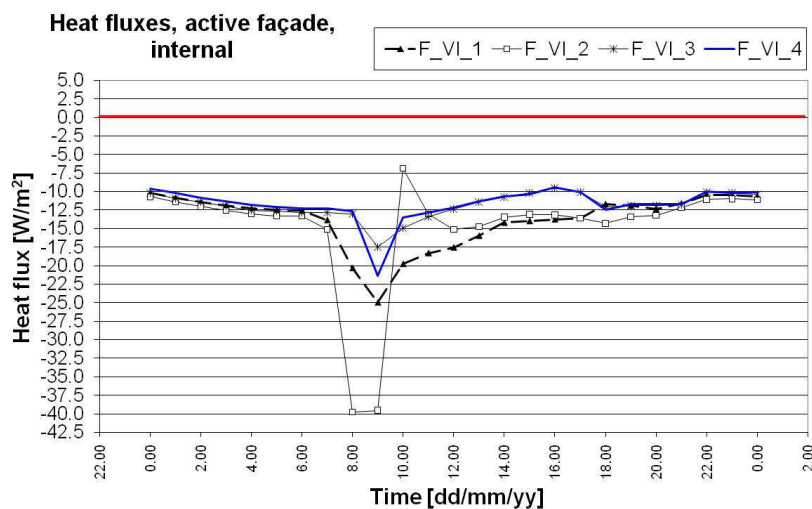


Figura 9 - Flussi termici specifici attraverso la vetrata interna della facciata attiva, giornata invernale nuvolosa.

Durante la giornata nuvolosa, in assenza di radiazione solare, i flussi sono sempre uscenti e quindi c'è sempre una dispersione dall'ambiente verso l'intercapedine ventilata.

Durante il giorno si hanno dispersioni minori in corrispondenza del primo piano, mentre durante la notte i flussi termici sono identici ai quattro livelli di monitoraggio.

La migliore prestazione nella parte alta della facciata attiva è da attribuire solo al miglior controllo della temperatura dell'aria interna nell'ufficio al primo piano. L'aria nell'intercapedine ha infatti, come può essere osservato in Figura 10 e in Figura 11, un valore pressoché costante per tutta l'altezza della facciata: l'effetto di isolamento dinamico è dunque costante lungo tutta la facciata, le differenze alle varie altezze sono da imputarsi alle diverse condizioni mantenute negli ambienti confinanti con la facciata attiva.

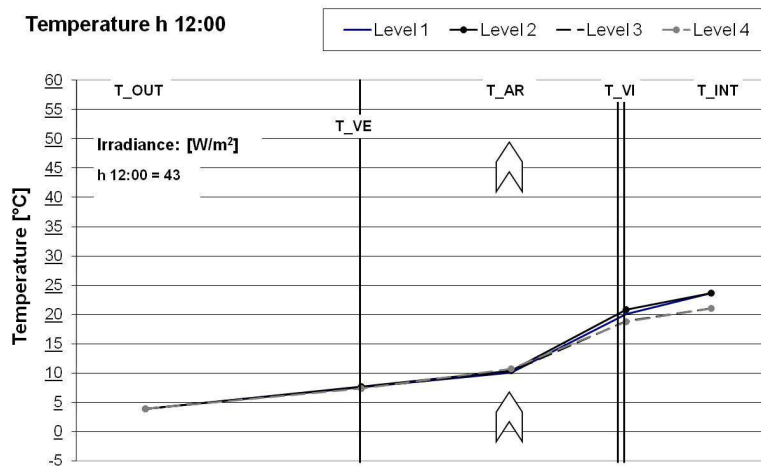


Figura 10 – Profili di temperatura alle 12:00, giornata invernale nuvolosa.

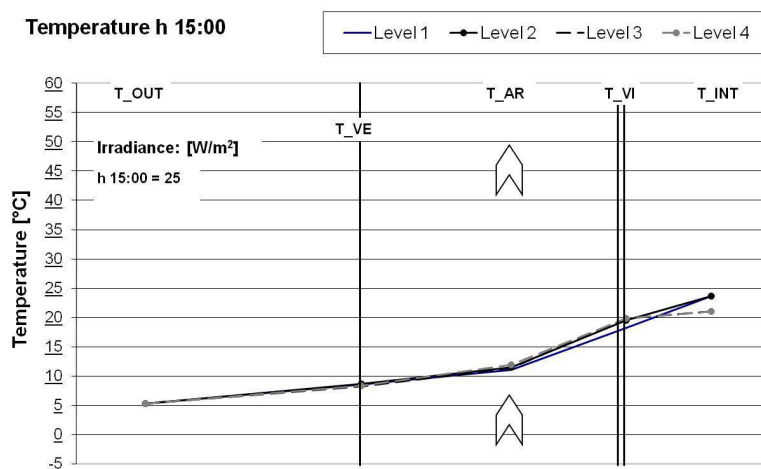


Figura 11 – Profili di temperatura alle 15:00, giornata invernale nuvolosa.

Considerando le energie giornaliere, nella giornata nuvolosa non sono presenti apporti gratuiti.

Si hanno maggiori dispersioni al piano terra rispetto al primo piano: circa 180 Wh/m² rispetto a 140Wh/m²(Figura 12).

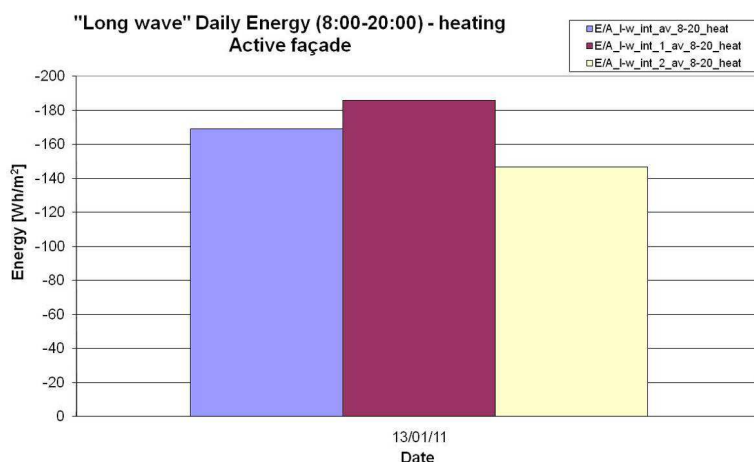


Figura 12 – Energie termiche giornaliere di heating che attraversano la facciata attiva, giornata invernale nuvolosa.

1.1.2 COMPORTAMENTO IN MEZZA STAGIONE - PRIMAVERA

Per la mezza stagione è stata analizzata una giornata soleggiata durante il periodo in cui il riscaldamento era acceso (fine aprile 2010).

1.1.2.1 *Flussi termici ed energie giornaliere*

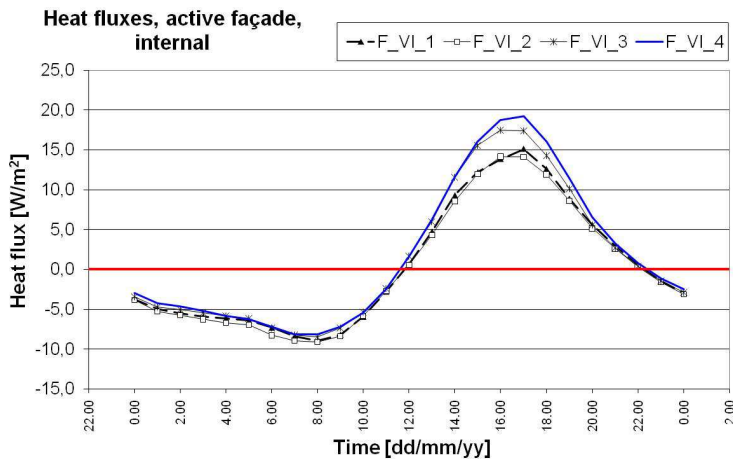


Figura 13 - Flussi termici specifici attraverso la vetrata interna della facciata attiva, giornata di mezza stagione.

Nel corso della prima mattinata e nel tardo pomeriggio, i valori dei flussi sono pressoché costanti su tutta la facciata.

L'andamento temporale di tutti i flussi è simile, con un passaggio da valori negativi (uscenti) a positivi (entranti) verso le 11:00.

Durante il giorno, in presenza di radiazione solare i flussi sono positivi e si registrano valori maggiori al primo piano rispetto al piano terra. Al primo piano, infatti, si arriva ad un picco alle ore 15 intorno ai 20 W/m^2 , contro i 15 W/m^2 del piano terra.

Si nota (in Figura 14) come l'energia complessivamente entrante dall'ambiente interno posto dietro la facciata attiva sia di $65,86 \text{ Wh/m}^2$. Nell'arco della giornata (periodo diurno) sono presenti circa $90,70 \text{ Wh/m}^2$ di energia per cooling e $-24,98 \text{ Wh/m}^2$ di energia per heating (dispersa).

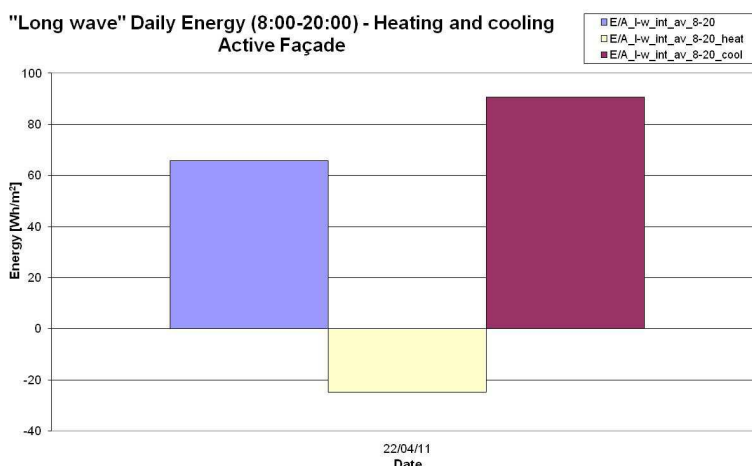


Figura 14 – Energie termiche giornaliere che attraversano la facciata attiva, giornata di mezza stagione.

1.2 CONFRONTO TRA FACCIATE

1.2.1 COMPORTAMENTO ESTIVO (2010)- CONFRONTO CON LA FACCIATA PASSIVA IN ASSENZA DI SCHERMO ESTERNO

1.2.1.1 Flussi termici totali

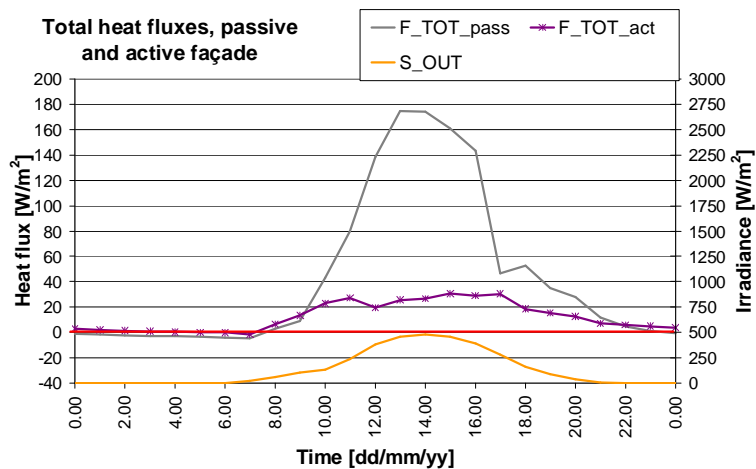


Figura 15 – Flussi termici totali attraverso la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva, giornata dell'estate 2010.

Durante la giornata soleggiata estiva, con un irraggiamento giornaliero di 3291 Wh/m^2 , si registra un picco dei flussi termici che attraversano la facciata attiva di circa 30 W/m^2 , mentre per la facciata passiva il flusso totale massimo supera i 150 W/m^2 .

1.2.1.2 Energie totali giornaliere

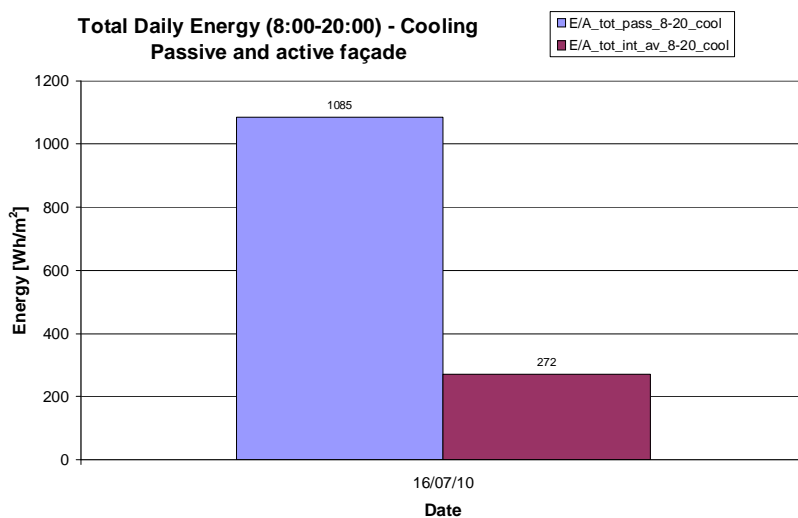


Figura 16 - Energie totali giornaliere che attraversano la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva, giornata soleggiata dell'estate 2010.

Dall'analisi delle energie totali di cooling che attraversano le due facciate, i carichi entranti nella facciata passiva sono più del triplo di quelli entranti nella facciata attiva: oltre 1000 Wh/m^2 contro circa 270 Wh/m^2 .

1.2.1.3 Fabbisogno energetico specifico normalizzato periodo estivo

Viene di seguito presentata l'energia entrante dalle facciate nel corso della stagione estiva (dal 20/06/2010 al 20/09/2010), in orario diurno (dalle 8 alle 20). Per tener conto del fatto che le temperature interne nei vari locali sono risultate diverse, si è inoltre provveduto a normalizzare il fabbisogno sulla base dei gradi giorno reali cui sono state soggette le due facciate.

Per il calcolo dei gradi giorno reali si è effettuata la somma, estesa a tutti i giorni del periodo considerato, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura interna media sulle 24 ore, e la temperatura media esterna giornaliera.

I gradi giorno calcolati per i tre uffici sono riportati in tabella.

Tabella 1 – Gradi giorno per la facciata attiva (complessivi, per l'ufficio al piano terra e quello al primo) e passiva.

GG attiva	GG passiva
228	211

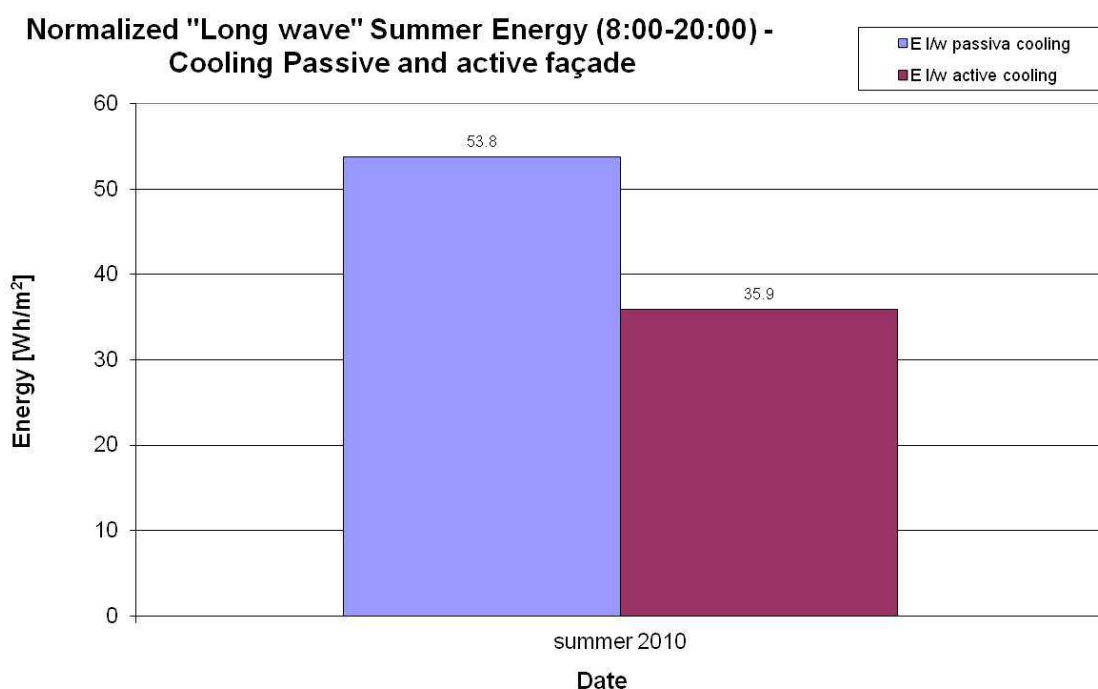


Figura 17 – Fabbisogno energetico diurno (dalle 8:00 alle 20:00) per le due facciate, normalizzato rispetto ai gradi giorno reali, stagione estiva 2010.

Si ottiene così (Figura 17) valori di energia di cooling normalizzata di 54 Wh/m²GG per la facciata passiva, di 36 Wh/m²GG per la facciata attiva. La facciata attiva riduce i flussi termici (long-wave) del 48 % rispetto alla facciata passiva.

1.2.2 COMPORTAMENTO ESTIVO (2011)- CONFRONTO CON LA FACCIATA PASSIVA IN PRESENZA DI SCHERMO ESTERNO

1.2.2.1 Flussi termici totali

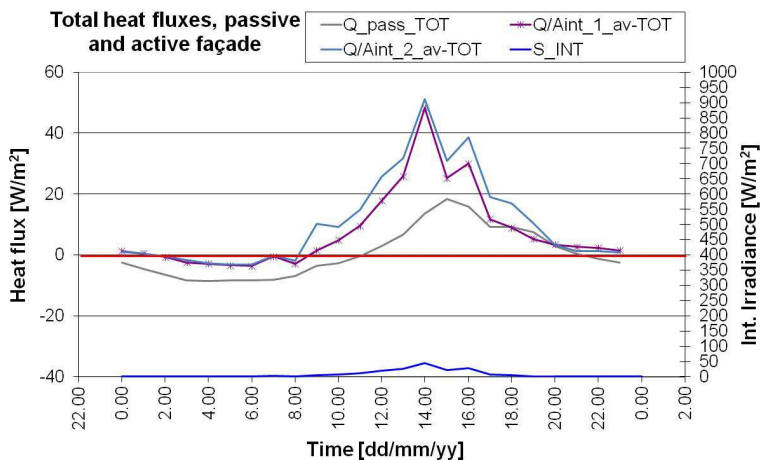


Figura 18 - Flussi termici totali attraverso la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva (con tenda esterna), giornata estiva.

La giornata analizzata presenta un irraggiamento di 2446 Wh/m^2 giorno. Analizzando i flussi totali (Figura 18), si nota che la facciata passiva con schermo esterno ha una prestazione migliore nel corso di tutta la giornata, ed anche nel corso della notte. I flussi termici che attraversano la facciata attiva mostrano valori diversi durante l'intera giornata lavorativa. I valori si discostano a causa delle diverse temperature dell'aria.

Di giorno in presenza di radiazione solare il flusso entrante nella facciata attiva è sempre maggiore, di notte attraverso la facciata passiva si hanno maggiori "dispersioni" che consentono di disperdere maggiormente il calore accumulato durante il giorno.

Il picco massimo di flusso entrante è di circa 50 W/m^2 per la facciata attiva e di poco meno di 20 W/m^2 per la facciata passiva.

1.2.2.2 Energie totali giornaliere

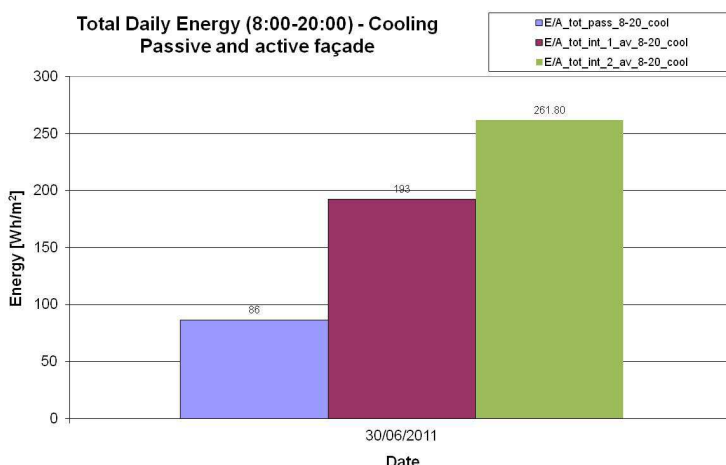


Figura 19 - Energie totali giornaliere che attraversano la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva (con tenda esterna), giornata estiva.

L'energia totale giornaliera (Figura 19) conferma in modo sintetico quanto osservato con i flussi.

L'energia entrante nella facciata attiva è circa 193 Wh/m² al piano terra e 260 Wh/m² al piano primo. La facciata passiva invece mostra valori di energia entranti pari a circa 86 Wh/m².

1.2.3 COMPORTAMENTO ESTIVO (2011)- CONFRONTO CON LA FACCIATA PASSIVA IN ASSENZA DI SCHERMO ESTERNO

1.2.3.1 Flussi termici totali

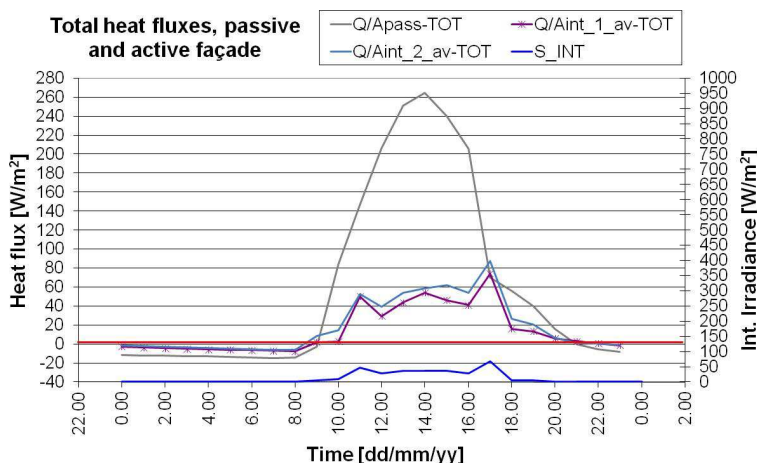


Figura 20 - Flussi termici totali attraverso la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva (senza tenda esterna), giornata estiva.

La giornata analizzata presenta un irraggiamento di 5230 Wh/m² giorno. La facciata passiva ha maggiori dispersioni durante la notte, mentre la facciata attiva mostra un comportamento migliore nel pomeriggio ed in serata. Il picco della facciata attiva non tocca i 60 W/m², mentre il flusso entrante nella facciata passiva arriva a 260 W/m².

Il miglior comportamento della facciata attiva nei confronti di quella passiva (senza schermo esterno) si spiega nella miglior gestione del carico solare.

1.2.3.2 Energie totali giornaliere

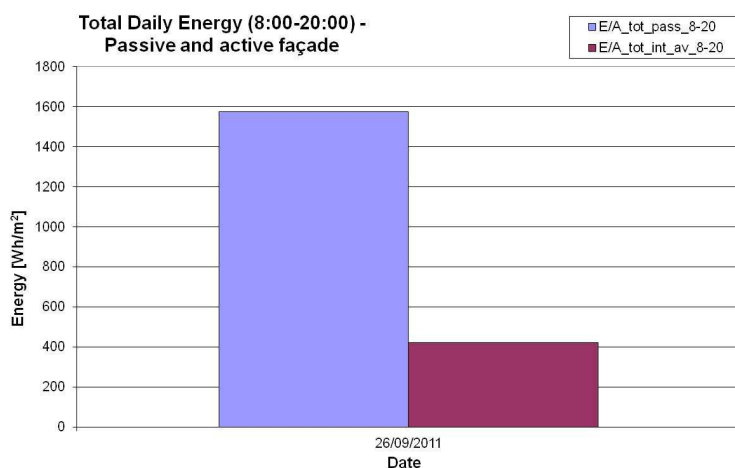


Figura 21 - Energie totali giornaliere che attraversano la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva (senza tenda esterna), giornata estiva.

Confrontando le energie totali entranti attraverso le due facciate, appare evidente come la facciata attiva fornisca una prestazione migliore di quella passiva: attraverso la passiva entra in ambiente il 73% di energia in più: circa 1600 Wh/m² attraverso la facciata passiva, e più di 400 Wh/m² attraverso l'attiva. Occorre comunque sottolineare che la facciata

passiva è in questo caso senza schermo esterno, e tale configurazione la porta ad avere una prestazione decisamente scarsa.

1.2.3.3 Fabbisogno energetico specifico normalizzato periodo estivo

Viene di seguito presentata l'energia entrante dalle facciate nel corso della stagione estiva (dal 01/06/2011 al 30/09/2011), in orario diurno (dalle 8 alle 20) escludendo il periodo della pausa estiva durante il quale l'impianto non era in funzione. Per tener conto del fatto che le temperature interne nei vari locali sono risultate diverse, si è inoltre provveduto a normalizzare il fabbisogno sulla base dei gradi giorno reali.

Per il calcolo dei gradi giorno reali si è effettuata la somma, estesa a tutti i giorni del periodo considerato, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura interna media sulle 24 ore, e la temperatura media esterna giornaliera.

I gradi giorno calcolati per i tre uffici sono riportati in tabella.

Tabella 2 – Gradi giorno per la facciata attiva (complessivi, per l'ufficio al piano terra e quello al primo) e passiva.

GG attiva	GG passiva	GG attiva 1	GG attiva 2
348	427	373	326

I valori di energia normalizzata sono stati divisi per uffici al fine di evidenziare le differenze tra l'ufficio al piano terra e il primo dietro la facciata attiva.

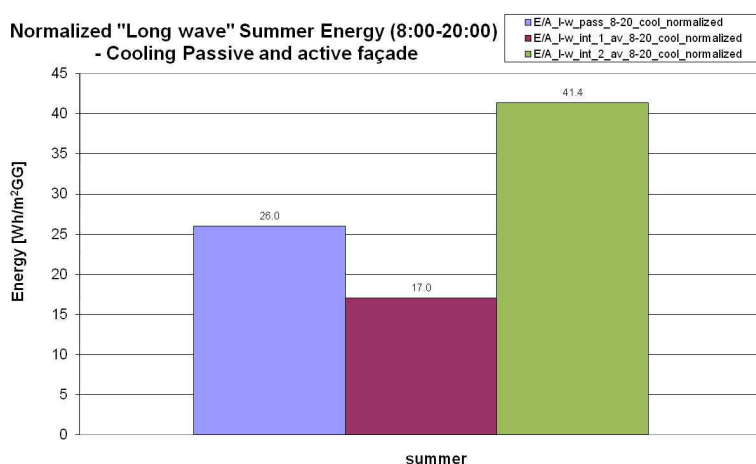


Figura 22 – Fabbisogno energetico diurno (dalle 8:00 alle 20:00) per le due facciate, normalizzato rispetto ai gradi giorno reali, stagione estiva 2011.

Si ottengono (Figura 22) valori di energia di cooling normalizzata di 26 Wh/m²GG per la facciata passiva, di 17 Wh/m²GG per la facciata attiva al piano terra e di 41 Wh/m²GG per il piano primo.

1.2.4 COMPORTAMENTO INVERNALE

1.2.4.1 *Giornata soleggiata - Flussi termici ed energie giornaliere*

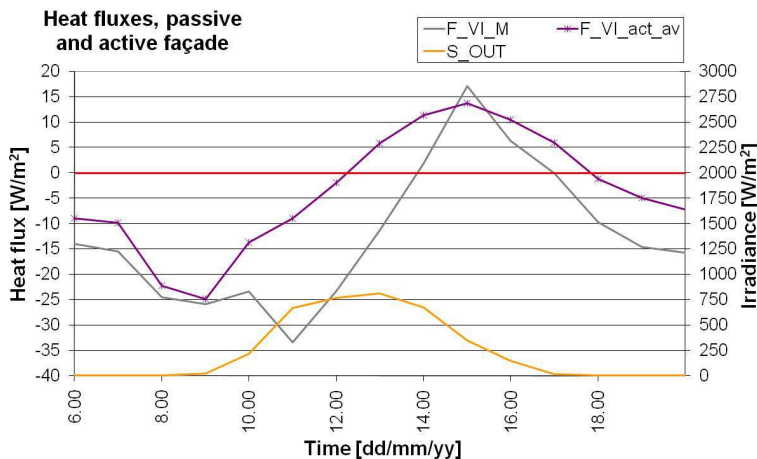


Figura 23 - Flussi termici specifici attraverso la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva (senza tenda esterna), giornata invernale soleggiata.

Confrontando i flussi termici attraverso le due facciate, si nota che attraverso la facciata passiva si ha una dispersione termica per la maggior parte del tempo: il flusso entrante è presente solo tra le 15:00 e le 17:00 e per tutto il resto della giornata le dispersioni sono sempre maggiori rispetto alla facciata attiva.

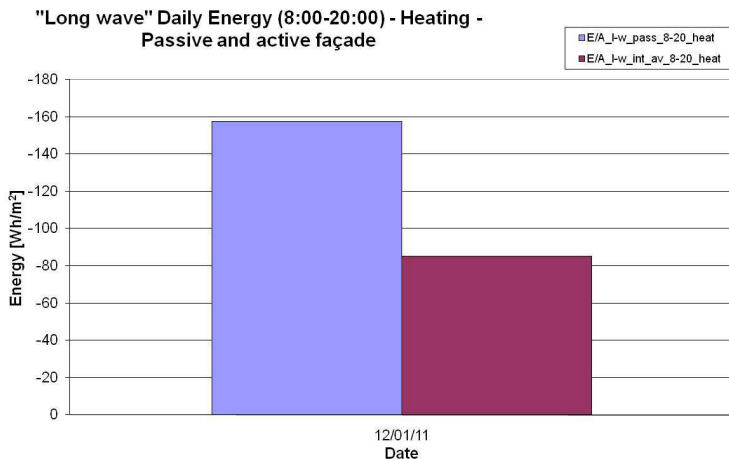


Figura 24 – Energia dispersa giornaliera attraverso la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva (senza tenda esterna), giornata invernale soleggiata.

In Figura 24 sono confrontate le energie uscenti attraverso le due facciate.

Le dispersioni attraverso la facciata passiva sono circa il doppio rispetto a quelle attraverso la facciata attiva: circa 160 Wh/m² contro circa 80 Wh/m².

1.2.4.2 Giornata nuvolosa - Flussi termici ed energie giornaliere

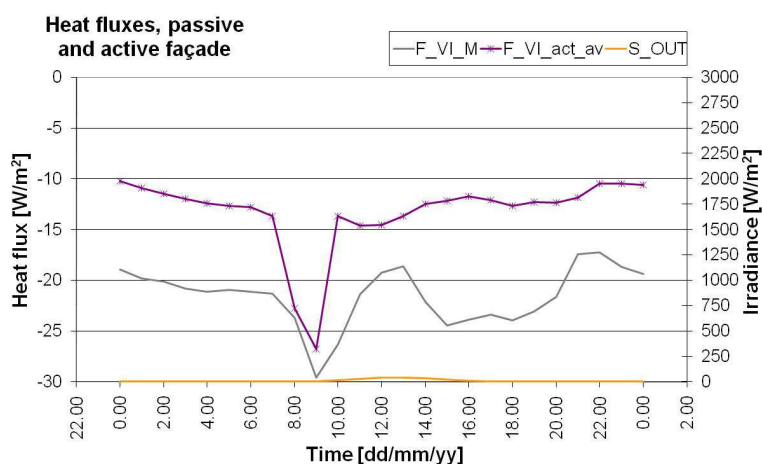


Figura 25 - Flussi termici specifici attraverso la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva (senza tenda esterna), giornata invernale nuvolosa.

Senza radiazione solare entrambe le facciate disperdono calore su tutte e 24 le ore.

Il flusso disperso dalla facciata attiva è in media inferiore di un terzo rispetto a quello disperso dalla facciata passiva.

Si nota che alle 9:00, l'entrata in funzione dell'impianto di riscaldamento provoca in entrambe del facciate un aumento del flusso disperso: tale aumento è contemporaneo all'innalzamento della temperatura dell'aria negli uffici.

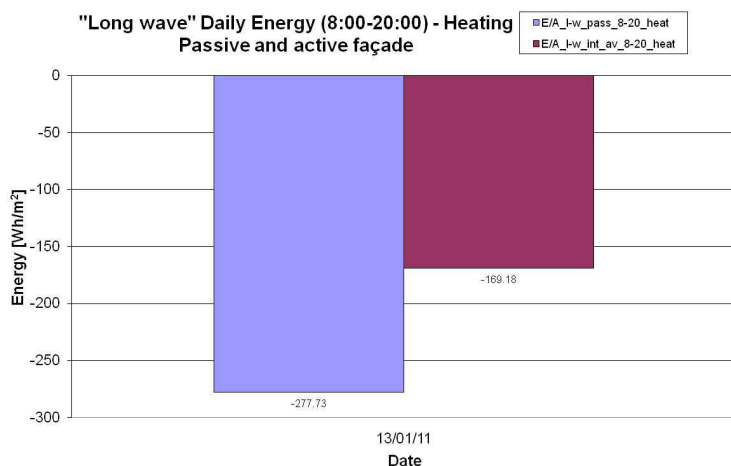


Figura 26 – Energia dispersa giornaliera attraverso la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva (senza tenda esterna), giornata invernale nuvolosa.

Considerando le energie giornaliere, si mette in evidenza come la facciata attiva fornisca una prestazione migliore rispetto a quella passiva. Attraverso la passiva sono dispersi circa 277 Wh/m^2 , mentre attraverso la facciata attiva circa 170 Wh/m^2 : il 34% in meno.

1.2.4.3 Fabbisogno energetico specifico normalizzato periodo invernale

Viene di seguito presentata l'energia dispersa dalle facciate nel corso della stagione invernale (dal 29/11/2010 al 20/03/2011), in orario diurno (dalle 8 alle 20). Per tener conto del fatto che le temperature interne nei vari locali sono risultate diverse, si è inoltre provveduto a normalizzare il fabbisogno sulla base dei gradi giorno reali cui sono state soggette le due facciate.

Per il calcolo dei gradi giorno reali si è effettuata la somma, estesa a tutti i giorni del periodo considerato, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura interna media sulle 24 ore, e la temperatura media esterna giornaliera.

I gradi giorno per la facciata attiva (considerando una temperatura interna pari alla media di quella dei due uffici) sono stati 1779 K giorno, per la facciata passiva sono stati 1725K giorno.

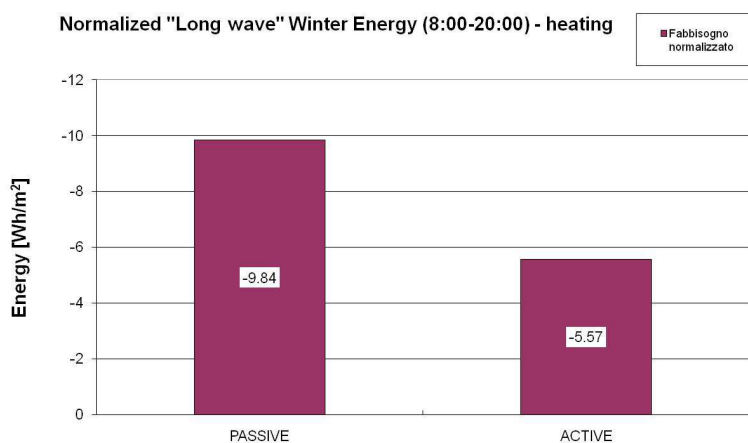


Figura 27 – Fabbisogno energetico diurno (dalle 8:00 alle 20:00) per le due facciate, normalizzato rispetto ai gradi giorno reali, stagione invernale 2010-2011.

Si ottiene così (Figura 27) una dispersione di 5.6 Wh/m²GG per la facciata attiva, e di 9.8 Wh/m²GG per la facciata passiva.

Il risparmio energetico, per unità di superficie di facciata, ottenibile adottando la tecnologia Avant Grip rispetto ad una facciata vetrata tradizionale, per la stagione invernale, è di circa il 40%.

1.2.5 COMPORTAMENTO IN MEZZA STAGIONE - PRIMAVERA

1.2.5.1 *Flussi termici ed energie giornaliere*

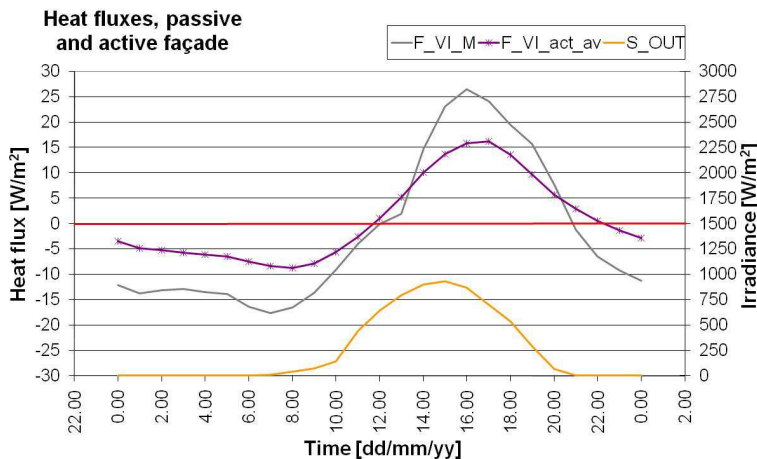


Figura 28 - Flussi termici specifici attraverso la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva, giornata di mezza stagione.

Durante la mezza stagione sono presenti sia dispersioni, sia apporti gratuiti.

Entrambe le tecnologie presentano flussi uscenti sino alle 11:00. Le dispersioni sono sempre maggiori nella facciata attiva, con un picco negativo di circa -15 W/m^2 , contro i -10 W/m^2 della attiva.

Durante il pomeriggio entrambe le facciate presentano flussi termici entranti. La passiva presenta un picco massimo di 25 W/m^2 contro i 15 W/m^2 della facciata attiva.

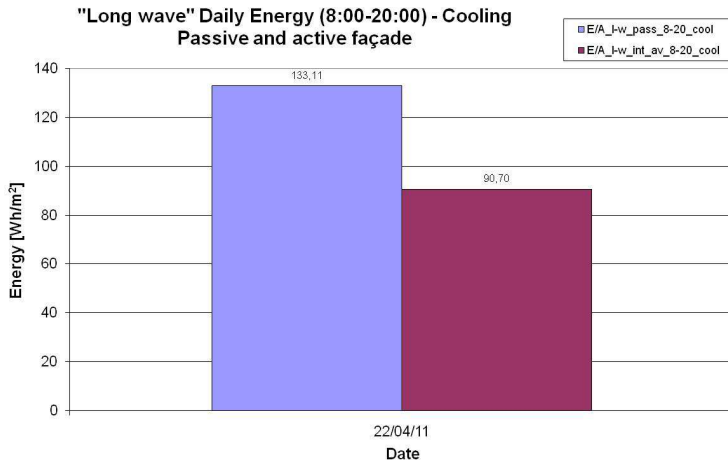


Figura 29 – Energia giornaliera entrante attraverso la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva, giornata di mezza stagione.

Gli apporti entranti attraverso la facciata passiva sono superiori del 30% rispetto a quelli che attraversano la facciata attiva (Figura 29).

1.2.5.2 Flussi totali ed energie totali giornaliere

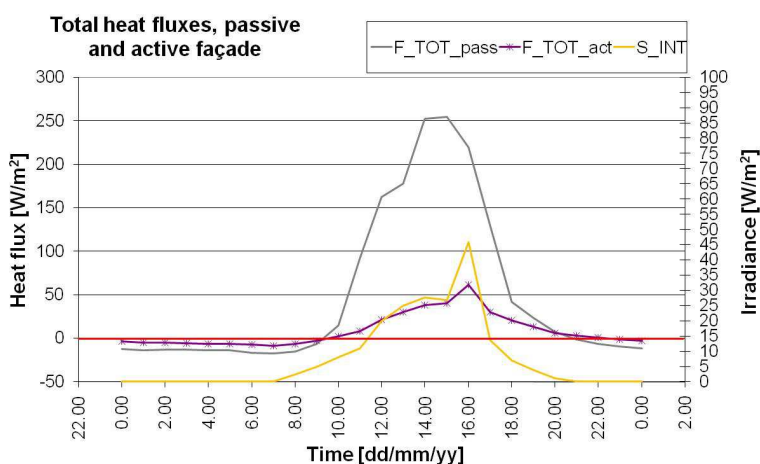


Figura 30 - Flussi totali specifici attraverso la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva, giornata di mezza stagione.

Passando all'analisi dei flussi totali, si nota che la facciata passiva ha dei flussi entranti molto più alti rispetto alla attiva, e tale comportamento è costante in tutta la giornata.

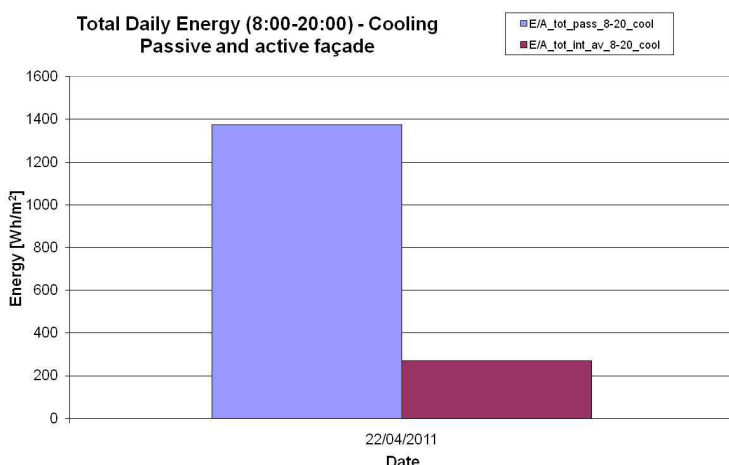


Figura 31 – Energia giornaliera totale entrante attraverso la vetrata interna della facciata attiva e della facciata passiva, giornata di mezza stagione.

I carichi entranti nella facciata passiva sono quasi il doppio di quelli entranti nella facciata attiva: quasi 1400 Wh/m^2 contro circa 300 Wh/m^2 .

1.2.5.3 Fabbisogno energetico specifico normalizzato stagione primaverile

Il fabbisogno energetico è stato calcolato nel periodo dal 21/03/2011 al 31/05/2011, in orario diurno (dalle 8 alle 20). Per l'analisi dei fabbisogni della stagione primaverile si sono riportati i valori di energia per heating e cooling ("long-wave"). Per tener conto della diversità delle temperature interne dell'aria nei vari uffici, si è normalizzato il fabbisogno sulla base dei gradi giorno reali. Per il calcolo dei gradi giorno reali si è effettuata la somma, estesa a tutti i giorni del periodo considerato, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura interna media sulle 24 ore, e la temperatura media esterna giornaliera.

I gradi giorno per la facciata attiva (considerando una temperatura interna pari alla media di quella dei due uffici) sono stati 276 K giorno, per la facciata passiva sono stati 278 K

giorno. Si sono ottenuti (Figura 32) i valori di fabbisogno normalizzato per le energie long-wave di cooling e heating

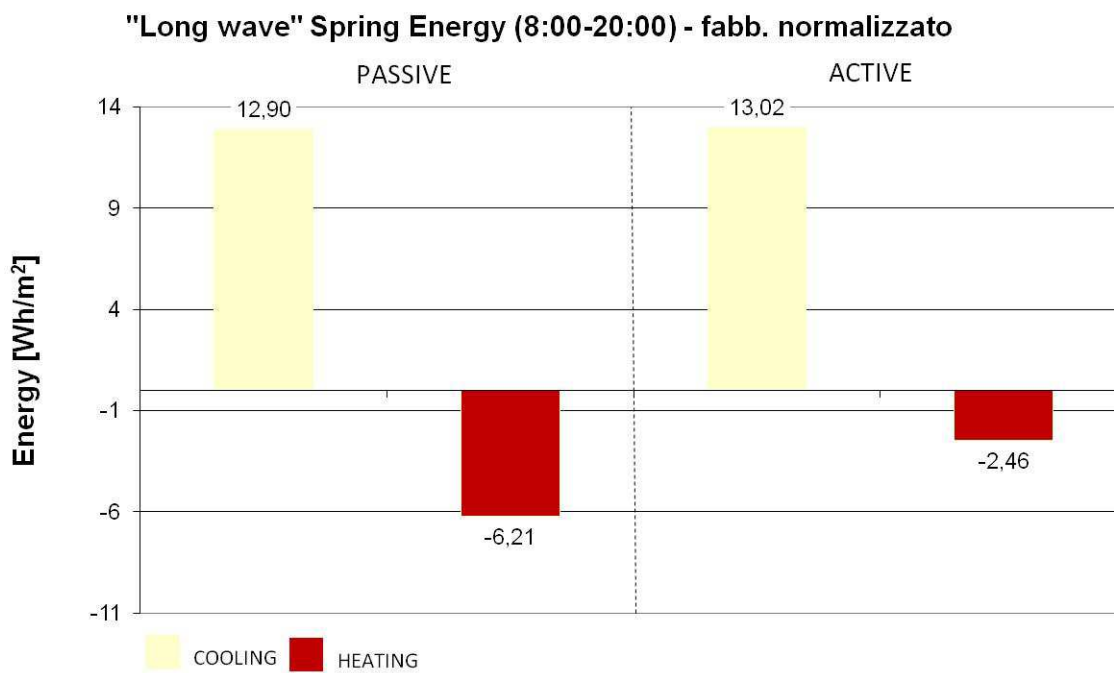


Figura 32 – Fabbisogno energetico diurno (dalle 8:00 alle 20:00) per le due facciate, normalizzato rispetto ai gradi giorno reali, stagione primaverile 2011.

2 ANALISI DEL COMFORT TERMICO INTERNO

L'analisi del comfort termico è stata effettuata prendendo in considerazione:

1. i valori della temperatura del vetro interno;
2. l'indice PMV.

La valutazione della temperatura del vetro consente di verificare la possibile presenza di discomfort locale dovuto alla presenza di una superficie calda o fredda.

L'indice PMV, invece, è un indice che è in grado di dare una valutazione del comfort globale dell'ambiente posto dietro la facciata.

Per le valutazioni di comfort termico basate sull'indice PMV, si assume, come ambiente-tipo, un ufficio di dimensioni 6x4 metri. Si assumono come valori di temperatura superficiale del vetro interno la media dei dati misurati piano per piano e si limita l'analisi alle ore più significative della giornata: 9:00, 12:00, 15:00, 18:00.

L'indice PMV ("Predicted Mean Vote" - Voto Medio Previsto) esprime il voto medio che ci si può aspettare di ottenere da un campione sufficientemente ampio di persone, sulla scala di sensazione termica riportata in tabella 1, basata sul bilancio termico del corpo umano. Il bilancio termico è ottenuto quando la produzione di calore interna al corpo eguaglia le dispersioni verso l'ambiente. In un ambiente termicamente moderato, il sistema di termoregolazione umano modifica automaticamente la temperatura della pelle e la sudorazione per mantenere il corpo in condizioni di equilibrio termico.

Voto	Sensazione
+3	Molto caldo
+2	Caldo
+1	Leggermente caldo
0	Né caldo né freddo
-1	Leggermente freddo
-2	Freddo
-3	Molto freddo

Tabella 3 – Scala ASHRAE di sensazione termica.

Per il calcolo dell'indice di comfort termico PMV è stato utilizzato il programma di calcolo Hypercomfort (Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino, 2000).

Seguendo le indicazioni date dalla norma UNI EN ISO 7730/2006, sono stati adottati i valori riportati in tabella 2 relativi ad attività sedentaria da ufficio e si è assunto che l'unica superficie che scambia con l'esterno è quella costituita dalla facciata (le altre superfici di confine sono state ipotizzate alla stessa temperatura dell'aria ambiente).

Tabella 4 – Condizioni al contorno indicate dalla norma UNI EN ISO 7730/2006.

Periodo	M [met]	Icl [clo]	R.U. [%]	Vair [m/s]
Inverno	1.2	1.0	50	0.1
Estate	1.2	0.5	50	0.1
Primavera	1.2	0.7	50	0.1

Il PMV viene valutato come valore puntuale ad una distanza di 0,75 m dalla facciata e ad un'altezza di 60 cm dal pavimento (altezza adottata per considerare una persona seduta), che nell'ambiente-tipo considerato rappresenta la posizione della postazione di lavoro più vicina alla facciata stessa. Tale valore indica se la zona adiacente la facciata è sfruttabile per una postazione di lavoro, oppure se il suo utilizzo è sconsigliato a causa delle condizioni di discomfort.

Viene inoltre calcolata la distribuzione spaziale del PMV nell'ufficio-tipo considerato.

Seguendo le indicazioni della norma UNI EN ISO 7730/2006, sono state adottate tre diverse classi di comfort, definite come:

- "classe A", $-0.2 < PMV < +0.2$
- "classe B", $-0.5 < PMV < +0.5$
- "classe C", $-0.7 < PMV < +0.7$

Sulla base della distribuzione spaziale vengono individuate le aree, e quindi le percentuali della superficie totale dell'ufficio, che rientrano nelle varie classi di comfort.

Le aree in cui il PMV è superiore a 0.7 o inferiore a -0.7 sono considerate in discomfort.

2.1 COMFORT TERMICO LOCALE: COMPORTAMENTO DELLE FACCIATE ATTIVA E PASSIVA

La possibile presenza di discomfort locale dovuto a superfici fredde o calde, è stata analizzata considerando la temperatura superficiale del vetro interno

Sono state analizzate le seguenti configurazioni:

- estate 2011
 - o facciata attiva: tipica giornata estiva con schermatura in intercapedine;
 - o facciata passiva: tipica giornata estiva in assenza della schermatura solare esterna;
- estate 2011
 - o facciata attiva: tipica giornata estiva;
 - o facciata passiva: tipica giornata estiva in presenza della schermatura solare esterna;
- inverno
 - o facciata attiva: tipica giornata invernale soleggiata;
 - o facciata passiva: tipica giornata invernale soleggiata;
 - o facciata attiva: tipica giornata invernale nuvolosa;
 - o facciata passiva: tipica giornata invernale nuvolosa;
- mezza stagione
 - o facciata attiva: tipica giornata di mezza stagione;
 - o facciata passiva: tipica giornata di mezza stagione.

2.1.1 **COMPORTAMENTO ESTIVO (2011)- TEMPERATURA VETRO INTERNO**

2.1.1.1 Giornata soleggiata assenza di schermatura solare esterna per la facciata passiva

Nel caso estivo l'analisi della temperatura superficiale del vetro interno consente di verificare che non vi siano problemi di discomfort locale dovuti alla presenza di una superficie verticale calda. Secondo la norma UNI EN ISO 7730/2006, una asimmetria della temperatura radiante di 10°C, causa una percentuale di insoddisfatti inferiore al 2%.

Nella Figura 33 si sono rappresentate le temperature superficiali dei vetri con un andamento simile ai diversi livelli di misura. Le temperature superficiali dell'ufficio al piano terra sono superiori rispetto a quello al piano terra.

Internal glass temperature

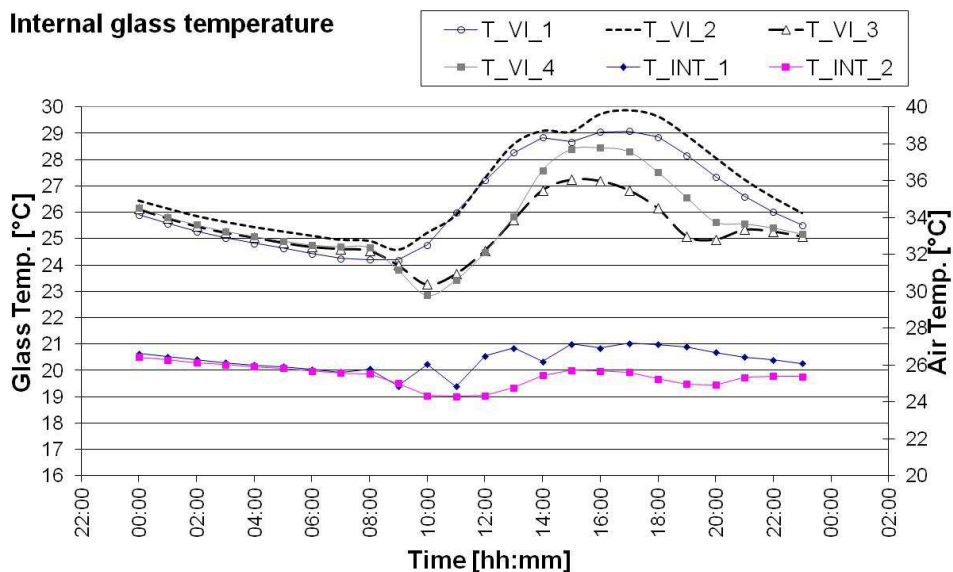


Figura 33 – Temperatura del vetro interno della facciata attiva, giornata estiva.

La facciata passiva presenta valori critici nelle ore del pomeriggio dove la temperatura superficiale del vetro arriva ad un valore massimo di 44°C (intorno alle 16:00) mentre la temperatura dell'aria dell'ufficio varia tra i 23°C e i 26 °C.

Il problema più evidente sembra essere quello di un pericolo di discomfort dovuto alla presenza di una superficie calda.

Glass temperature, passive façade

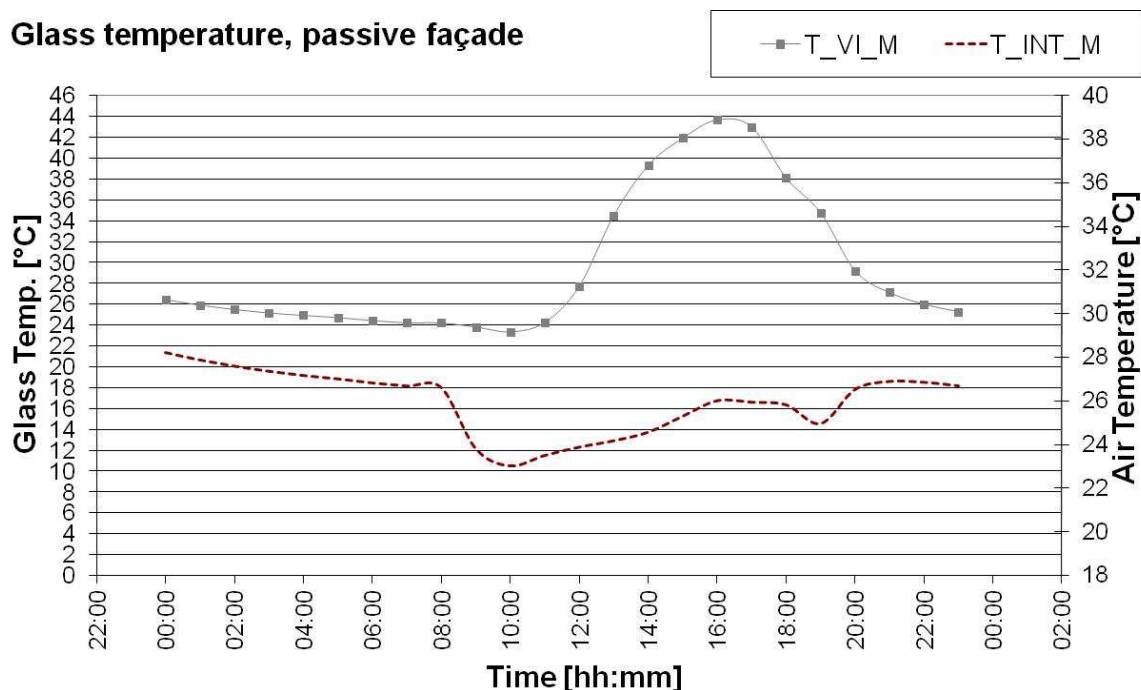


Figura 34 - Temperature del vetro interno della facciata passiva, condizioni estive, senza schermatura esterna.

2.1.2 COMPORTAMENTO ESTIVO (2011)- TEMPERATURA VETRO INTERNO

2.1.2.1 Giornata soleggiata in presenza di schermatura solare esterna per la facciata passiva

Durante la giornata soleggiata estiva la facciata attiva presentava lo schermo nell'intercapedine abbassata. La temperatura massima superficiale misurata, circa 28°C, si registra al piano terra. Le temperature superficiali interne del piano primo mostrano valori inferiori di circa 5°C. Si nota una differenza tra le temperature dell'aria registrate al piano terra e al piano primo della facciata attiva.

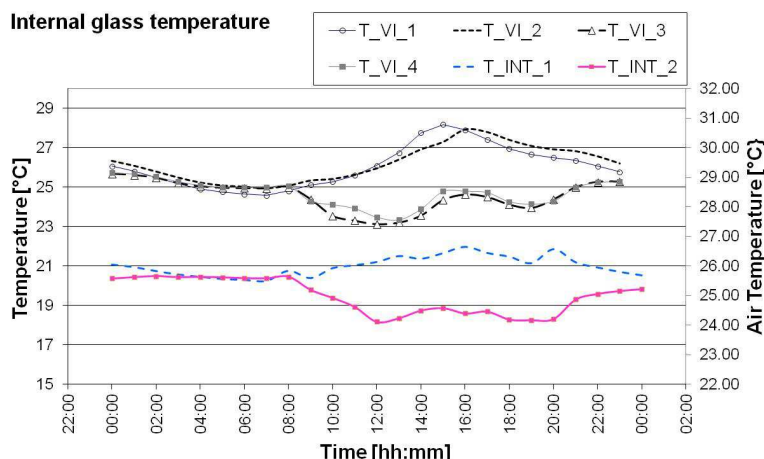


Figura 35 - Temperature del vetro interno della facciata attiva, giornata estiva

Durante una giornata estiva soleggiata in presenza dello schermo esterno la temperatura del vetro interno della facciata passiva arriva ad un valore massimo di temperatura di 28 °C.

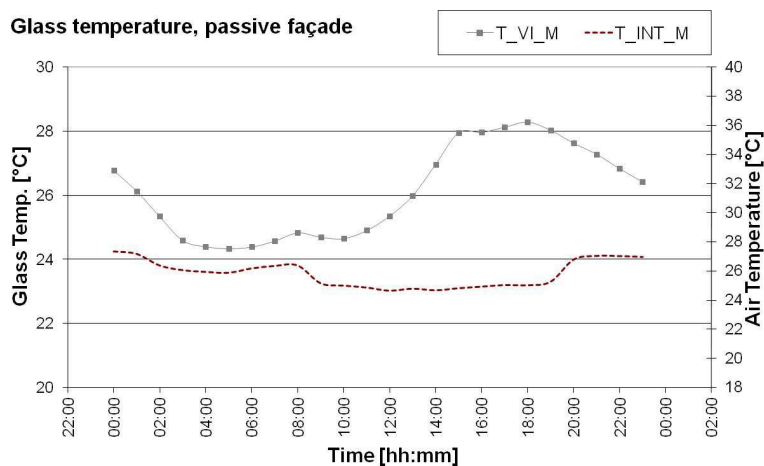


Figura 36 - Temperatura del vetro interno della facciata passiva, condizioni estive con schermatura esterna.

2.1.3 COMPORTAMENTO INVERNALE - TEMPERATURA VETRO INTERNO

Nel caso invernale l'analisi della temperatura superficiale del vetro interno consente di verificare che non vi siano problemi di discomfort locale dovuti alla presenza di una superficie verticale fredda. Secondo la norma UNI EN ISO 7730/2006, una asimmetria della temperatura radiante di 10°C, causa una percezione di insoddisfatti di circa il 5%.

In generale, temperature superficiali inferiori a 15°C possono essere causa di discomfort locale.

2.1.3.1 Giornata soleggiata

La facciata attiva, in una tipica giornata invernale soleggiata, presenta valori di temperatura del vetro interno sempre maggiori di 16°C con un picco massimo intorno ai 30°C al piano primo livello 2 (Figura 37). Tali valori non rappresentano un possibile problema di discomfort locale.

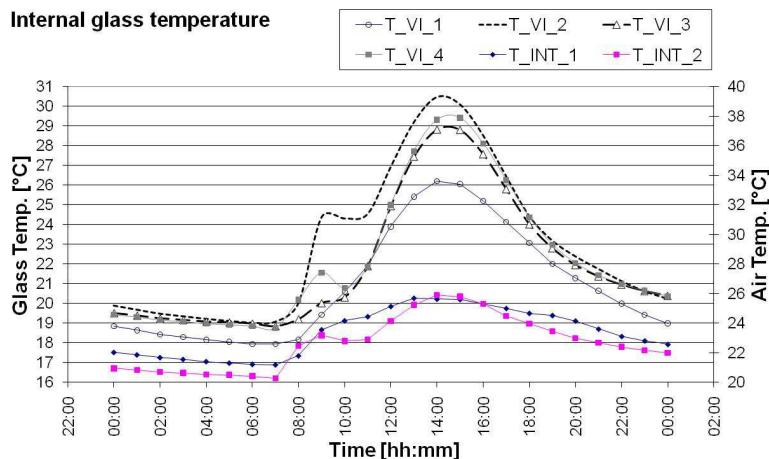


Figura 37 - Temperature del vetro interno della facciata attiva, giornata invernale soleggiata.

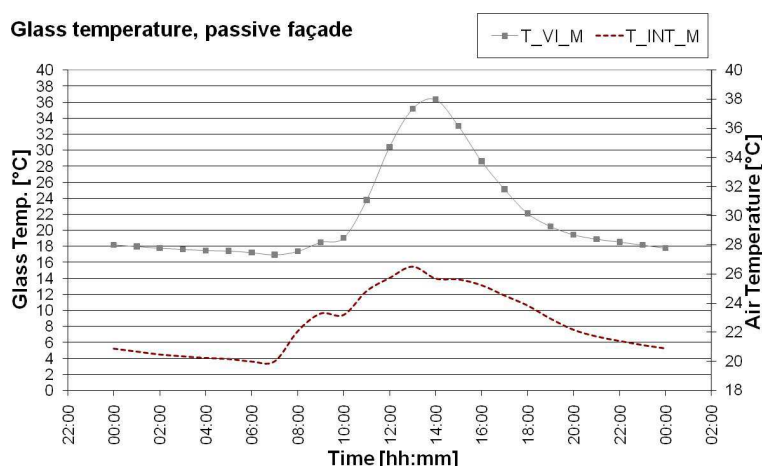


Figura 38 – Temperatura del vetro interno della facciata passiva, giornata invernale soleggiata.

La facciata passiva presenta valori critici sia al mattino (18°C) sia nel pomeriggio (oltre 36°C). Il problema più evidente sembra essere quello di un pericolo di discomfort dovuto alla presenza di una superficie calda.

2.1.3.2 Giornata nuvolosa

Le temperature raggiunte dalla superficie del vetro della facciata attiva durante la giornata nuvolosa, hanno dei valori massimi inferiori e dei valori minimi superiori a quelli registrati nel caso della giornata soleggiata. La temperatura massima misurata, circa 25°C, non costituisce in alcun modo una possibile causa di discomfort. Anche la temperatura minima, superiore a 17°C, non appare essere fonte di criticità.

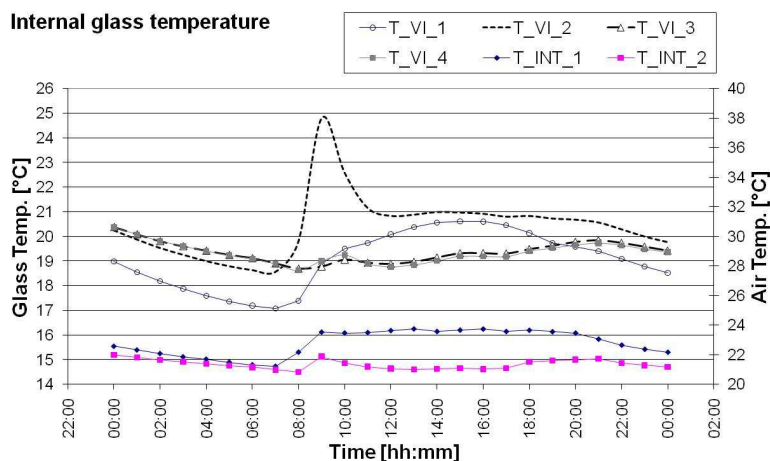


Figura 39 - Temperature del vetro interno della facciata attiva, giornata invernale nuvolosa.

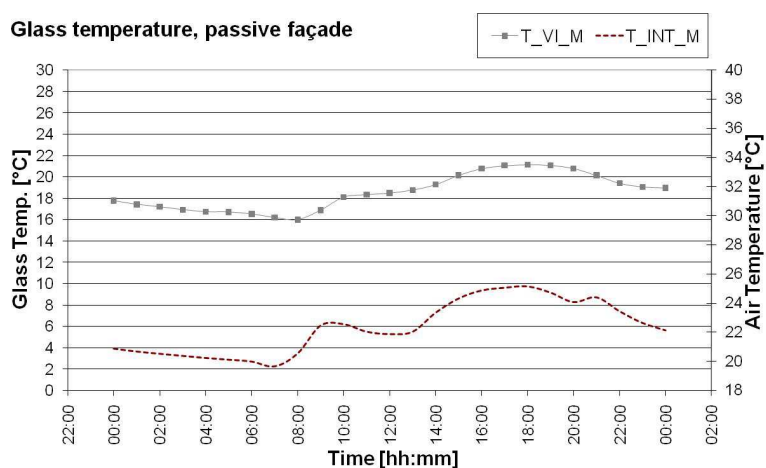


Figura 40 – Temperatura del vetro interno della facciata passiva, giornata invernale nuvolosa.

La facciata passiva, presenta valori della temperatura superficiale del vetro compresi tra 16°C e 21°C, che non possono generare situazioni di discomfort.

2.1.4 COMPORTAMENTO IN MEZZA STAGIONE PRIMAVERA - TEMPERATURA VETRO INTERNO

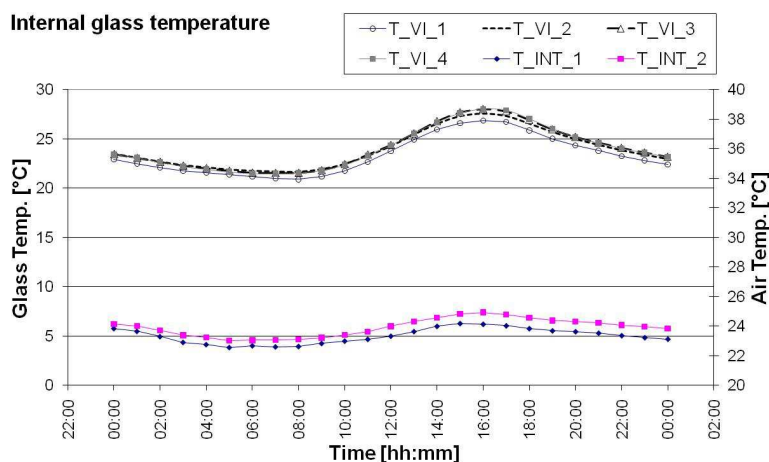


Figura 41 - Temperature del vetro interno della facciata attiva, giornata di mezza stagione soleggiata.

Durante la mezza stagione i valori della temperatura del vetro interno non rappresentano, per la facciata attiva, una possibile fonte di discomfort locale: nelle prime ore della mattinata presentano un valor minimo intorno ai 20 °C , e nel corso del pomeriggio un valore massimo di 28°C. Le temperature superficiali non si discostano di più di 10°C rispetto alla teorica temperatura dell'aria in mezza stagione (23°C).

E' presente invece un rischio di discomfort dovuto a superficie calda nel caso della facciata passiva: in una giornata di mezza stagione con buon irraggiamento sfiora i 33°C, con seri rischi per il comfort locale.

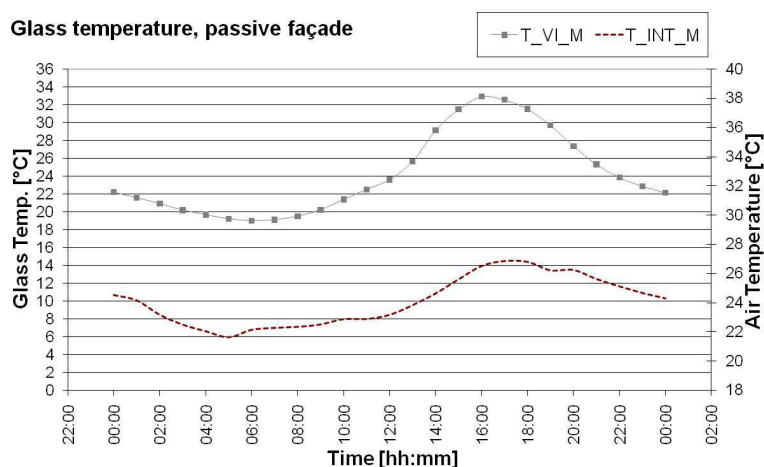


Figura 42 – Temperatura del vetro interno della facciata passiva, giornata di mezza stagione soleggiata.

2.2 COMFORT TERMICO GLOBALE: CONFRONTO TRA LA FACCIATA ATTIVA E LA FACCIATA PASSIVA

Il confronto sulle prestazioni di comfort termico garantito dalle due facciate è stato realizzato confrontando i valori del PMV in un ipotetico ufficio posto dietro le due facciate.

Tale valutazione è stata effettuata nella stagione estiva, invernale e per la mezza stagione.

2.2.1 COMPORTAMENTO ESTIVO - PMV

2.2.1.1 Confronto con facciata passiva con tenda esterna

Per tutto il corso della giornata, nessuna delle due facciate è causa di condizioni di discomfort.

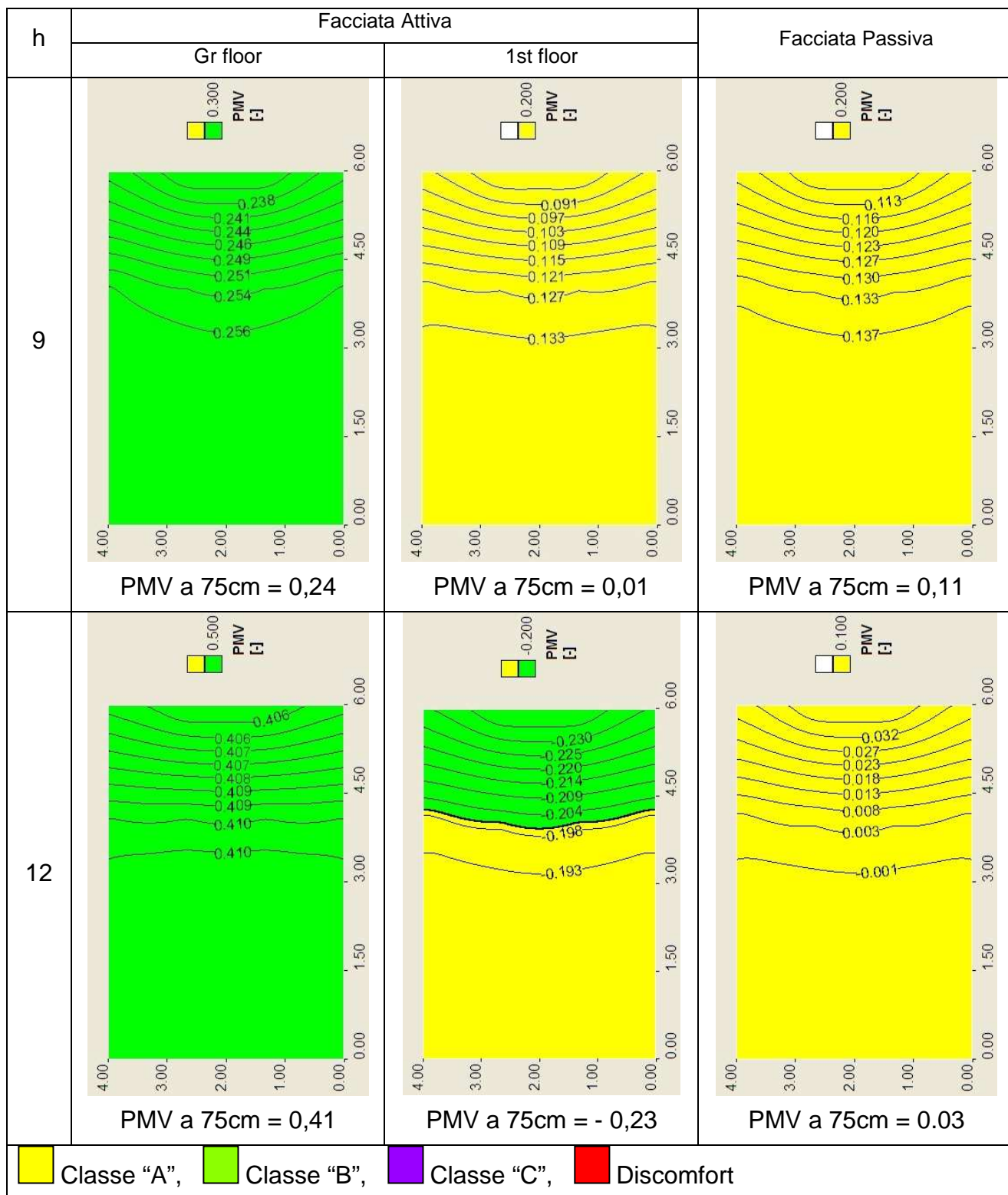
Ore	Facciata Attiva								Facciata Passiva			
	Gr floor				1st floor							
	A	B	C	Disc.	A	B	C	Disc.	A	B	C	Disc.
9	-	100%	-	-	100%	-	-	-	100%	-	-	-
12	-	100%	-	-	69,5%	30,5%	-	-	100%	-	-	-
15	-	100%	-	-	-	-	-	-	94,1%	5,9%	-	-
18	-	78,5%	21,5%	-	-	-	-	-	18,5%	81,5%	-	-

Tabella 5 – Percentuale di area nelle varie classi di comfort, giornata estiva, facciata passiva con schermatura esterna.

Per tutto il corso della giornata, nessuna delle due facciate è causa di condizioni di discomfort.

La facciata passiva presenta un ottimo comportamento. Durante le prime ore del giorno l'ufficio rientra nella classe più alta di comfort. Alle ore 15:00 una piccola percentuale dell'ufficio ricade in classe B (5,9%). Alle 19:00 la maggior parte dell'ufficio è in classe. B.

Gli uffici dietro alla facciata attiva presentano condizioni diverse. L'ufficio al piano terra rientra nella classe di comfort B fino alle 15:00. Alle 18:00 il 21% dell'area dell'ufficio rientra nella classe C: L'ufficio al piano primo rientra in classe A nelle prime ore della giornata, solo il 30 % dell'area rientra in classe B alle 12:00. Durante il resto della giornata non si hanno problemi di discomfort dato che la temperatura dell'aria non si discosta da quella superficiale del vetro.



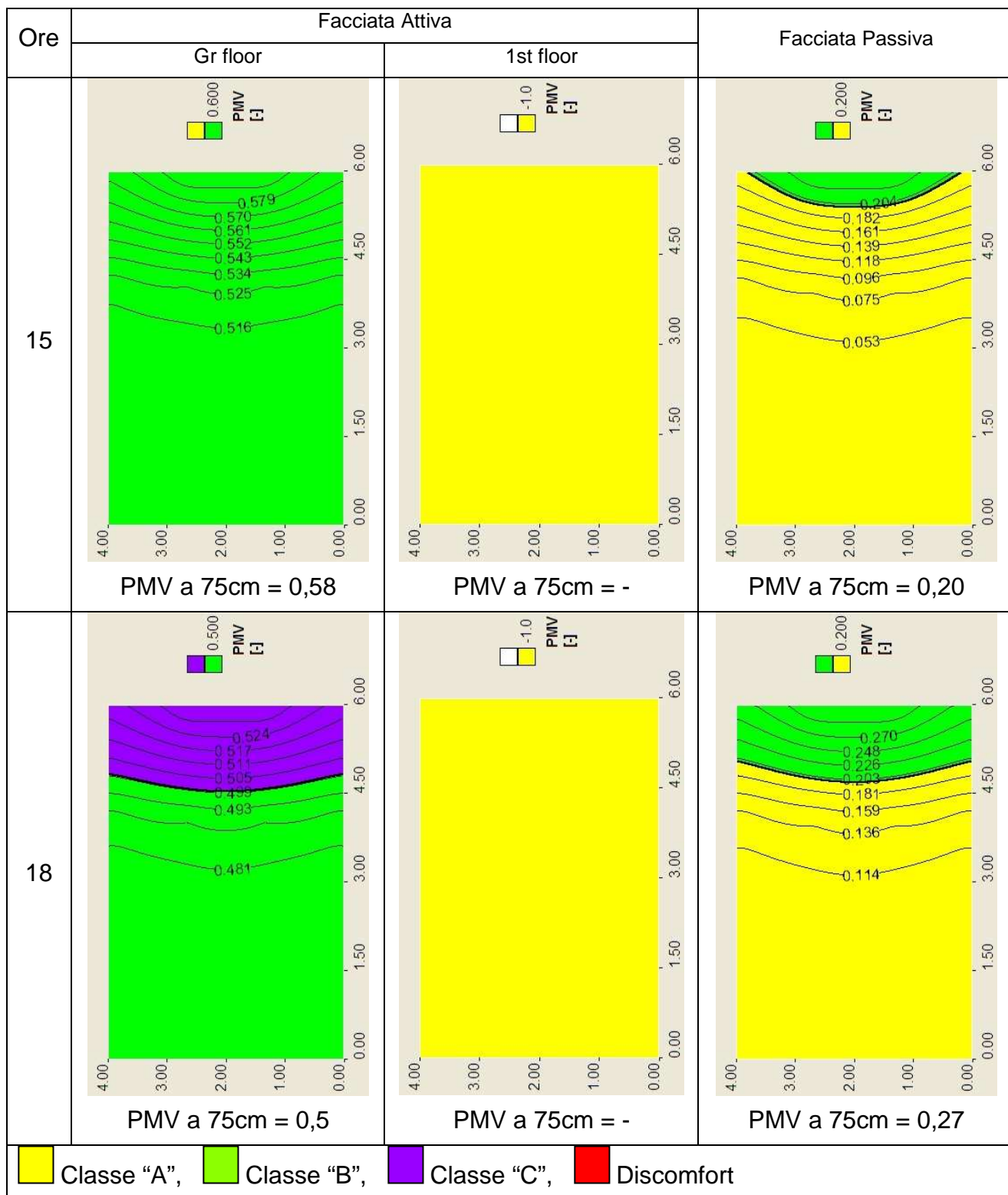


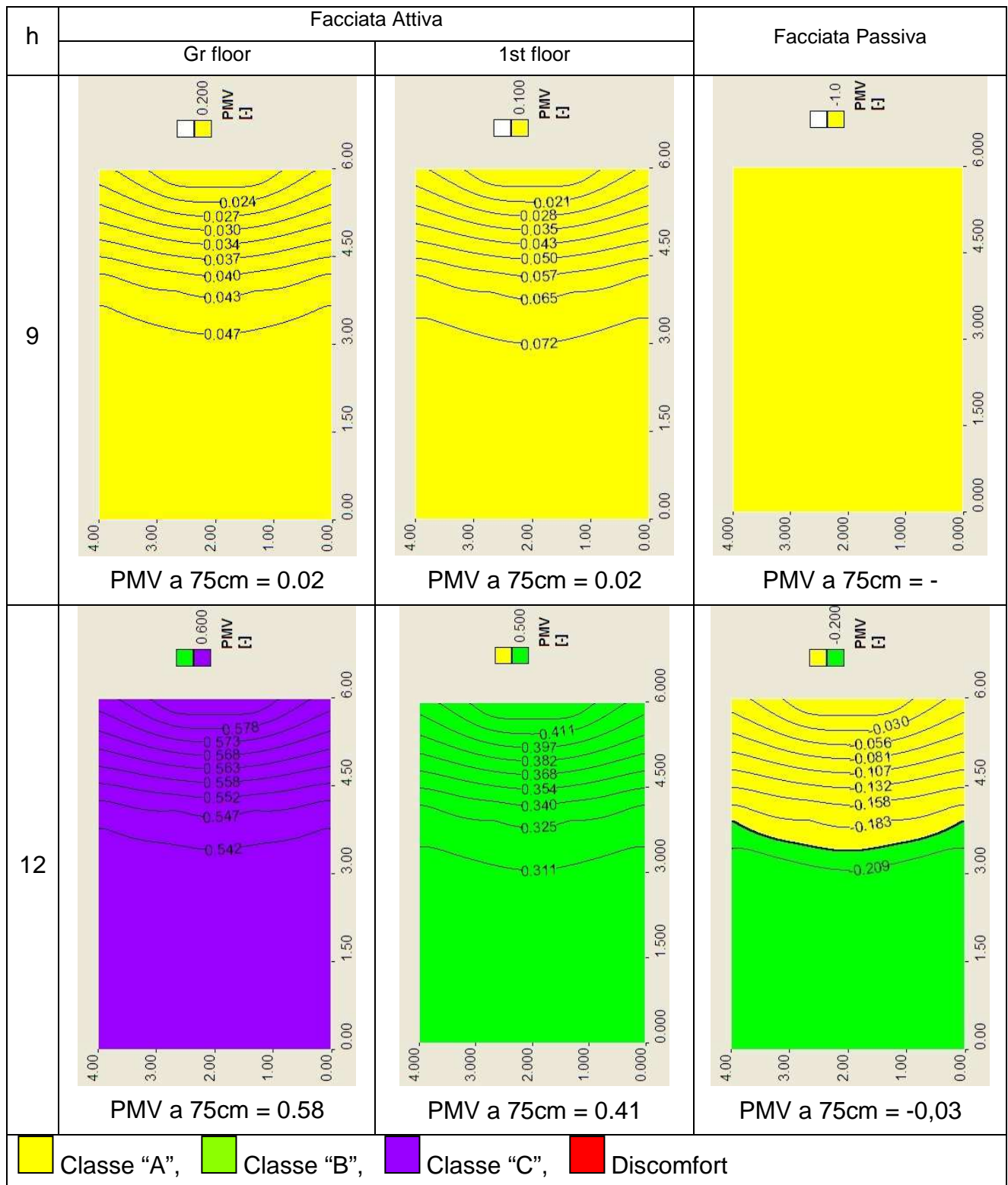
Tabella 6 – PMV: a 0.75m dalla facciata e distribuzione sul piano, alle ore 15:00 e 18:00 della giornata estiva, facciata passiva con schermatura esterna.

2.2.1.2 Confronto con facciata passiva senza tenda esterna

Dall'analisi delle condizioni di comfort nel periodo estivo (situazione monitorata) si sono calcolate situazione critiche nell'ufficio al piano terra della facciata attiva e nell'ufficio dietro alla facciata passiva. L'ufficio al piano terra della facciata attiva alle ore 12:00 si trova nella classe C di comfort (sensazione di caldo) e dalle ore 15:00 in situazione di discomfort. Nell'ufficio al piano primo della facciata attiva non si sono rilevate situazioni di discomfort, grazie ai valori di temperatura dell'aria molto bassi. La classe più bassa che si raggiunge è la B. Nell'ufficio dietro alla facciata passiva dalle ore 15:00 rientra in classe C e nelle vicinanze della parete vetrata in una situazione di discomfort. Dall'analisi dei valori di comfort si rilevano delle criticità per la facciata attiva. Le condizioni di comfort non sono mantenute all'interno dell'ambiente. Le principali cause delle condizioni di discomfort che si sono evidenziate sono; la regolazione dell'aria negli ambienti. Infatti dalle analisi della situazione teorica in cui si mantiene la temperatura dell'aria a 26° C, le condizioni di comfort migliorano.

Tabella 7 - Percentuale di area nelle varie classi di comfort, giornata estiva, facciata passiva con schermatura esterna.

h	Facciata Attiva								Facciata Passiva			
	Gr floor				1st floor							
	A	B	C	Disc.	A	B	C	Dis c.	A	B	C	Disc.
9	100%	-	-	-	100%	-	-	-	-	100%	-	-
12	-	-	100%	-	-	100%	-	-	39.1 %	60.9%	-	-
15	-	-	-	100%	-	100%	-	-	-	-	77,7%	22,3%
18	-	-	-	100%	82,0%	18,0%	-	.	-	-	77,3%	22,7%



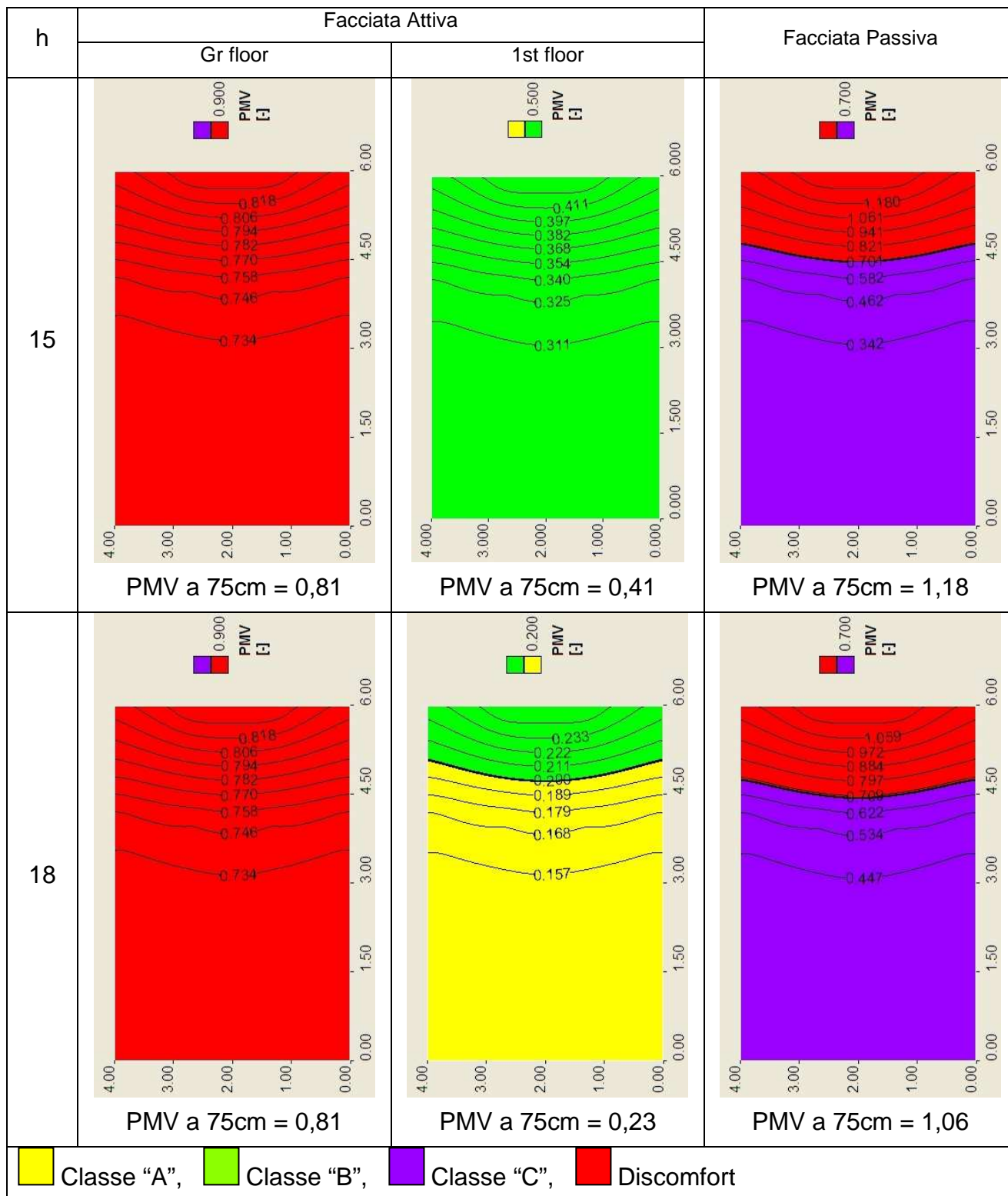


Tabella 8 - PMV: a 0.75m dalla facciata e distribuzione sul piano, della giornata estiva soleggiata, situazione monitorata.

2.2.2 COMPORTAMENTO INVERNALE - PMV

La valutazione delle condizioni di comfort interno è stata fatta ipotizzando che negli uffici fosse presente la tipica ed ideale temperatura interna di progetto invernale: 20°C. E' possibile in tal modo valutare la prestazione delle facciata in termini di comfort, senza considerare l'effetto del controllo della temperatura interna.

Le temperature superficiali considerate per la valutazione del PMV sono quelle delle giornate riportate nel precedente paragrafo.

2.2.2.1 Giornata soleggiata

All'inizio della mattinata (9:00) le condizioni di comfort sono buone in corrispondenza dei 2 livelli della facciata attiva e passiva.

Nelle ore centrali della giornata (alle 12:00 e alle 15:00), tutte le superficie degli uffici posti dietro la facciata attiva si trovano in condizioni di discomfort, a parte l'ufficio al primo piano che presenta valori di calcolo del PMV in classe C. La situazione di discomfort prevede che gli utenti abbiano caldo, infatti il PMV raggiunge un valore massimo di 1,2 alle 15:00 nell'ufficio dietro la facciata passiva.

Occorre sottolineare che tale situazione di discomfort non è imputabile alla facciata, ma alla temperatura dell'aria interna decisamente alta per il periodo invernale.

Ore	Facciata Attiva								Facciata Passiva			
	Gr floor				1st floor							
	A	B	C	Disc.	A	B	C	Disc.	A	B	C	Disc.
9	-	100%	-	-		100%	-	-	7,08%	92,92%	-	-
12	-	-	-	100.0%	-	-	100.0%-		-	-		100.0%
15	-	-	-	100.0%				100.0%				100.0%
18	-	-	100.0%				100.0%			100.0%		

Tabella 9 – Percentuale di area nelle varie classi di comfort, giornata invernale soleggiata.

In Tabella 10 è riportata la distribuzione sul piano del PMV alle 9:00 (ora in cui le condizioni di comfort sono più critiche), ed alle 15:00 (orario in cui si trovano le migliori condizioni di comfort).

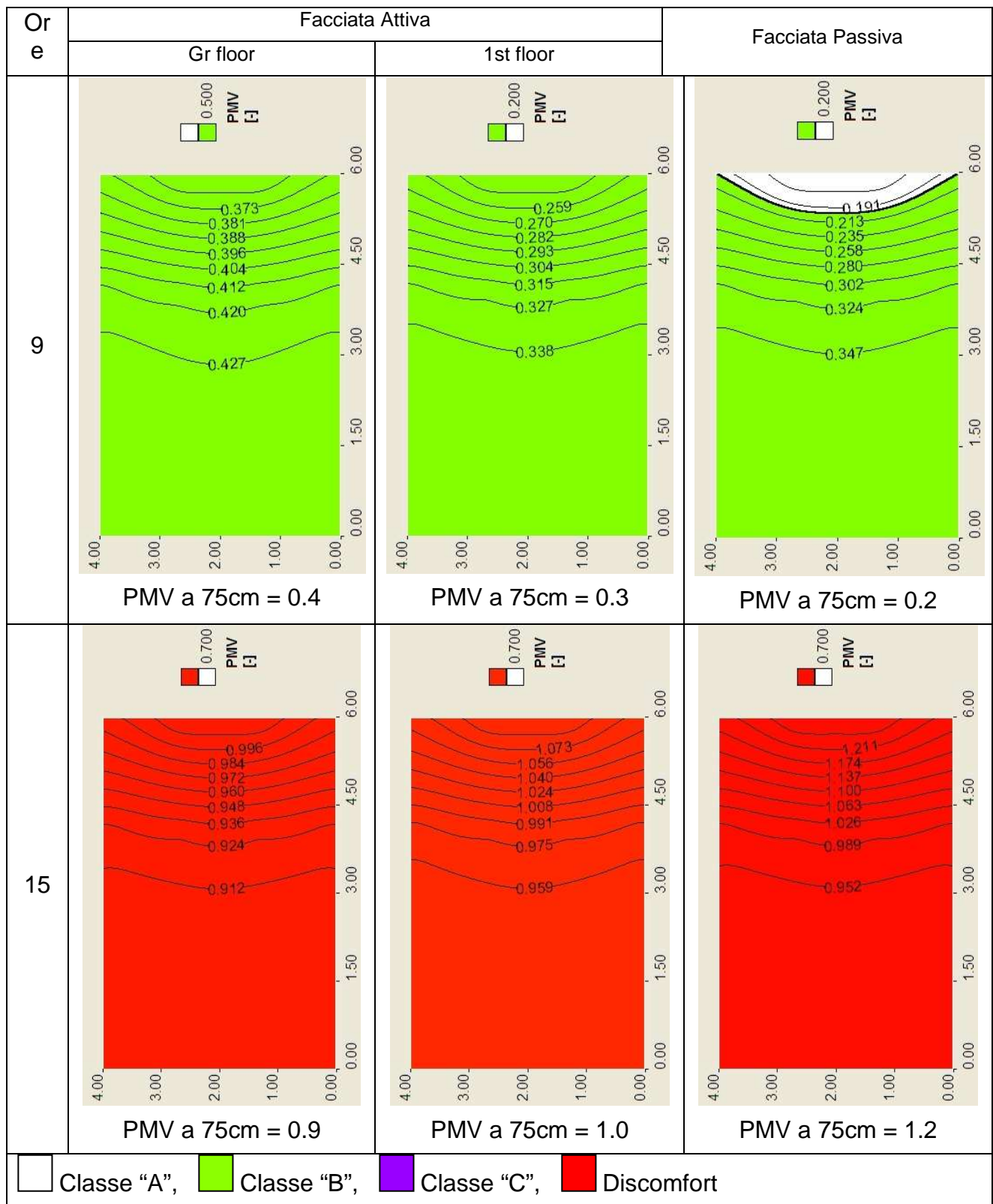


Tabella 10 – PMV: a 0.75m dalla facciata e distribuzione sul piano, alle ore 9:00 e 15:00 della giornata invernale con buon irraggiamento.

2.2.2.2 Giornata nuvolosa

Dall'analisi dei valori delle temperature superficiali riportati nella tabella 10 si evidenzia che i valori di temperatura superficiali non mostrano particolari cambiamenti durante le ore del giorno della giornata nuvolosa studiata. Per questo motivo è stata effettuata un'unica valutazione del PMV alle ore 9:00, per verificare che non ci fossero problemi di discomfort legati alla superficie fredda. Gli uffici dietro alla facciata attiva rientrano, al piano terra in classe B, mentre quello al primo piano in classe A. L'ufficio dietro alla facciata passiva invece rientra in classe A.

Ore	Facciata Attiva								Facciata Passiva			
	Gr floor				1st floor							
	A	B	C	Disc.	A	B	C	Disc.	A	B	C	Disc.
9	-	100%	-	-	100%	-	-	-	100%			-

Tabella 11 – Percentuale di area nelle varie classi di comfort, giornata invernale nuvolosa.

In Tabella 12 è riportata la distribuzione sul piano del PMV alle 9:00 (ora in cui le condizioni di comfort sono più critiche), ed alle 15:00 (orario in cui si trovano le migliori condizioni di comfort).

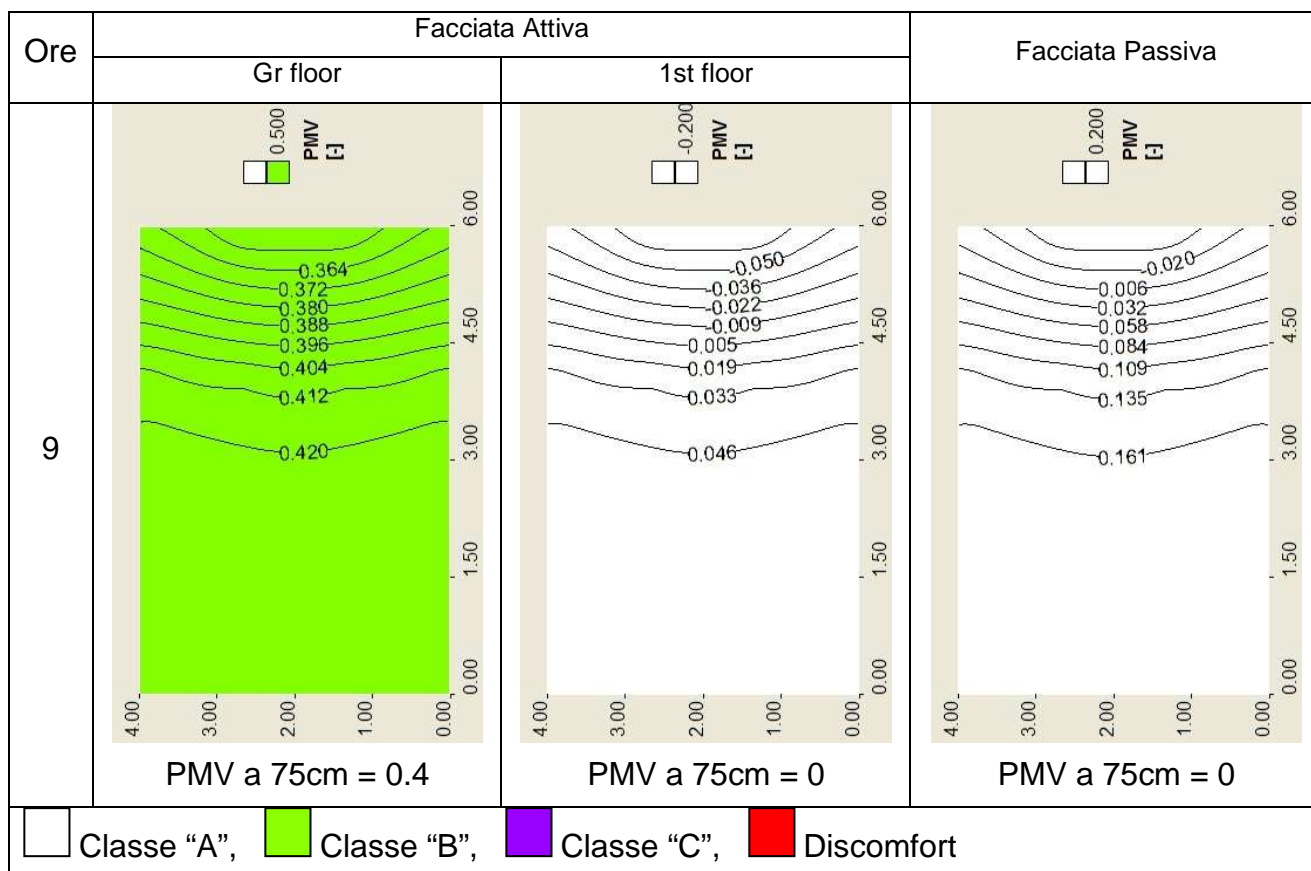


Tabella 12 – PMV: a 0.75m dalla facciata e distribuzione sul piano, alle ore 9:00 della giornata invernale con scarso irraggiamento.

2.2.3 COMPORTAMENTO IN MEZZA STAGIONE, PRIMAVERA - PMV

Nel periodo primaverile, durante una giornata soleggiata, si sono calcolate situazioni di discomfort solo nell'ufficio dietro alla facciata passiva. In particolare alle 18:00 l'intero ambiente è in una classe di discomfort a causa dell'elevata temperatura superficiale del vetro (31°C) e dell'aria (27°C). La facciata attiva presenta condizioni di comfort migliori. La facciata al piano terra registra la maggiore percentuale di area in classe A in particolare durante le prime ore del giorno. La classe più bassa raggiunta dall'ufficio al piano terra è la B durante le ore del pomeriggio. L'ufficio al primo piano presenta valori di comfort simili a quelli dell'ufficio al piano terra durante le prime ore della giornata. Nel pomeriggio la maggior parte dell'area di pavimento dell'ufficio ricade in classe B solo una piccola percentuale intorno alla finestra cade in classe C e si rileva una sensazione tendente al caldo. Nelle prime ore del giorno le tre facciate analizzate si posizionano in condizioni di comfort con una sensazione tendente al freddo. Dall'analisi dei valori di comfort non si rilevano particolari situazioni critiche per la facciata attiva.

Tabella 13 - Percentuale di area nelle varie classi di comfort, giornata primaverile soleggiata.

h	Facciata Attiva								Facciata Passiva			
	Gr floor				1st floor							
	A	B	C	Disc.	A	B	C	Disc.	A	B	C	Disc.
9	100%	-	-	-	100%	-	-	-	-	100%	-	-
12	100%	-	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-
15	77,37%	22,63%	-	-	-	84,98%	15,02%	-	-	-	67,9%	32,1%
18	83,40%	16,60%	-	-	-	94,89%	5,22%	.	-	-	-	100%

In Tabella 12 è riportata la distribuzione sul piano del PMV alle 15:00 ed alle 18:00 (orario in cui si trovano le migliori condizioni di comfort).

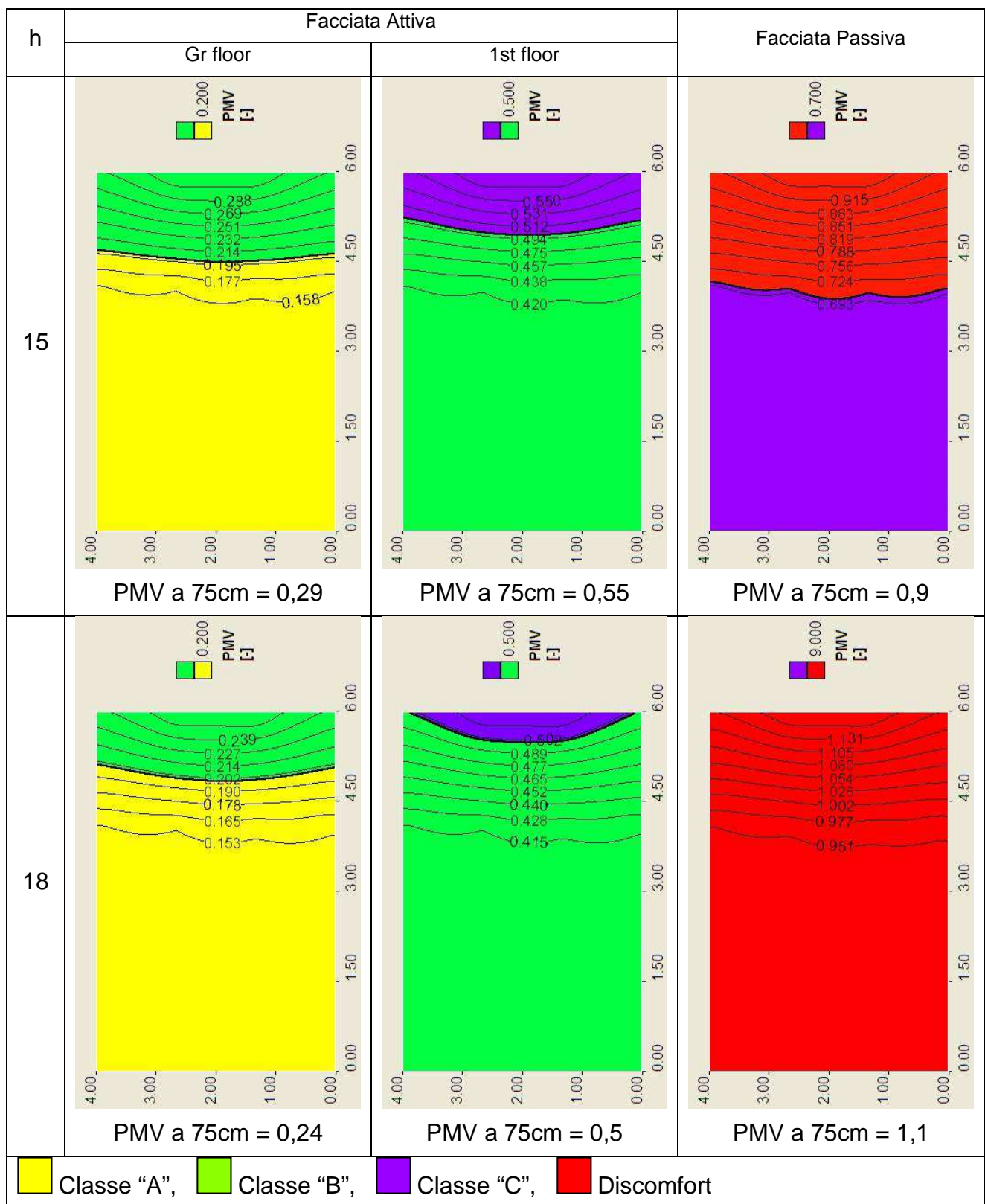


Tabella 14 - PMV: a 0.75m dalla facciata e distribuzione sul piano, alle ore 15:00 e 18:00 della giornata primaverile soleggiata.

3 PARAMETRI PRESTAZIONALI: CARATTERISTICHE ENERGETICHE E LUMINOSE

Attraverso le misure effettuate è stato possibile il calcolo di:

- trasmissione solare
- trasmissione luminosa

Altri parametri prestazionali tradizionali, quali la trasmittanza termica ed il fattore solare, non sono, a rigore, applicabili ad una tecnologia come quella di una facciata attiva, in quanto il comportamento dinamico della stessa, principalmente legato alla presenza dell'intercapedine ventilata e della schermatura in essa presente, fa in modo che tali parametri non assumano un comportamento costante nel corso della stessa giornata e delle stagioni. Vi sono casi in cui tali parametri, in particolar modo la trasmittanza, non hanno di fatto significato fisico quando applicati ad una facciata attiva.

Per quanto riguarda la trasmittanza termica, tuttavia, vi sono alcune situazioni in cui il calcolo è possibile, ad esempio in condizioni invernali, in assenza di radiazione solare, ed inglobando in essa l'effetto del flusso termico legato all'aria che scorre nell'intercapedine.

Il calcolo della trasmittanza termica in caso estivo, invece, risulta più contraddittorio in quanto gli effetti dell'intensa radiazione solare giornaliera, con il conseguente surriscaldamento degli elementi costituenti la facciata, non si esaurisce in breve tempo.

Per quanto riguarda il fattore solare, la presenza del flusso termico legato all'aria che scorre in intercapedine, fa sì che non possa essere calcolato così come viene definito dalle norme e dalla letteratura. E' stato invece introdotto un "fattore solare equivalente", il cui calcolo è spiegato dettagliatamente in seguito, per quantificare la quota di flusso incidente, che viene rimosso dalla facciata.

3.1 TRASMISSIONE SOLARE

Il coefficiente di trasmissione solare è il rapporto tra la radiazione solare (la quota a bassa lunghezza d'onda) direttamente trasmessa nell'ambiente interno e la radiazione solare incidente sulla facciata.

$$\tau_s = \frac{S_{INT}}{S_{OUT}} \quad \text{Equazione 4}$$

3.1.1 CONDIZIONI INVERNALI

In condizioni invernali è stato analizzato il coefficiente di trasmissione solare della facciata in due differenti condizioni meteorologiche:

1. in una giornata soleggiata (trasmissione in presenza di radiazione diretta);
2. in una giornata nuvolosa (trasmissione in presenza di sola radiazione diffusa).

Con radiazione diretta il coefficiente di trasmissione solare varia tra circa 4.7% e 5.5%, con un valor medio di 4.9% (Figura 43) in presenza della schermatura dell'intercapedine abbassata.

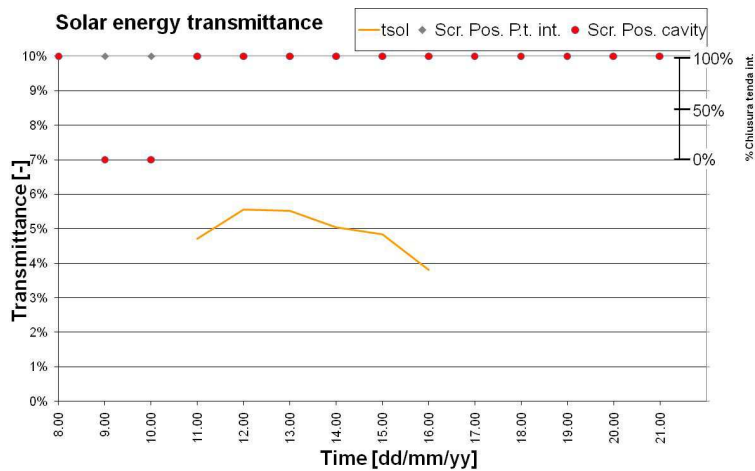


Figura 43 - Trasmissione solare in condizioni invernali. Trasmissione radiazione diretta.

Con la sola radiazione diffusa il coefficiente di trasmissione solare varia tra il 29% e 35%, con un valore medio del 33% (Figura 44). Durante la giornata nuvolosa analizzata le schermature nell'intercapedine della facciata attiva sono aperte durante le ore lavorative.

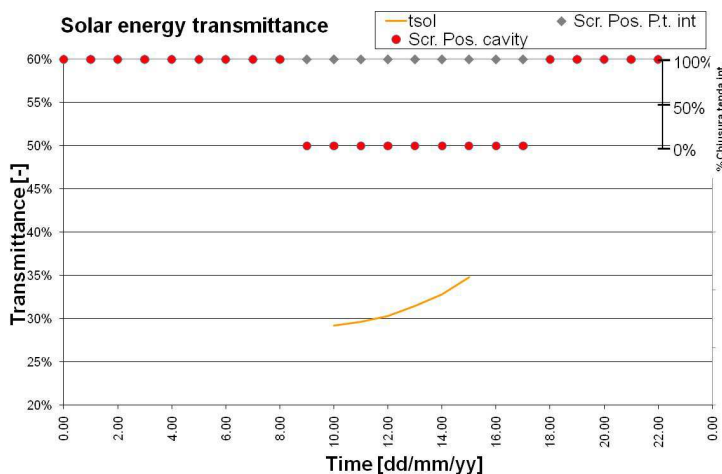


Figura 44 - Trasmissione solare in condizioni invernali. Trasmissione radiazione diffusa.

3.1.2 CONDIZIONI ESTIVE

In condizioni estive, il coefficiente di trasmissione solare è stato misurato:

1. in presenza di radiazione diretta per l'estate del 2010 e del 2011 con la schermatura abbassata nell'intercapedine della facciata attiva .
2. in presenza di radiazione solare con la schermatura alzata nell'intercapedine (estate 2011).

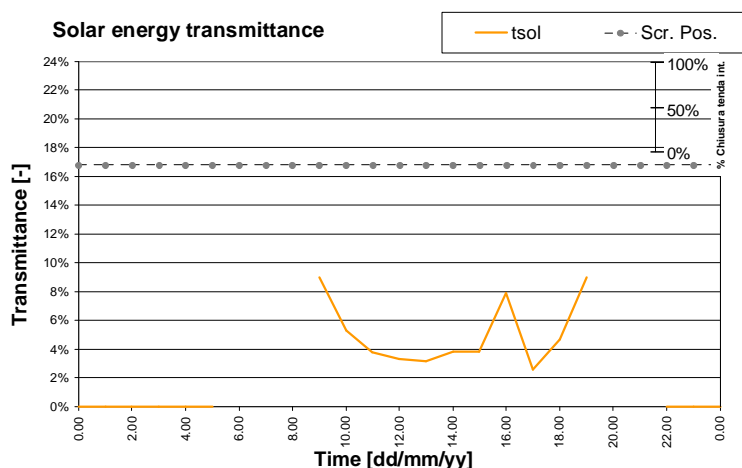


Figura 45 – Trasmissione solare in condizioni estive (2010). Trasmissione solare diretta (schermatura abbassata).

Si osservano valori del coefficiente di trasmissione solare che in presenza di radiazione diretta, variano tra il 3% e il 9%.

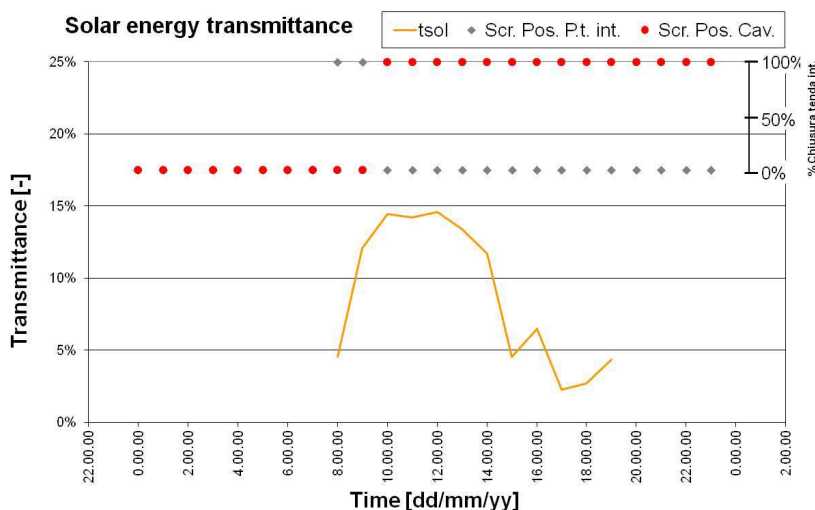


Figura 46 - Trasmissione solare in condizioni estive (2011). Trasmissione radiazione diretta (schermatura abbassata).

In presenza di radiazione solare diretta, il coefficiente di trasmissione solare varia tra il 5% ed il 15%.

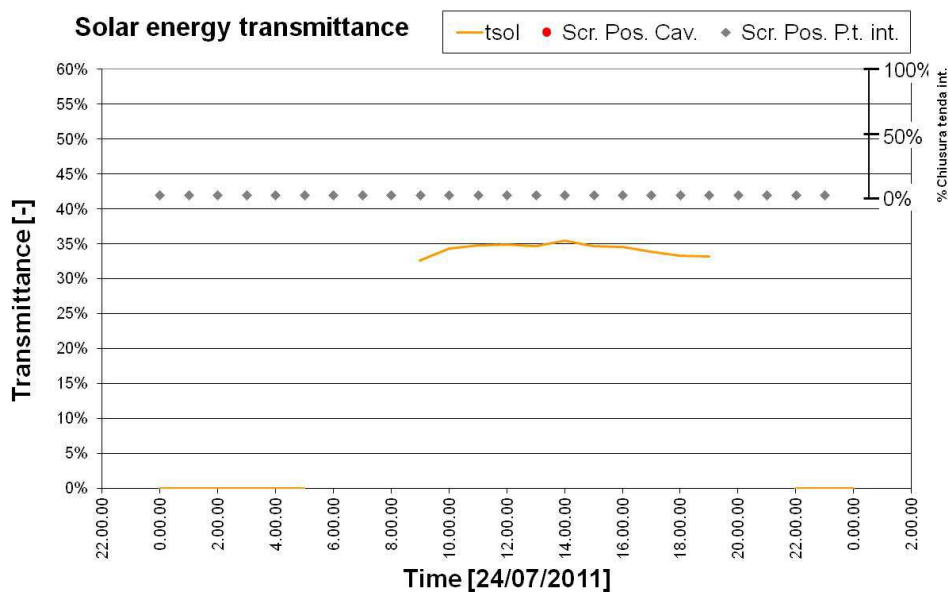


Figura 47 – Trasmissione solare in condizioni estive (2011). Trasmissione radiazione diretta (schermatura alzata).

In presenza di radiazione solare diretta, il coefficiente di trasmissione solare è pari al 35%.

3.1.3 CONDIZIONI DI MEZZA STAGIONE - PRIMAVERA

In condizioni di mezza stagione (Figura 48) si osservano valori del coefficiente di trasmissione solare che in presenza di radiazione diretta, vanno dal 4% al 10%, con un valor medio del 5,7%.

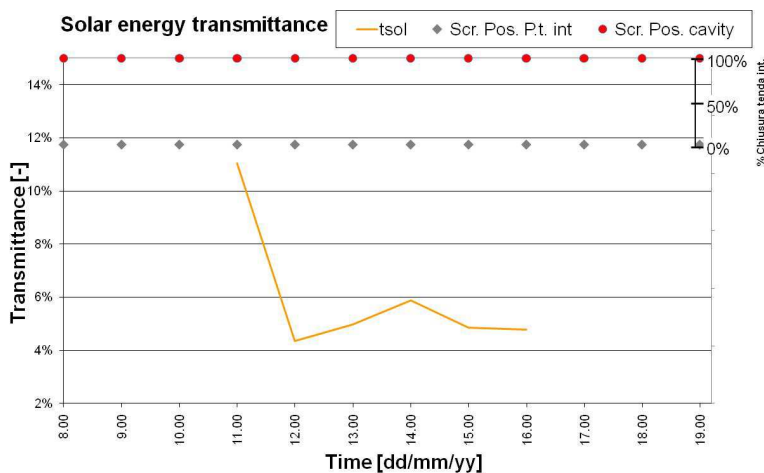


Figura 48 - Trasmissione solare in condizioni di mezza stagione. Trasmissione radiazione diretta.

3.1.4 TRASMISSIONE SOLARE DELLA FACCIATA PASSIVA

Per determinare la radiazione solare direttamente entrante nella facciata passiva, sono stati utilizzati gli andamenti del fattore di trasmissione solare, tipici di un vetrocamera.

Tali andamenti sono stati calcolati tramite il software WIS (cui si fa riferimento nella parte relativa alla modellazione numerica), per 3 giornate tipiche:

- giornata estiva;
- giornata invernale;
- giornata di mezza stagione.

Il software WIS fornisce i valori del coefficiente di trasmissione solare al variare dell'angolo di incidenza della radiazione solare. I valori del coefficiente alle varie ore del giorno sono state ottenute considerando gli angoli di incidenza della radiazione nelle diverse ore del giorno.

Gli angoli di incidenza considerati sono:

Ore	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Inv.	76.5	65.3	53.8	42.2	31.6	22.7	18.7	22.7	31.7	dif	dif	dif	dif
Est.	dif.	83.1	74.4	67.6	63.1	61.5	63.1	67.6	74.4	83.1	dif	dif	dif
Mez. Stag.	83.8	72.4	61	50.1	40.4	33.2	30.4	33.2	40.4	50.1	dif	dif	dif

Tabella 15 – Angoli di incidenza della radiazione solare sulla facciata passiva.

Le curve dei coefficienti ottenuti sono rappresentate in Figura 49

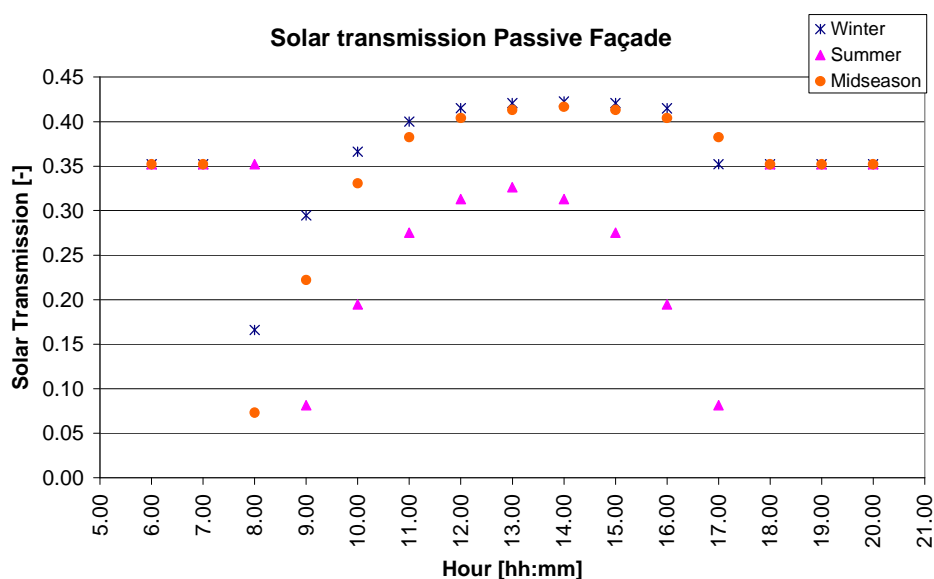


Figura 49 - Trasmissione solare della facciata passiva senza tenda esterna.

Il medesimo calcolo (con il software WIS) è stato svolto per la facciata passiva durante il periodo estivo in presenza di tenda esterna.

I valori calcolati sono rappresentati in Figura 50.

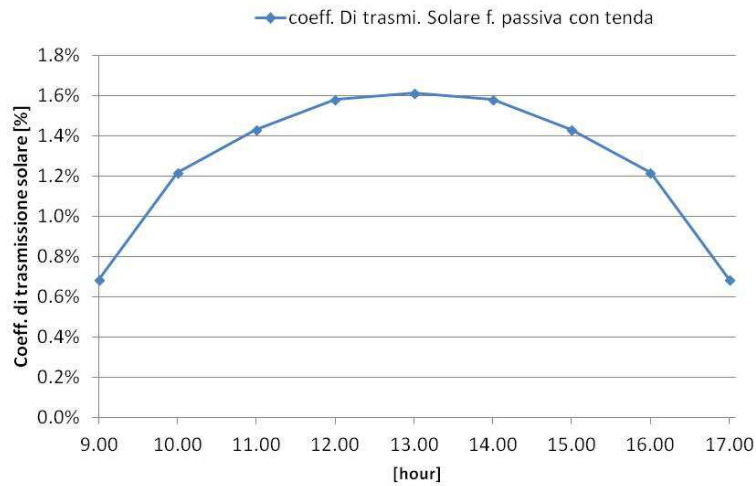


Figura 50 – Coefficiente di trasmissione solare della facciata passiva, condizioni estive, con tenda esterna

3.2 TRASMITTANZA TERMICA

E' possibile calcolare la trasmittanza termica correlando, i flussi termici in funzione della differenza di temperatura tra aria dell'ambiente esterno e aria dell'ambiente interno, tale calcolo deve essere fatto in assenza di radiazione solare.

La trasmittanza è il coefficiente angolare della retta che interpola la distribuzione dei punti riportati nei grafici.

3.2.1 TRASMITTANZA TERMICA STAGIONE ESTIVA 2010

Nel corso dell'inverno 2010 (da giugno a settembre), la trasmittanza misurata per la facciata attiva è stata di 0,41 W/m²K e di 1,10 W/m²K per la facciata passiva.

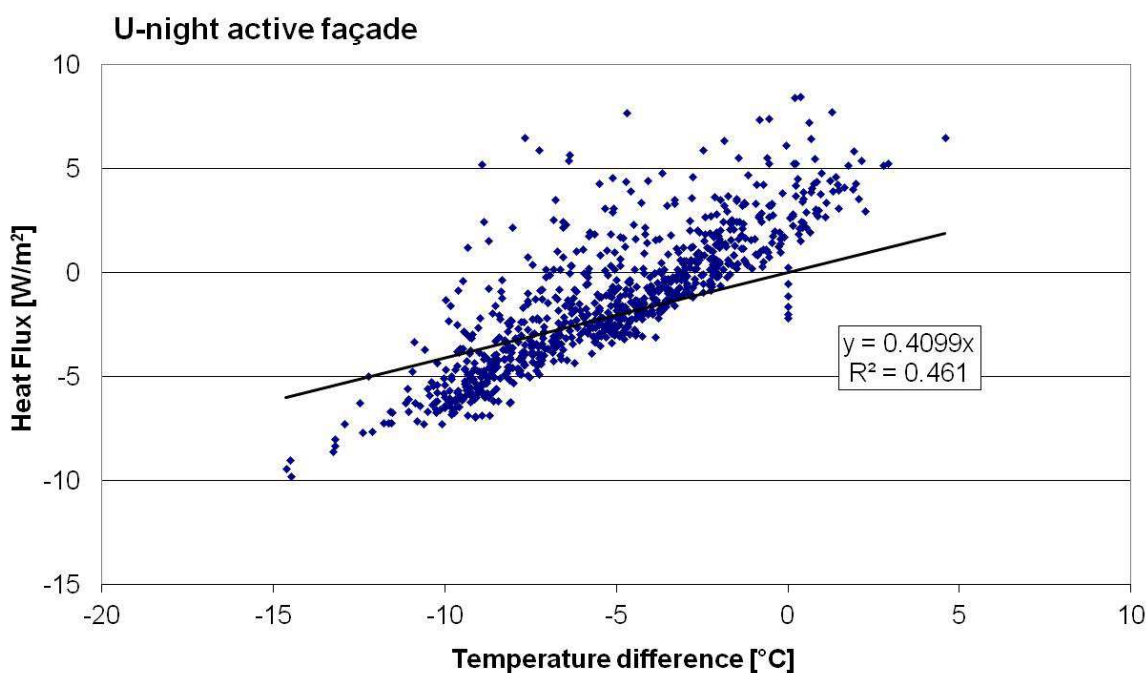


Figura 51 – Trasmittanza termica della facciata attiva, estate

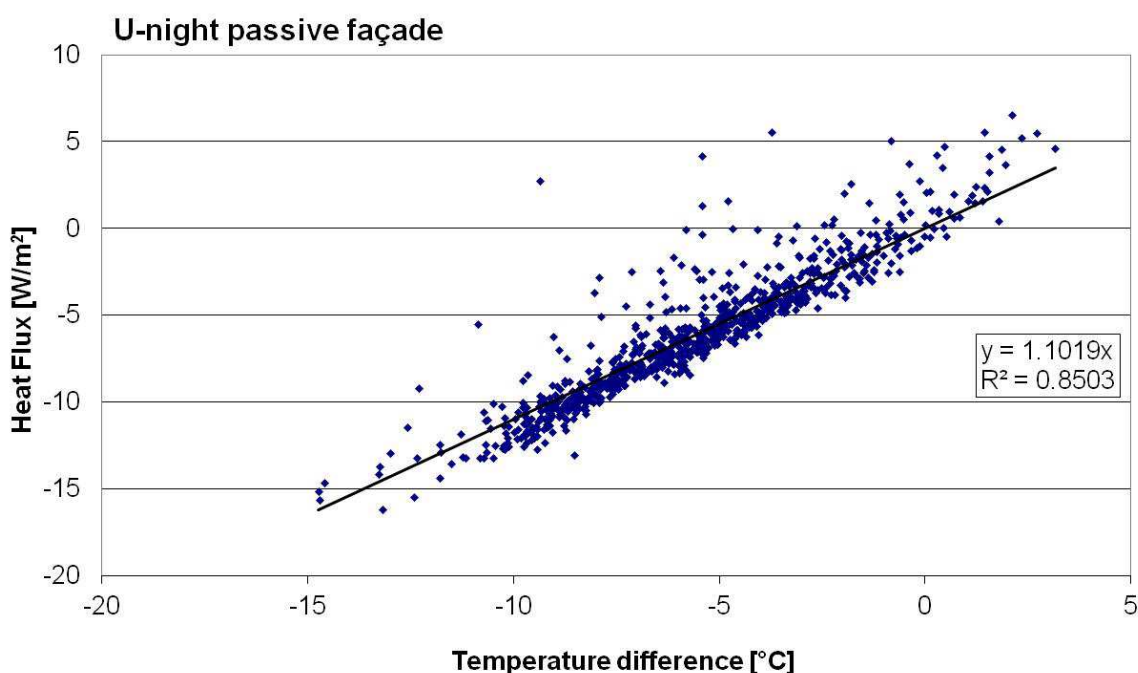


Figura 52 – Trasmittanza termica della facciata passiva, estate.

3.2.2 TRASMITTANZA TERMICA STAGIONE INVERNALE 2010 - 2011

Nel corso dell'inverno 2010-2011 (da dicembre a marzo), la trasmittanza misurata per la facciata attiva è stata di $0.65 \text{ W/m}^2\text{K}$ e di $1,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ per la facciata passiva.

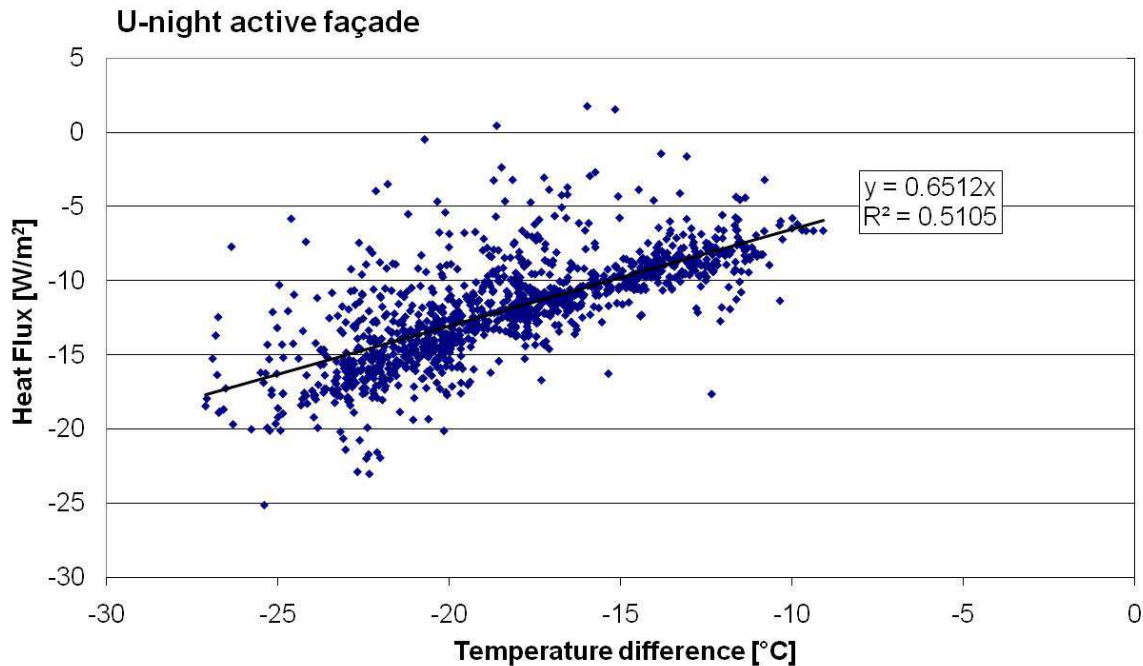


Figura 53 – Trasmittanza termica della facciata attiva, inverno.

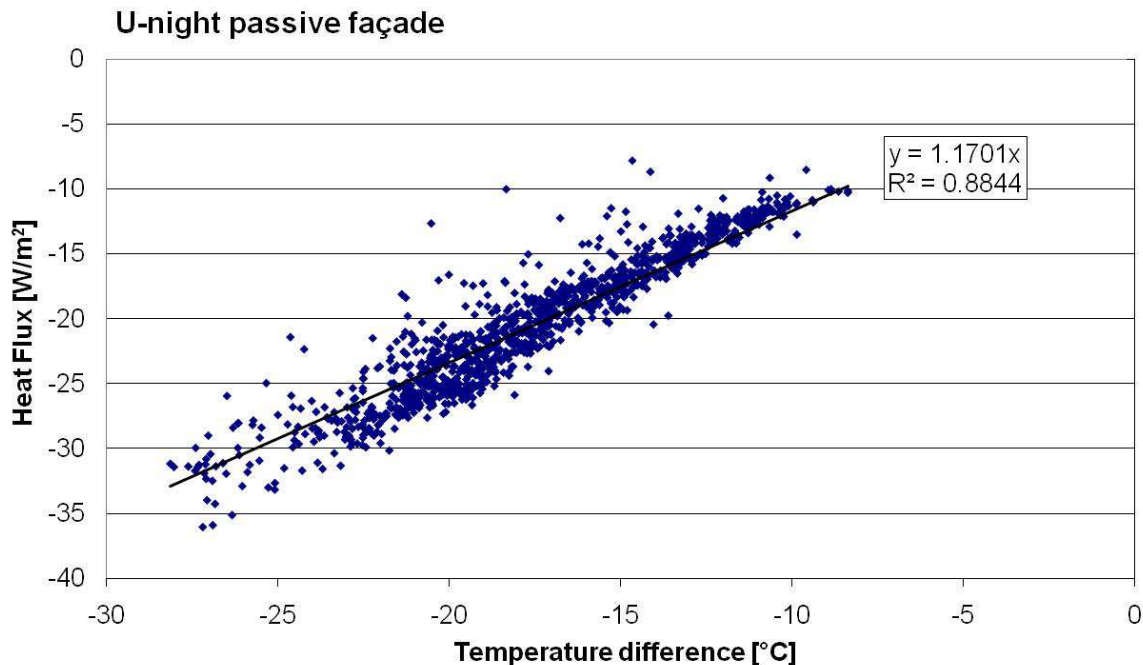


Figura 54 –Trasmittanza termica della facciata passiva, inverno.

3.2.3 TRASMITTANZA TERMICA STAGIONE PRIMAVERILE 2011

Nel corso della primavera 2011 (da marzo a giugno), la trasmittanza misurata per la facciata attiva è stata di $0,51 \text{ W/m}^2\text{K}$ e di $1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ per la facciata passiva.

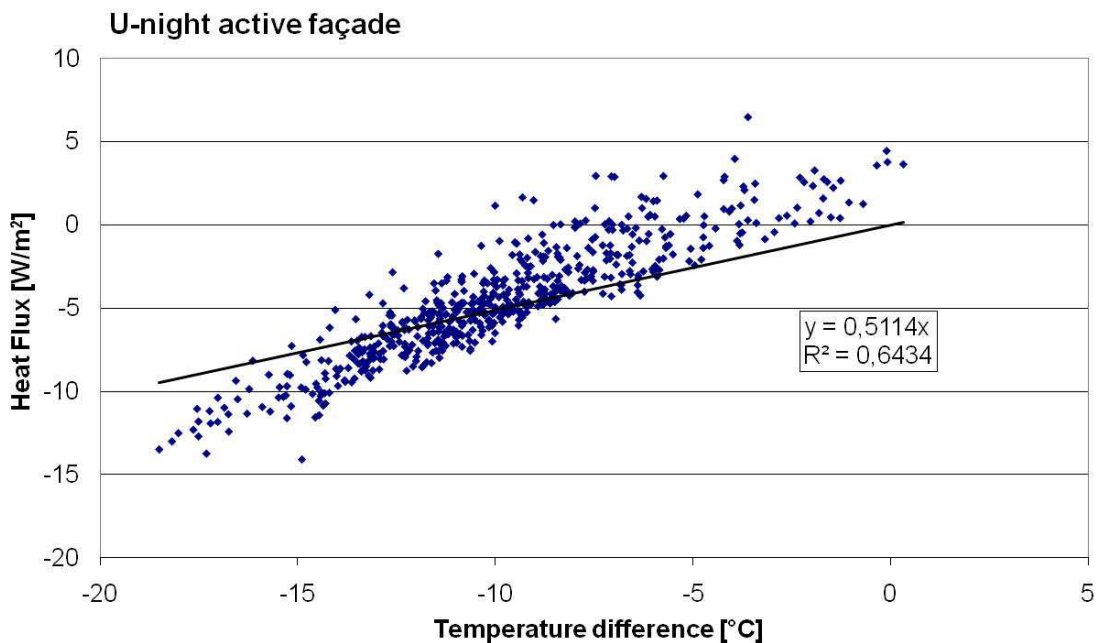


Figura 55 - Trasmittanza termica della facciata attiva, primavera.

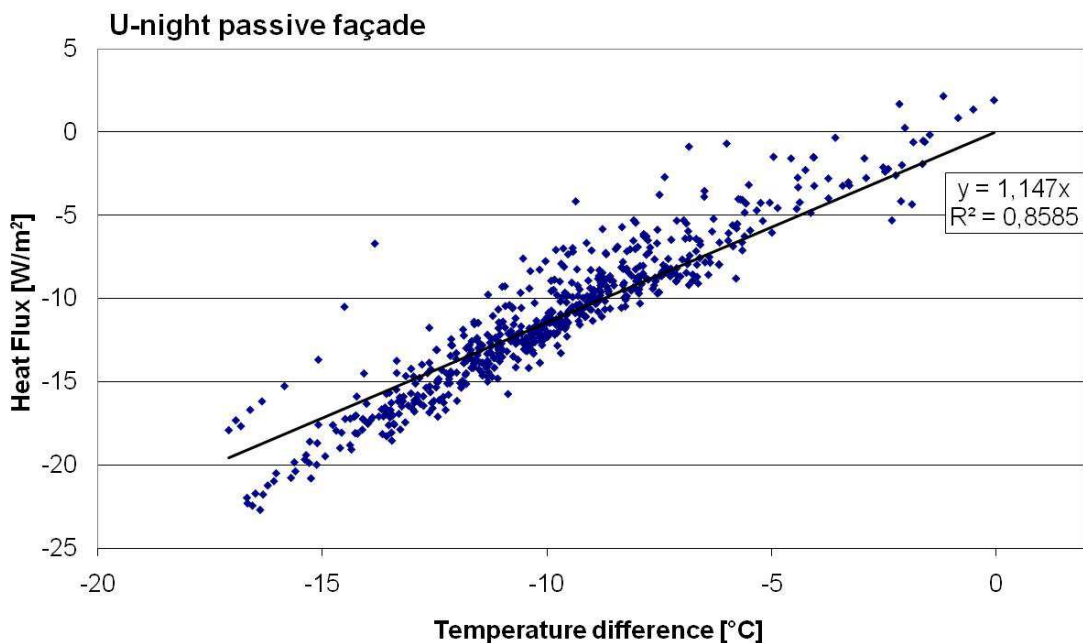


Figura 56 – Trasmittanza termica della facciata passiva, primavera.

3.2.4 TRASMITTANZA TERMICA STAGIONE ESTIVA 2011

Nel corso dell'estate 2011 (da giugno a settembre), la trasmittanza misurata per la facciata attiva è stata di $0.38 \text{ W/m}^2\text{K}$ e di $1.09 \text{ W/m}^2\text{K}$ per la facciata passiva.

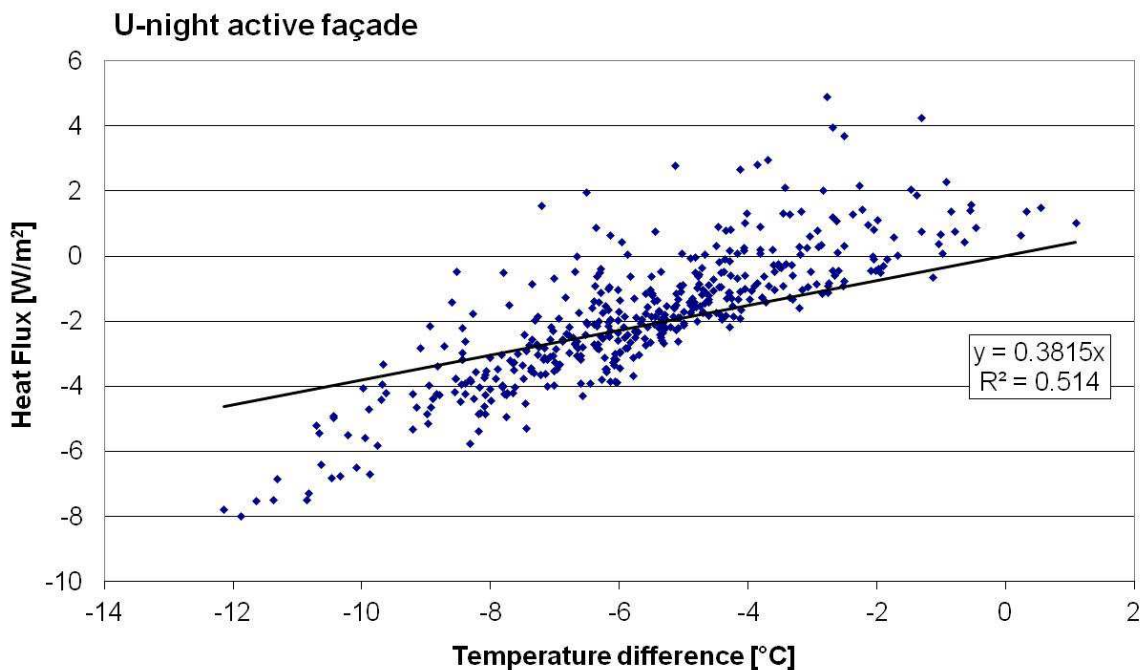


Figura 57 – Trasmittanza termica della facciata attiva, estate.

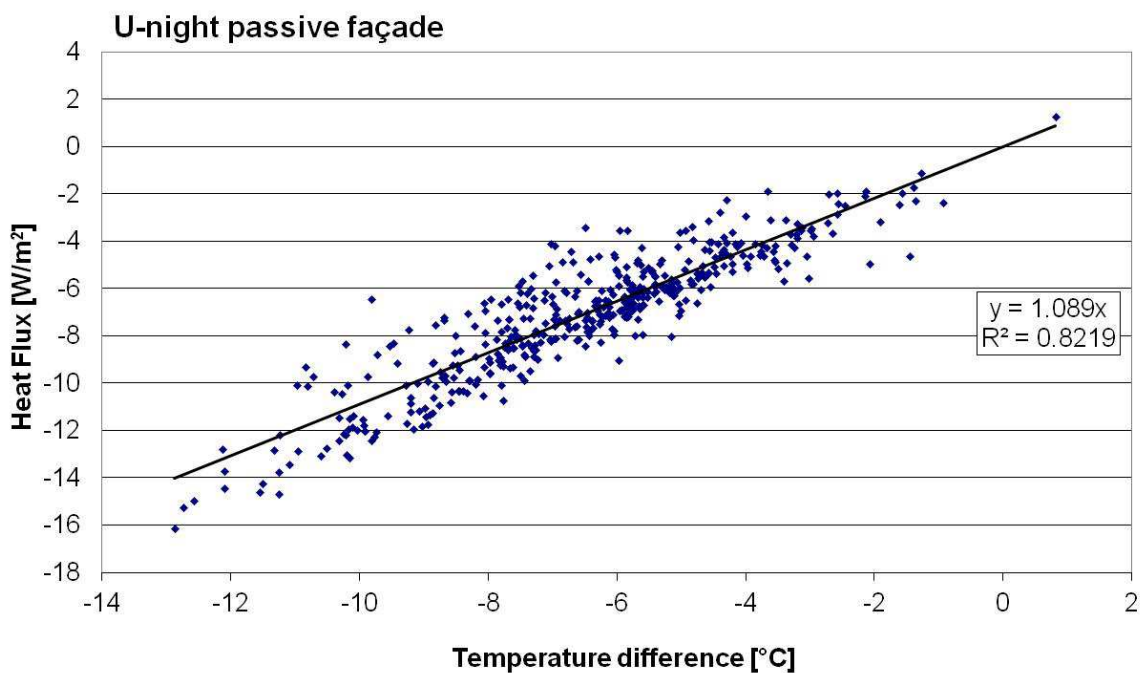


Figura 58 - Trasmittanza termica della facciata passiva, estate.

Tabella 16 – Valori di trasmittanza termica calcolati nel periodo di monitoraggio, facciata attiva e passiva.

	U attiva	R ²	U passiva	R ²
	W/m ² K		W/m ² K	
ESTATE 2010	0,41	0,46	1,10	0,85
INVERNO 2010-11	0,65	0,51	1,17	0,88
PRIMAVERA 2010	0,51	0,64	1,14	0,86
ESTATE 2011	0,38	0,51	1,09	0,82

3.3 FATTORE SOLARE EQUIVALENTE

La presenza dell'intercapedine ventilata e della schermatura collocata nella facciata AvantGrip, conferisce alla facciata attiva la capacità di rimuovere parte della radiazione solare assorbita grazie all'aria che scorre nell'intercapedine.

Per questo motivo, per valutare correttamente ed in modo analitico i flussi che interessano la facciata attiva, sarebbe necessario conoscere, ad ogni singola misura, anche il valore della portata d'aria nell'intercapedine, per quantificare il carico termico asportato dalla portata stessa.

In Figura 59 sono illustrati i flussi termici presenti in una facciata attiva. Tali flussi sono rappresentativi dei flussi presenti nella facciata AvantGrip. Nel caso della facciata AvantGrip, il secondo layer vetrato è costituito dal vetrocamera.

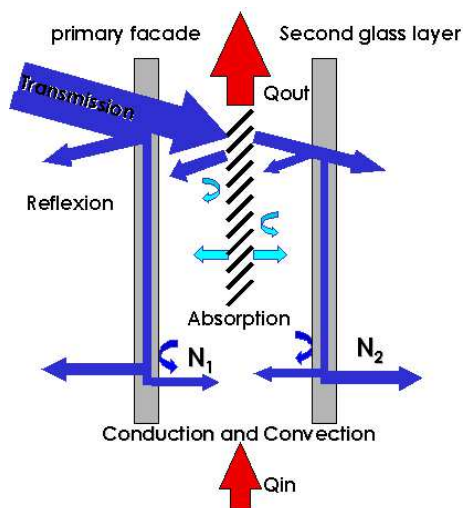


Figura 59 – Schema dei flussi termici in una facciata attiva (rappresentativi dei flussi termici presenti nella facciata AvantGrip).

A causa della complessità del sistema di ventilazione e regolazione della facciata AvantGrip, non è stato possibile avere il valore, nel tempo, della portata di ventilazione, né dunque determinare il flusso entalpico ad essa associato.

Per determinare la capacità della facciata di asportare i carichi solari incidenti, è stato dunque utilizzato un parametro ispirato al classico fattore solare (TSET).

Il fattore solare rappresenta la quota di radiazione solare, incidente sulla facciata, che viene trasmessa all'ambiente interno, sotto forma di radiazione a bassa lunghezza d'onda (radiazione solare trasmessa direttamente) e di radiazione ad elevata lunghezza d'onda. Quest'ultima è la quota di radiazione solare assorbita dalla facciata, che viene riemessa nell'ambiente interno.

In Figura 60 sono schematizzati i flussi in cui si scompone la radiazione solare che incide su una lastra vetrata.

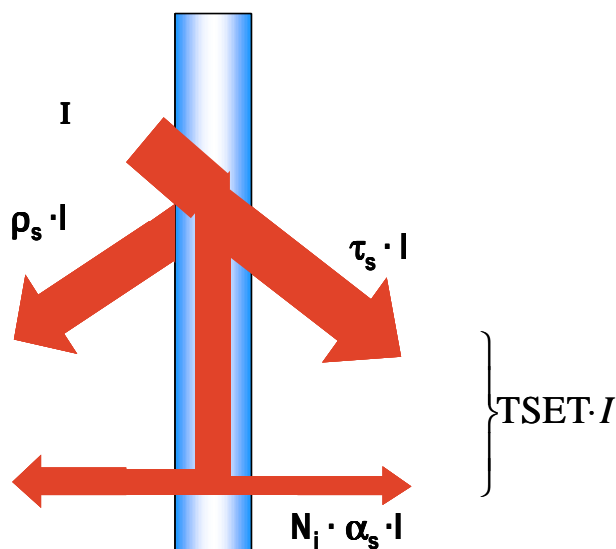


Figura 60 – Schema dei flussi termici che sono rappresentati dal fattore solare.

Il “fattore solare equivalente”, introdotto per valutare la facciata attiva, prende in considerazione il flusso “totale” misurato. Tale flusso è la somma della radiazione solare direttamente trasmessa nell’ambiente interno (S_INT) e del flusso “termico” (F_VI) misurato all’interfaccia tra la facciata e l’ambiente interno.

$$\left(\frac{\dot{Q}}{A} \right)_{tot} = S_INT + F_VI \quad \text{Equazione 5}$$

Il flusso “termico” include in sé il flusso dovuto alla differenza di temperatura tra ambiente interno ed ambiente esterno, e quella quota di radiazione solare che, assorbita dalla facciata, viene riemessa nell’ambiente interno. Non fornisce informazioni sulla quota asportata dall’aria nell’intercapedine, ma rappresenta quanto entra nell’ambiente interno attraverso la facciata per convezione ed irraggiamento.

Avendo determinato la trasmittanza della facciata (in condizioni notturne), è possibile calcolare quale sarebbe il flusso trasmesso se, a parità di differenza di temperatura tra interno ed esterno, non fosse presente la radiazione solare.

Tale flusso è pari a:

$$\left(\frac{\dot{Q}}{A} \right)_{\Delta T} = U_{nott} \cdot \Delta T \quad \text{Equazione 6}$$

Dove U_{nott} è la trasmittanza calcolata in condizioni notturne, e ΔT la differenza di temperatura tra ambiente esterno e ambiente interno.

Nel corso della giornata lavorativa, l'energia che attraverserebbe la facciata, se non fosse presente la radiazione solare, è:

$$E_{\Delta T} = \int_{8:00}^{20:00} \left(\frac{\dot{Q}}{A} \right)_{\Delta T} d\tau \quad \text{Equazione 7}$$

L'energia totale che, nel corso della giornata lavorativa, entra nell'ambiente interno attraverso la facciata, è l'integrale del flusso "totale":

$$E_{tot} = \int_{8:00}^{20:00} \left(\frac{\dot{Q}}{A} \right)_{tot} d\tau$$

Sottraendo all'energia totale l'energia legata alla sola differenza di temperatura, si ottiene l'energia entrante nell'ambiente interno legata alla presenza della radiazione solare.

L'energia solare che nel corso della giornata incide sulla facciata è:

$$E_{inc} = \int_{8:00}^{20:00} S_{OUT} d\tau \quad \text{Equazione 8}$$

dove S_{OUT} è il flusso misurato dal solarimetro esterno.

E così possibile definire il fattore solare "equivalente" di una singola giornata come:

$$TSET^* = \frac{E_{tot} - E_{\Delta T}}{E_{inc}} \quad \text{Equazione 9}$$

Per il calcolo del fattore solare equivalente è stato utilizzato il valore di trasmittanza calcolato con i dati dell'inverno 2010-2011: 0.65 W/m²K.

In Figura 61 e in Figura 62 sono riportati, rispettivamente, i valori dei fattori solari equivalenti giornalieri per l'estate 2010 e per l'estate 2011.

Nel corso dell'estate 2010, il fattore solare giornaliero è variato tra 5.9% e 9.3%, con un valor medio di 7.6% ed una deviazione standard di 0.77%.

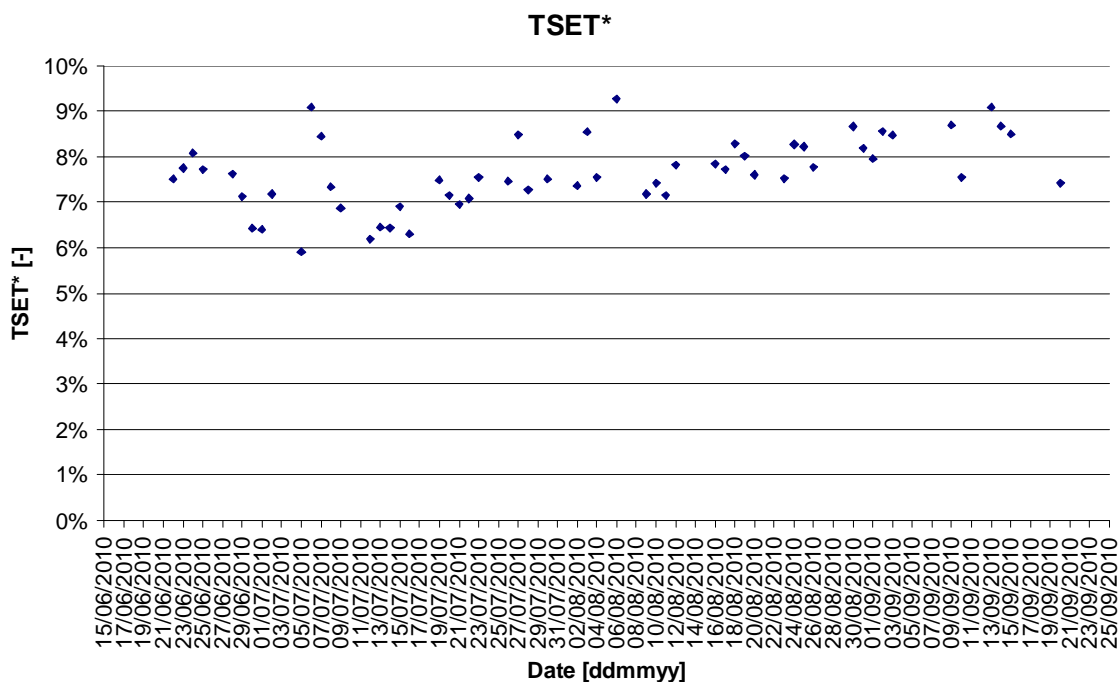


Figura 61 - Fattore solare equivalente, estate 2010.

Nel corso dell'estate 2011, il fattore solare giornaliero è variato tra 2.2% e 13.3%, con un valor medio di 5,5% ed una deviazione standard di 1.91%.

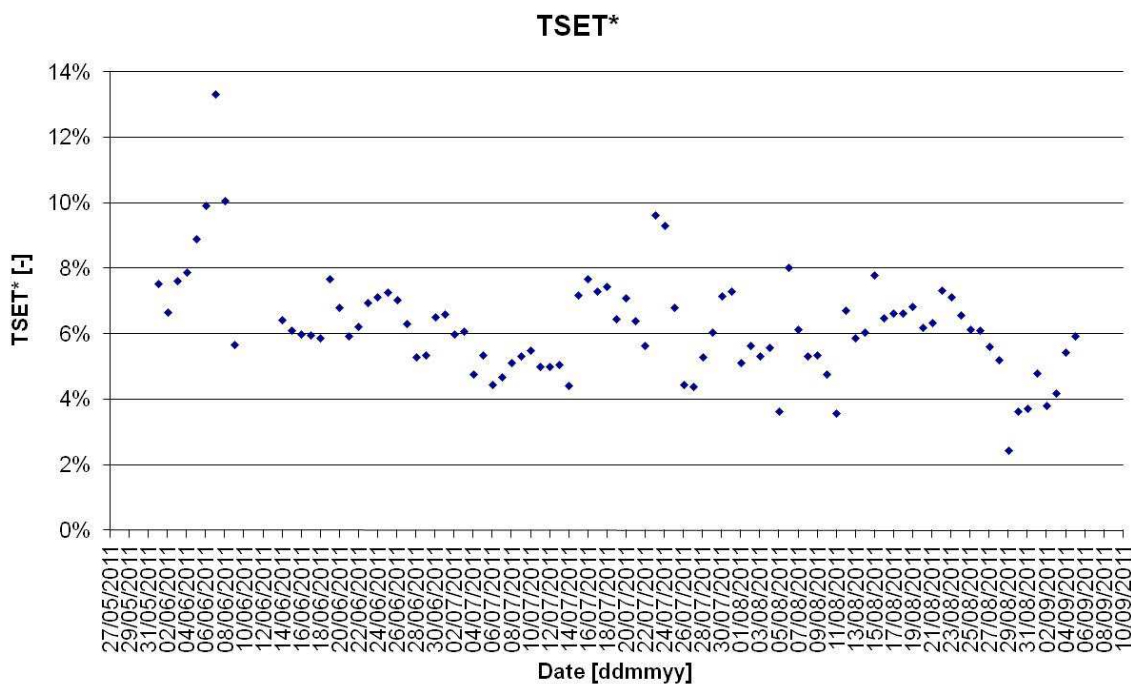


Figura 62 – Fattore solare equivalente, estate 2011.

3.4 TRASMISSIONE LUMINOSA

Il coefficiente di trasmissione luminosa della facciata è stato analizzato calcolando il rapporto tra l'illuminamento misurato a valle della facciata, e l'illuminamento misurato all'esterno, ed incidente sulla facciata:

$$\tau_{lum} = \frac{L_{INT}}{L_{OUT}}$$

3.4.1 CONDIZIONI INVERNALI

In condizioni invernali è stato analizzato il coefficiente di trasmissione luminosa della facciata in due differenti condizioni meteorologiche:

1. in una giornata soleggiata (si tratta quindi della trasmissione luminosa in presenza di radiazione diretta);
2. in una giornata nuvolosa (si tratta quindi della trasmissione luminosa in presenza di sola radiazione diffusa).

Con radiazione diretta il coefficiente di trasmissione luminosa varia tra 7 % ed il 10.0%, con un valor medio di 8 % (Figura 63)

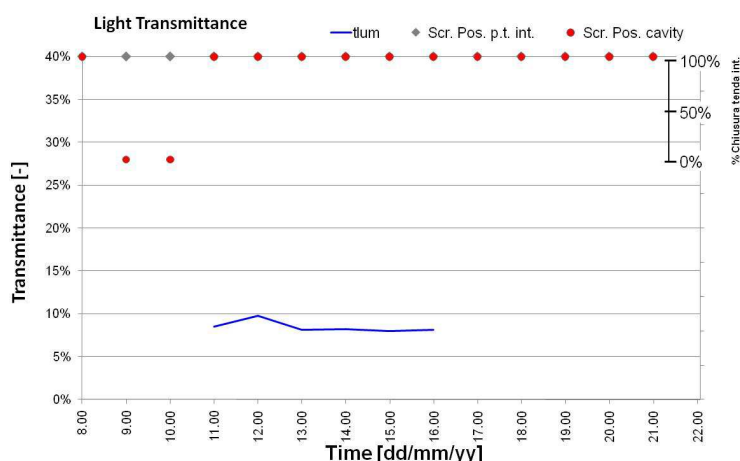


Figura 63 - Trasmissione luminosa in condizioni invernali. Trasmissione luce diretta (giornata soleggiata).

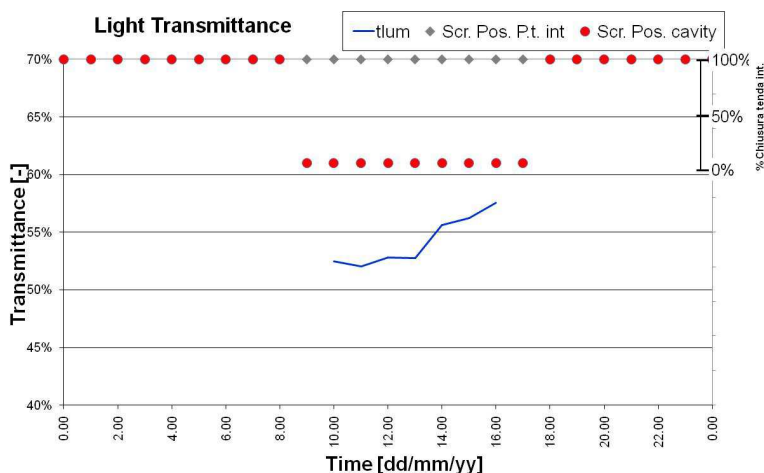


Figura 64 - Trasmissione luminosa in condizioni invernali. Trasmissione luce diffusa (giornata nuvolosa).

Con la sola radiazione diffusa il coefficiente di trasmissione luminosa varia tra il 53% ed il 58%, con un valore medio di circa 32% (Figura 64).

3.4.2 CONDIZIONI ESTIVE

In condizioni estive è stato analizzato il coefficiente di trasmissione luminosa della facciata in due differenti condizioni:

- 1 in una giornata soleggiata (si tratta quindi della trasmissione luminosa in presenza di radiazione diretta) con schermature intercapedine abbassate (2010);
- 2 in una giornata soleggiata (si tratta quindi della trasmissione luminosa in presenza di radiazione diretta) con schermature intercapedine abbassate (2011);
- 3 in una giornata soleggiata (si tratta quindi della trasmissione luminosa in presenza di radiazione diretta) con schermature intercapedine alzate (2011);

Durante la giornata estiva (del 2010) in presenza di radiazione diretta il coefficiente di trasmissione luminosa senza tenda interna varia tra circa il 5% ed il 14%.

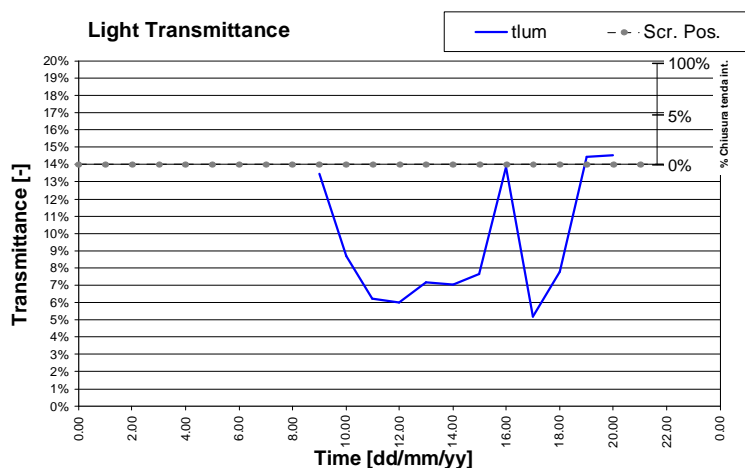


Figura 65 – Trasmissione luminosa luce diretta senza tenda interna, condizione estiva (2010).

Durante la giornata estiva (del 2011) le tende dell'intercapedine sono abbassate e quelle interne alzate. Il coefficiente di trasmissione luminosa varia tra circa il 5% ed il 21%.

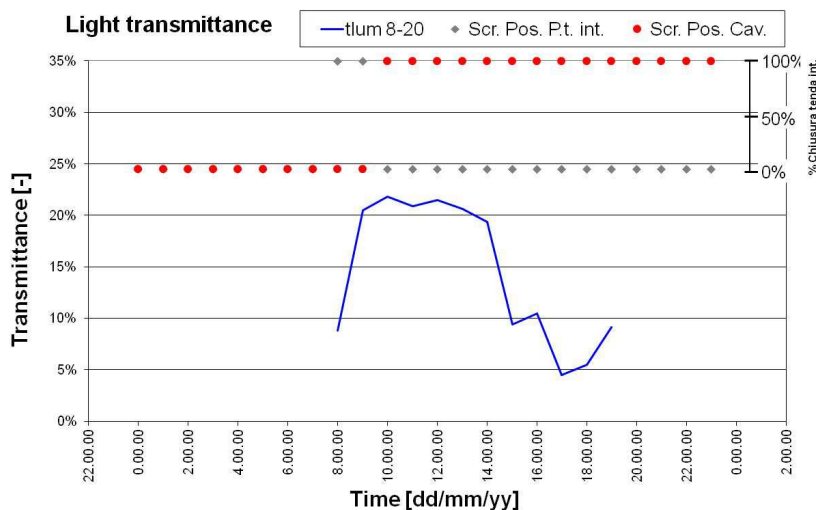


Figura 66 – Trasmissione luminosa luce diretta, condizioni estive (2011).

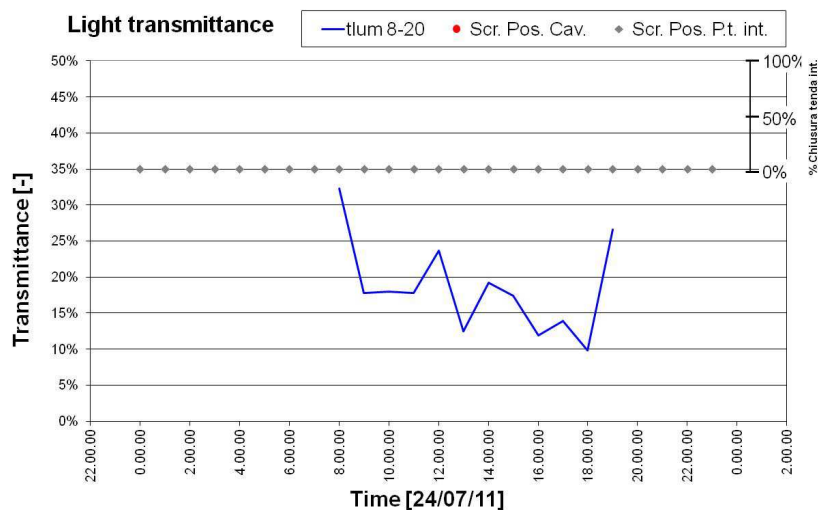


Figura 67 – Trasmissione luminosa luce diretta con tenda interna aperta e assenza di schermatura, condizione estiva (2011).

Durante la giornata estiva con le tende aperte nell'intercapedine, il coefficiente di trasmissione luminosa varia tra circa il 10% ed il 30%.

3.4.3 CONDIZIONI DI MEZZA STAGIONE

In condizioni di mezza stagione non è stato analizzato il coefficiente di trasmissione luminosa a causa della rottura del luxmetro esterno.

4 SIMULAZIONE CON SOFTWARE WIS

4.1 PACCHETTO VETRATO ANALIZZATO

4.1.1 FACCIATA ATTIVA

Il modello della facciata SOMEK attiva simulato con WIS è realizzato da:

Tabella 17 – Stratigrafia della facciata attiva per WIS.

1	Optiwhite	12 mm
2	Intercapedine ventilata	112 mm
3	Tenda Slatter	-
4	Intercapedine ventilata	602 mm
5	Optitherm SN8	7.95 mm
6	Intercapedine 90% argon	15 mm
7	Optiwhite	10 mm

WIS version 3.01 SP2 - [Transparent_system]

File Edit View Records DataBase Window Help

Transparent system

name: Somek con tenda
tilt angle: 0 id: 84

environment:
act 1_30-06-11 h 8

Calculate Details Ventilation

Results

U-value : 0.31 W/(m2K)
solar factor (g) : 0.08
solar direct transmittance : 0.05
light transmittance : 0.07
UV transmittance : 0.00
f-value : 0.96
col.rend.Index (Ra) : 94

Layers

Type	Gap	width mm	Pane	width mm	code coating	flipp ed.	Shading
Pane			Optiwhite 12.pgl	12	UU		
Gap	Air	112					
Shading							_Somek
Gap	Air	602					
Pane			Optitherm SN 8	7.95	CU		
Gap	Air-Argon 10	15					
Pane			Optiwhite 10.pgl	10	UU		

Return

Figura 68 – Stratigrafia della facciata attiva riportata dal software WIS.

4.1.1.1 Ventilazione intercapedine facciata attiva - estate

Per il calcolo della ventilazione nell'intercapedine (ventilation) il software considera l'intercapedine divisa in due parti (layer 2 e 4 Tabella 17) e fornisce la possibilità di scegliere se l'aria immessa nell'intercapedine è alla temperatura dell'aria interna o di quella esterna. Da alcune prove di simulazione è risultato che per il periodo estivo, i valori di portata più corretti da assumere sono definiti dalla seguente equazione:

$$T_{air_in_cavity} = \frac{T_{air_out} * m_1 + T_{air_in} * m_2}{m}$$

Equazione 10

$$m = m_1 + m_2 = 100 \text{ dm}^3 / \text{s} * m$$

I valori di portata ricavati dall'equazione cambiano in funzione della temperatura dell'aria nell'intercapedine alle diverse ore della giornata. Tale scelta è legata al fatto che l'aria estratta dagli uffici, prima di entrare in intercapedine, passa in uno scambiatore di calore per pre-raffrescare (in estate) l'aria di rinnovo. A valle di tale scambio termico, la temperatura dell'aria ha valori che mediamente sono più vicini a quelli dell'aria esterna che all'aria interna. Utilizzando l'equazione 1 si riesce a mediare tramite le due diverse portate i valori di temperature ottenendo valori di trasmittanza termica del pacchetto più vicini a quelli calcolati dai dati sperimentali. Le intercapedini ventilate sono larghe 1 m, alte 7 m.

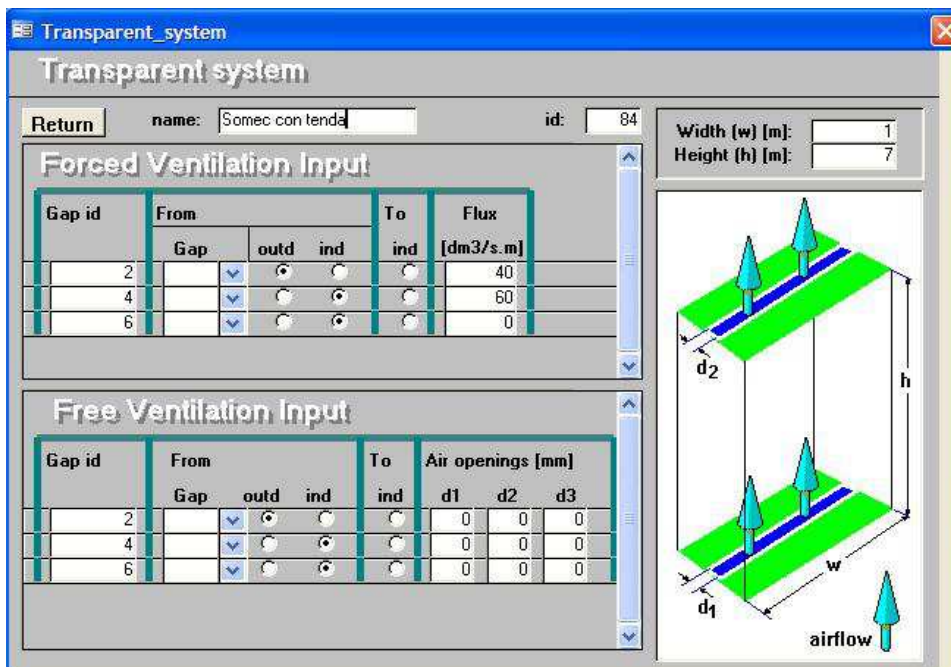


Figura 69 – Finestra “ventilation” dal software WIS.

4.1.1.2 Ventilazione intercapedine facciata attiva - inverno

Dalle simulazioni è risultato che per il periodo invernale la formula applicata per l'estate fornisce valori di trasmittanza termica molto più bassi rispetto a quelli monitorati. Tale formula non risulta dunque applicabile. Da alcune prove di simulazione è risultato che i valori più corretti di portata per il periodo invernale sono:

$$m_1 = 90 \text{ dm}^3/\text{s} * m > T_{outd}$$

$$m_2 = 10 \text{ dm}^3/\text{s} * m > T_{ind}$$

Tale scelta è legata al fatto che l'aria estratta dagli uffici, prima di entrare in intercapedine, passa in uno scambiatore di calore per pre-riscaldare (in inverno) l'aria di rinnovo. A valle di tale scambio termico, la temperatura dell'aria ha valori che mediamente sono più vicini a quelli dell'aria esterna che all'aria interna. Utilizzando i valori riportati si ottengono valori di trasmittanza termica del pacchetto più vicini a quelli calcolati dai dati sperimentali. Le intercapedini ventilate sono larghe 1 m, alte 7 m.

4.1.2 FACCIAATA PASSIVA

Il modello della facciata SOMEK passiva simulato con WIS è realizzato da:

Tabella 18 – Stratigrafia della facciata passiva per WIS.

1	Tenda Helioscreen, Serge, 2165	-
2	Satifir 6	5,85 mm
3	Intercapedine aria	16 mm
4	Clear 04,	3,85 mm

Sia per la facciata attiva che per la passiva si sono utilizzati i valori di coefficienti di scambio convettivo riportati nella tabella:

Tabella 19 – Coefficienti convettivi esterno – interno, per estate ed inverno.

	ESTATE	INVERNO
	W/m ² K	W/m ² K
Coefficiente convettivo esterno	10	15
Coefficiente convettivo interno	3	3

4.2 CARATTERISTICHE E LIMITI DI WIS

I principali limiti di WIS sono rappresentati dal fatto che:

- è possibile avere solo un modello monodimensionale;
- fornisce solo una temperatura (per ciascuno strato verticale) per tutta l'altezza della facciata;
- il modello è stazionario: non tiene conto della dinamicità delle sollecitazioni e della risposta della facciata;
- è impossibile specificare come temperatura dell'aria in ingresso dell'intercapedine, una temperatura diversa da quella dall'aria interna o dell'aria esterna: è impossibile tener conto dell'interazione della facciata con il sistema impiantistico (quando questa interazione è a monte della facciata);
- non fornisce direttamente flussi termici, ma solo temperature e coefficienti di scambio termico.

L'aspetto positivo delle simulazioni effettuate con il software WIS sono la possibilità di avere i valori del coefficiente di trasmissione solare e luminosa al variare dell'angolo di incidenza della radiazione solare.

4.3 SIMULAZIONI

Per definire la variazione tra i valori calcolati con il software WIS e quelli monitorati si è utilizzato l'indice PRMSE in percentuale e RMSE.

$$PRMSE = \sqrt{\frac{1}{M} * \sum_{i=1}^M \left(\frac{s_i - e_i}{e_i} \right)^2} \quad [\%] \quad \text{Equazione 11}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} * \sum_{i=1}^M (s_i - e_i)^2} \quad \text{Equazione 12}$$

Dove M è il numero totale delle misure, e_i ed s_i rappresentano la misura sperimentale e simulata.

4.3.1 CONDIZIONI ESTIVE

Sono state prese in considerazione due giornate estive:

- giornata soleggiata con le schermature abbassate per la facciata attiva e passiva (30/06/2011)

Sono state simulate le condizioni corrispondenti alle ore 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00 e 20:00 di entrambe le giornate.

4.3.2 CONDIZIONI ESTIVE, GIORNATA SOLEGGIATA 30/06/2011 PRESENZA DI SCHERMATURA

4.3.2.1 Analisi delle temperature superficiali interne ed esterne

FACCIATA ATTIVA PIANO TERRA

I due uffici dietro alla facciata attiva si sono considerati separatamente date le diverse temperature dell'aria interna.

Rispetto ai dati misurati, WIS tende a sovrastimare le temperature durante l'intera giornata.

Si è calcolato un valore di PRMSE del 2% e di RMSE di 0,45 °C. Le temperature calcolate con il software sono dunque confrontabili con quelle monitorate.

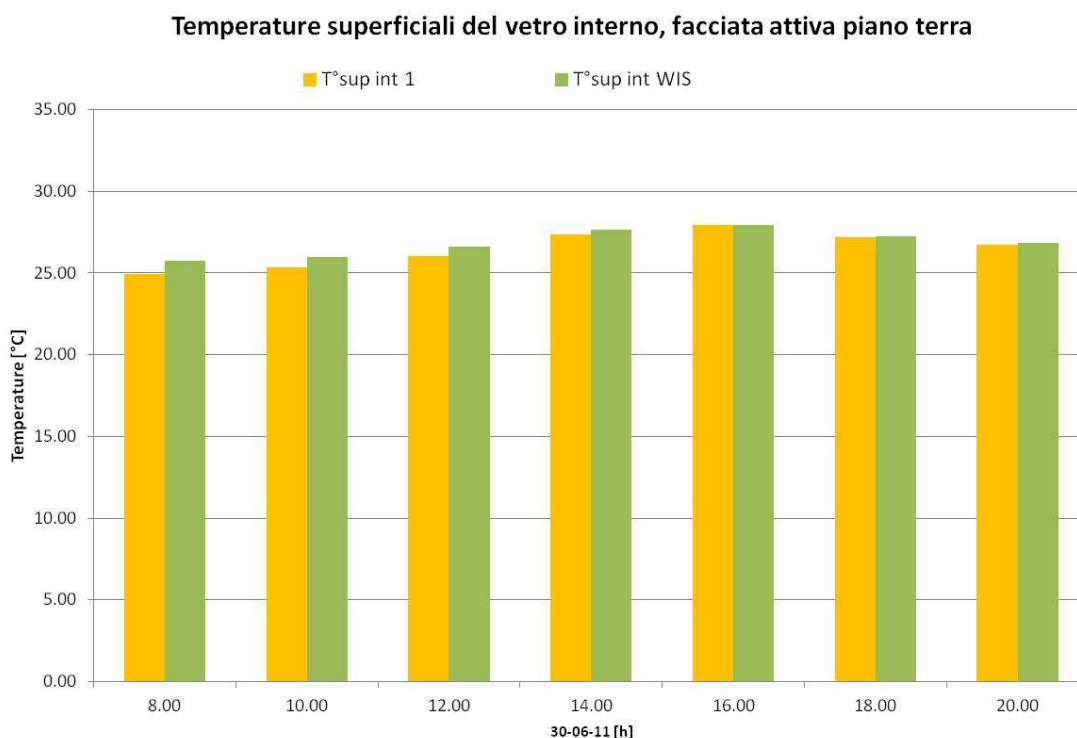


Figura 70 - Confronto tra le temperature superficiali del vetro interno monitorate e calcolate con WIS.

Per le temperature superficiali esterne si è calcolato un valore di PRMSE del 7% e di RMSE di 2°C.

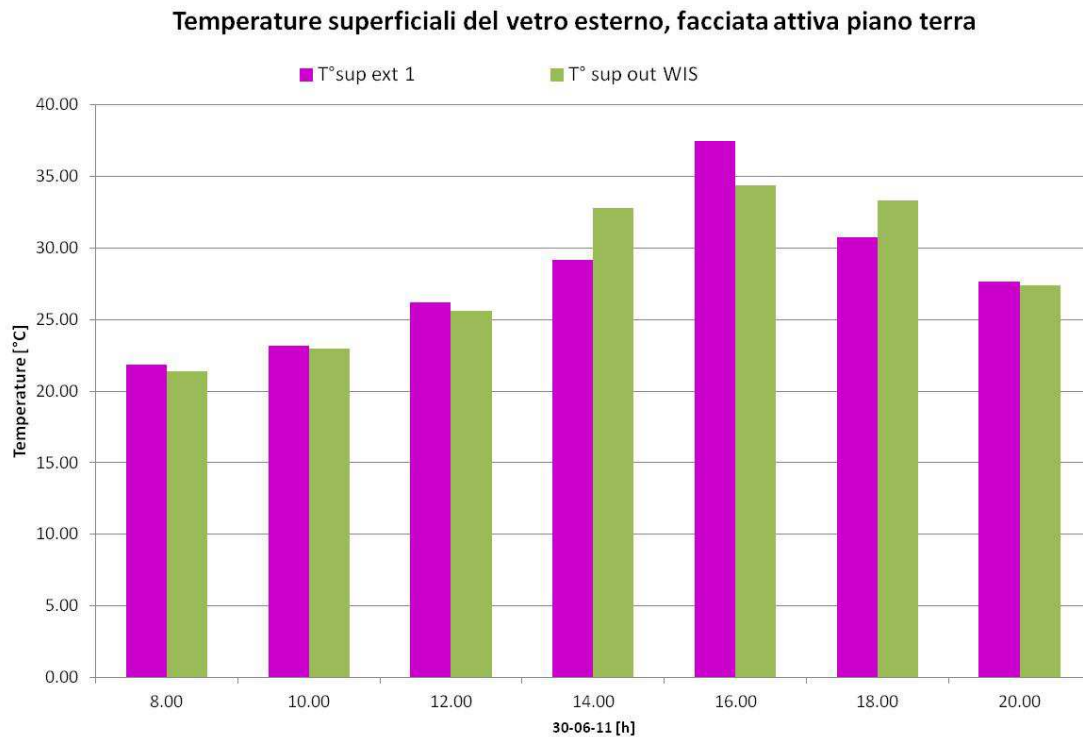


Figura 71 - Confronto tra le temperature superficiali del vetro esterno monitorate e calcolate con WIS.

FACCIATA ATTIVA PIANO PRIMO

Rispetto ai dati misurati WIS tende a sovrastimare le temperature superficiali interne, durante l'intera giornata.

Si è calcolato un valore di PRMSE del 5% e di RMSE di 1,25 °C.

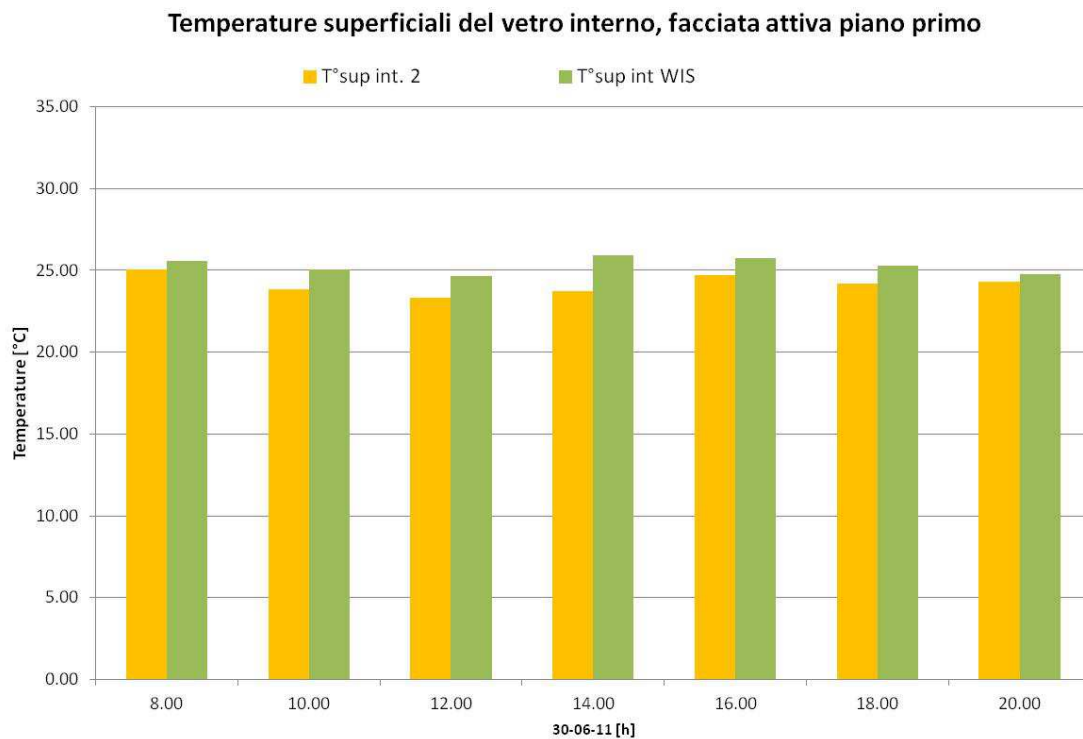


Figura 72 - Confronto tra le temperature superficiali del vetro interno monitorate e calcolate con WIS.

Per la temperatura superficiale si è calcolato un valore di PRMSE del 4% e di RMSE di 1,30°C. Le temperature calcolate con il software sono dunque confrontabili con quelle monitorate.

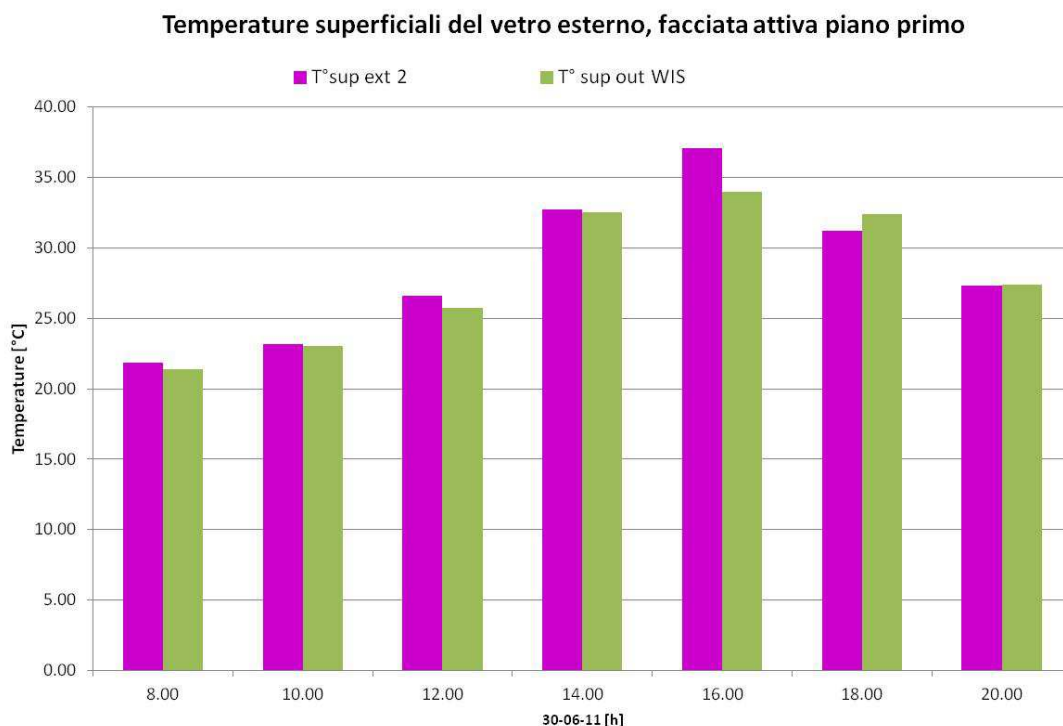


Figura 73 - Confronto tra le temperature superficiali del vetro esterno monitorate e calcolate con WIS.

FACCIATA PASSIVA

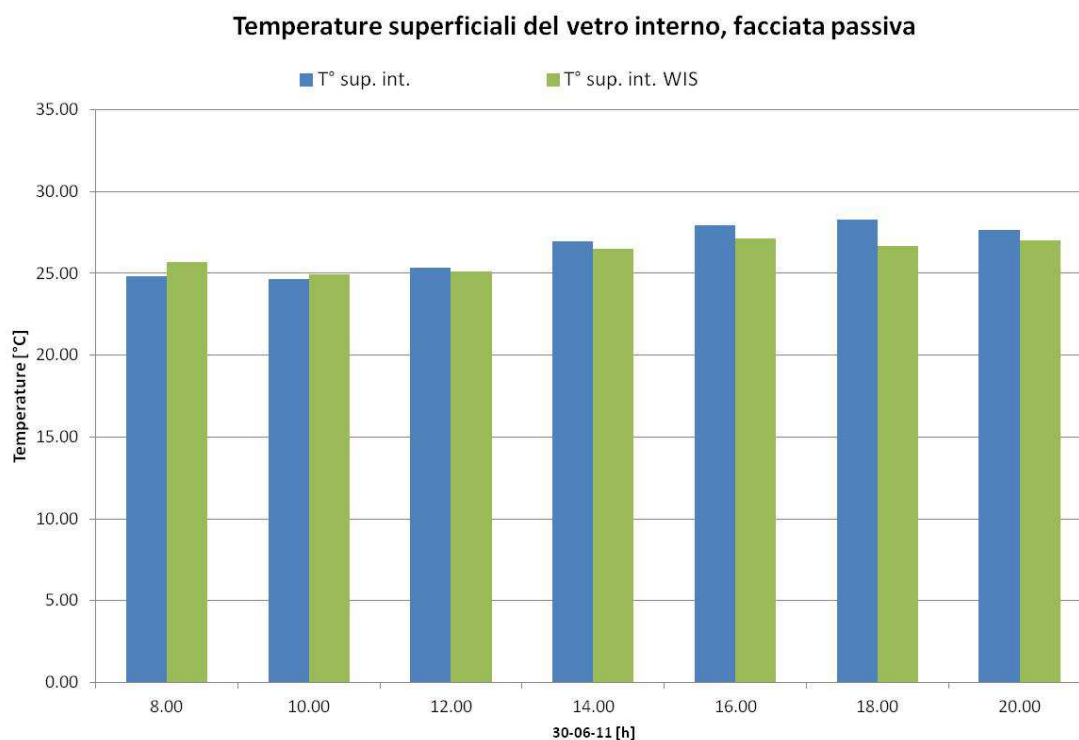


Figura 74 – Confronto tra le temperature superficiali del vetro interno monitorate e calcolate con WIS.

Rispetto ai dati misurati WIS tende a sovrastimare le temperature superficiali interne della facciata passiva, nella prima parte della giornata e a sottostimarle nelle ore centrali della giornata in presenza di radiazione solare.

Si è calcolato un valore di PRMSE del 3% e di RMSE di 0,8 °C.

CONFRONTO TRA I VALORI

Tabella 20 – Valori di PRMSE e RMSE, calcolati dalle temperature superficiali (interne ed esterne) monitorate e calcolate con WIS.

	PRMSE	RMSE
	[%]	[°C]
T °sup int. 1	2%	0.45
T°sup ext 1	7%	2.07
T°sup int. 2	5%	1.25
T°sup ext 2	4%	1.30
T°sup int passiva	3%	0.83

4.3.2.2 Confronto tra le trasmittanze termiche

Tabella 21 – Valori di trasmittanza calcolati con WIS e calcolati dai dati sperimentali.

	WIS	MISURATA
	[W/m ²]	[W/m ²]
U facciata attiva	0.36	0.38
U facciata passiva	1.11	1.09

I valori di trasmittanza termica calcolati con il software WIS per la giornata soleggiata estiva risultano essere confrontabili con quelli calcolati con i valori monitorati (Trasmittanza termica stagione estiva 2011 pag. 55).

4.3.2.3 Confronto tra le energie giornaliere facciata attiva e passiva

Le energie giornaliere sono state calcolate con i dati calcolati con il software WIS applicando le equazioni 13 e 14.

$$\frac{\dot{Q}}{A}_{tot} = g * I + (T_{air_ext} - T_{air_int}) * U \quad [W/m^2] \quad \text{Equazione 13}$$

$$Energia = \int_{08:00}^{20:00} \frac{\dot{Q}}{A}_{tot} \quad [Wh/m^2] \quad \text{Equazione 14}$$

g: coefficiente di trasmissione globale calcolato con WIS, (varia in funzione dell'angolo di incidenza), [%]

I : irradianza monitorata sul piano verticale [W/m²]

T_{air_ext}: temperatura dell'aria esterna monitorata [°C].

T_{air_int}: temperatura dell'aria interna monitorata [°C].

U: trasmittanza termica calcolata con WIS [W/m²K]

I valori di energia calcolati con il software WIS sono stati comparati con quelli calcolati dai dati monitorati (Equazione 2). I valori di energia calcolati dai dati sperimentali sono dunque comprensivi della componente di radiazione solare a bassa lunghezza d'onda e comparabili con quelli calcolati dai dati calcolati con il software WIS.

Nella figura Figura 75 si sono riportati il confronto tra i valori di energie totali giornaliere calcolate (secondo l'equazione 13 e 14) e i valori che sono stati calcolati dai dati monitorati (pagina 16). Dal confronto emerge che le energie calcolate con i dati ricavati dalla simulazione con il software WIS, sono inferiori di circa il 40% per il piano terra e del 50% per il piano primo rispetto ai valori monitorati. Per il calcolo delle energie con WIS in (Figura 75) si sono considerati i coefficiente di trasmissione globale in funzione dell'angolo di incidenza della radiazione solare.

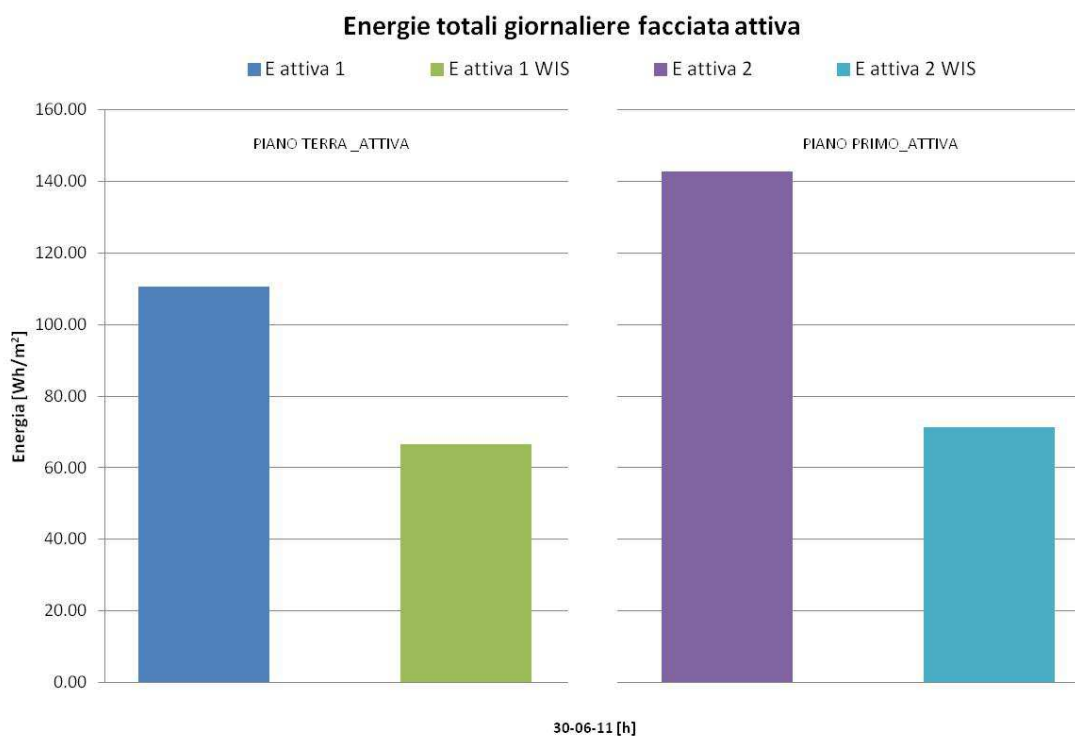


Figura 75 – Confronto tra le energie giornaliere calcolate con il software WIS e i valori monitorati.

Nella Figura 76 si sono riportati i valori di energie giornaliere calcolati con i dati ricavati dal software WIS considerando il valore del coefficiente di trasmissione solare per un angolo di incidenza pari a 90°.

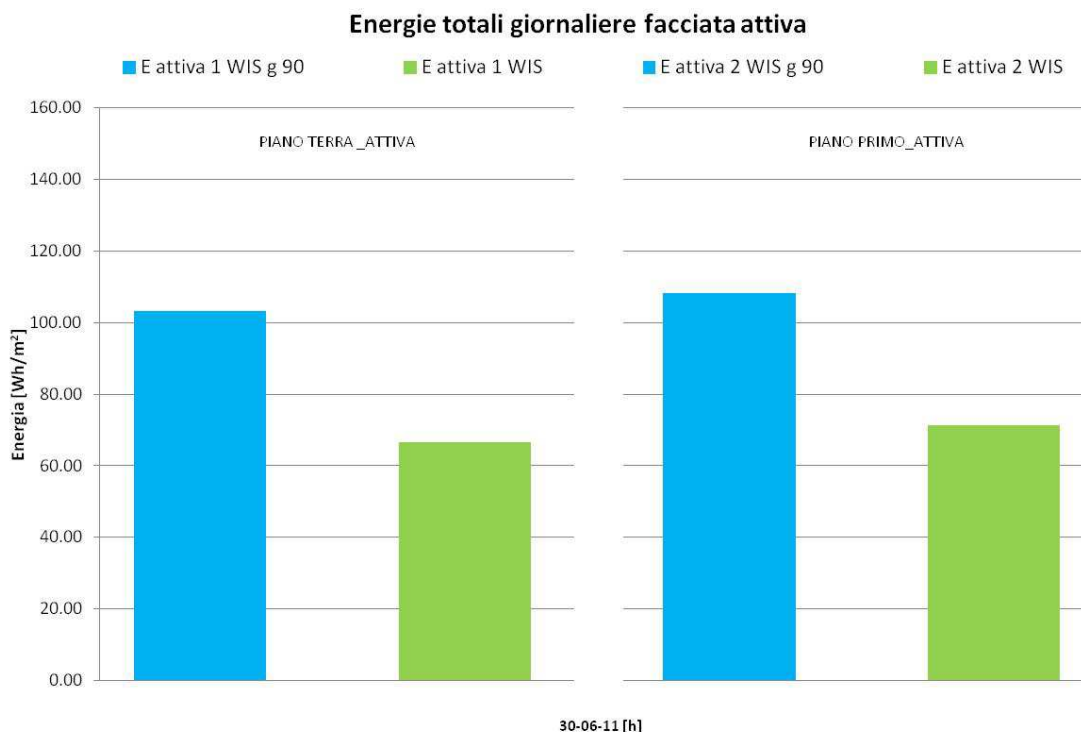


Figura 76 – Confronto tra i valori di energia calcolati con il software WIS, facciata attiva piano terra e primo. Valore del coeff. di trasmissione solare che varia in funzione dell'angolo di incidenza e per angolo di incidenza pari a 90°.

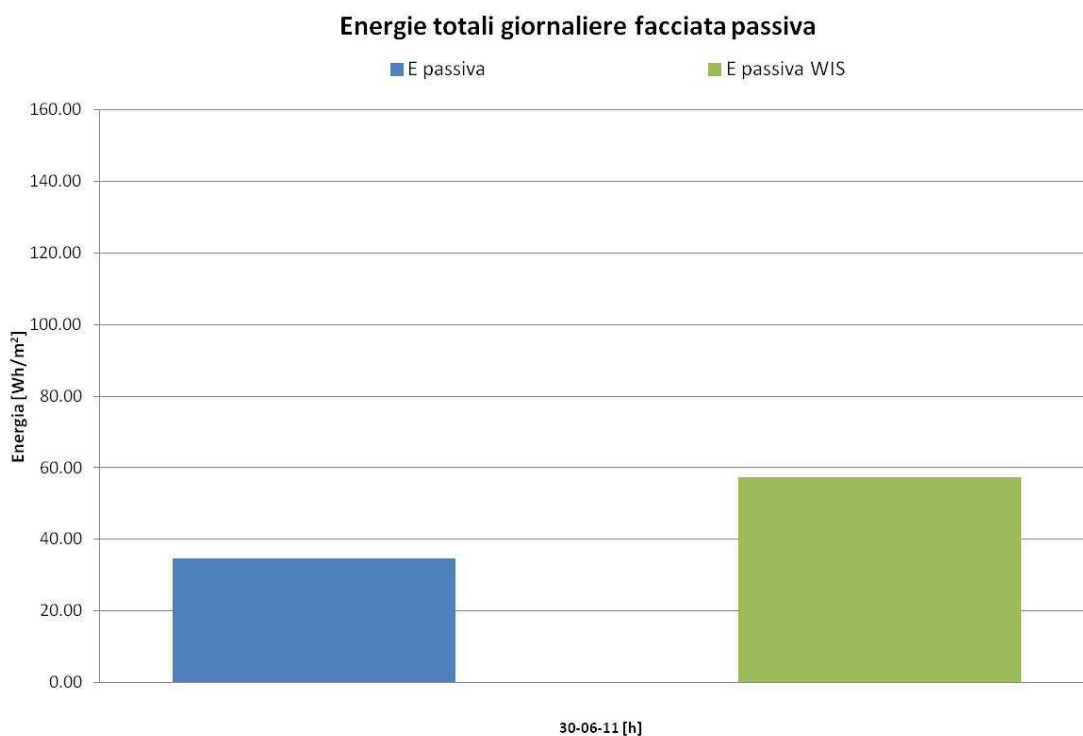


Figura 77 - Confronto tra le energie giornaliere calcolate con il software WIS e i valori monitorati, facciata passiva.

La differenza per la facciata passiva tra i valori di energia calcolate con i dati simulati con il software WIS e monitorate è di circa il 40%.

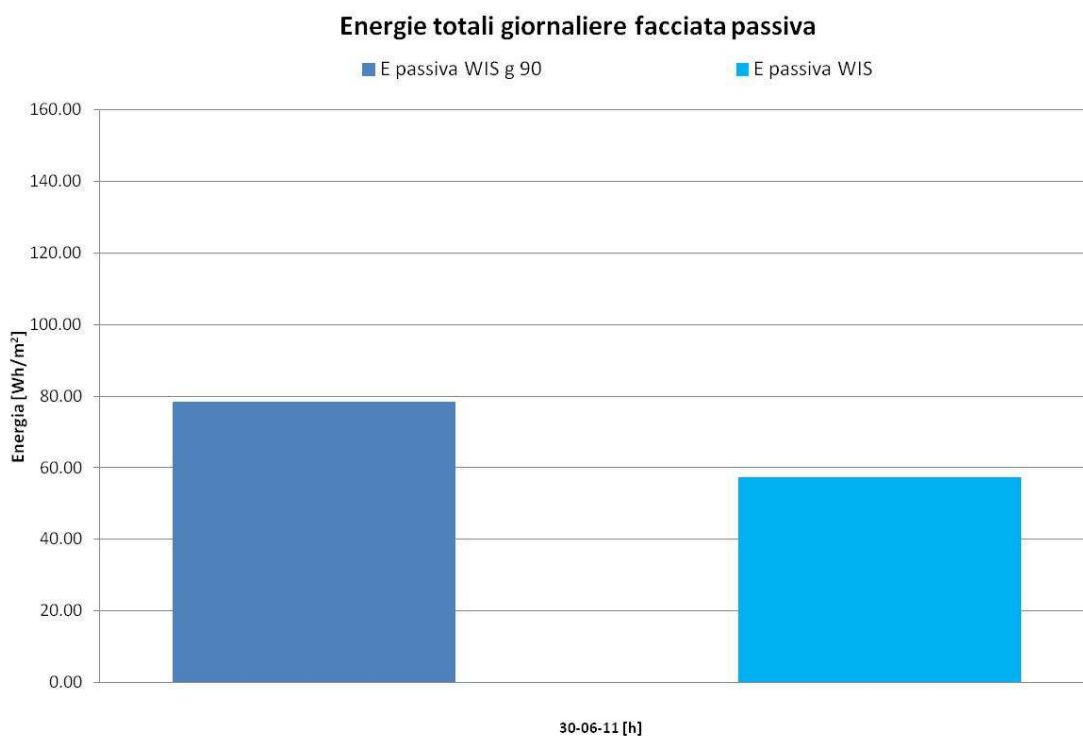


Figura 78 – Confronto tra i valori di energia calcolati variando il coeff. Di trasmissione globale in funzione dell'angolo di incidenza e utilizzando il valore normale.

La differenza tra i valori di energia calcolati con il coefficiente di trasmissione solare in funzione dell'angolo di incidenza e il valore per 90° è del 27%.

Tabella 22 – Valori riassuntivi valori di energia calcolati e simulati 30-06-11.

	monitorata	simulata	differenza	simulata g_{\perp}
	Wh/m ²	Wh/m ²	[%]	Wh/m ²
E attiva p.t.	110.48	66.45	-40%	103.15
E attiva p. 1	142.80	71.43	-50%	108.13
E passiva	34.59	57.36	+40%	78.55

Si evidenzia nella tabella che i valori di energia calcolati con i dati del software WIS, per la facciata attiva nella giornata analizzata, risultano essere sottostimati rispetto a quelli monitorati, mentre sono sovrastimati per la facciata passiva.

4.3.3 CONDIZIONI INVERNALI

Sono state prese in considerazione due giornate invernali:

- una giornata soleggiata con le schermature abbassate nell'intercapedine della facciata attiva (12/01/2011)
- una giornata con valori di irradianza bassi e schermatura nell'intercapedine della facciata attiva aperta (13/01/2011)

Sono state simulate le condizioni corrispondenti alle ore 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00 e 20:00 di entrambe le giornate.

4.3.4 CONDIZIONI INVERNALE, GIORNATA SOLEGGIATA 12/01/2011 PRESENZA DI SCHERMATURA (FACCIATA ATTIVA)

4.3.4.1 *Analisi delle temperature superficiali interne ed esterne*

FACCIATA ATTIVA

Rispetto ai dati misurati WIS tende a sovrastimare le temperature durante le prime ore del giorno e a sottostimarle nelle ore centrali dove il valori di radiazione solare sono più elevati. Si è calcolato un valore di PRMSE del 7% e di RMSE di 1,7 °C. Le temperature calcolate con il software sono confrontabili con quelle monitorate.

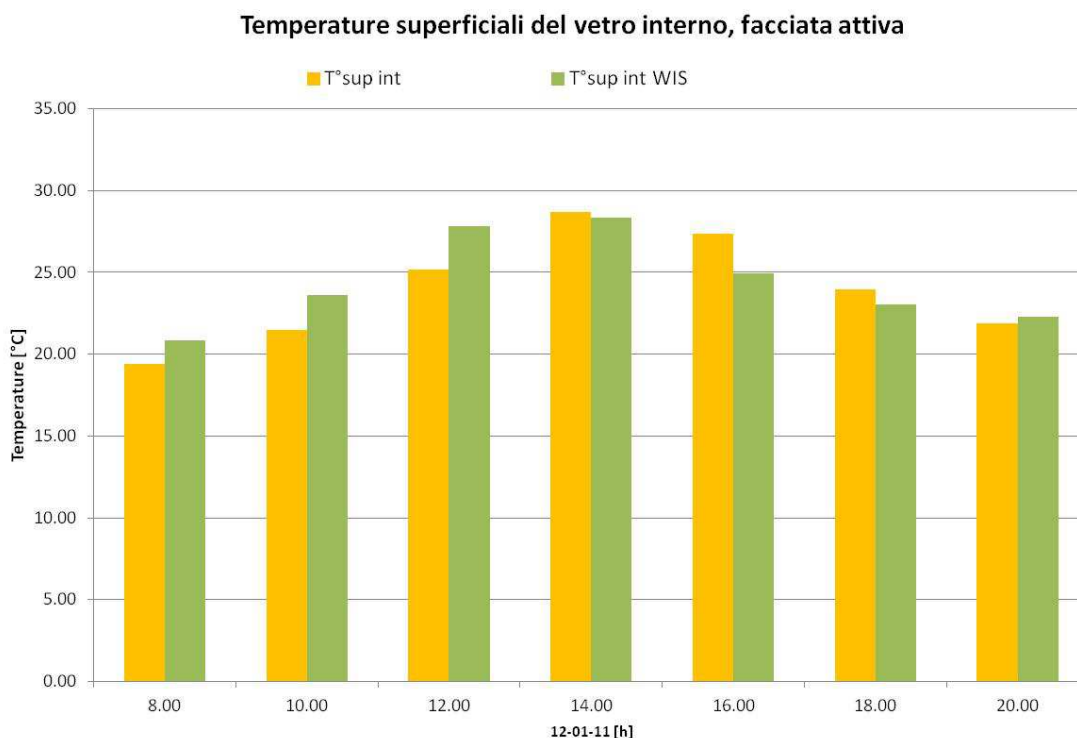


Figura 79 - Confronto tra le temperature superficiali del vetro interno monitorate e calcolate con WIS.

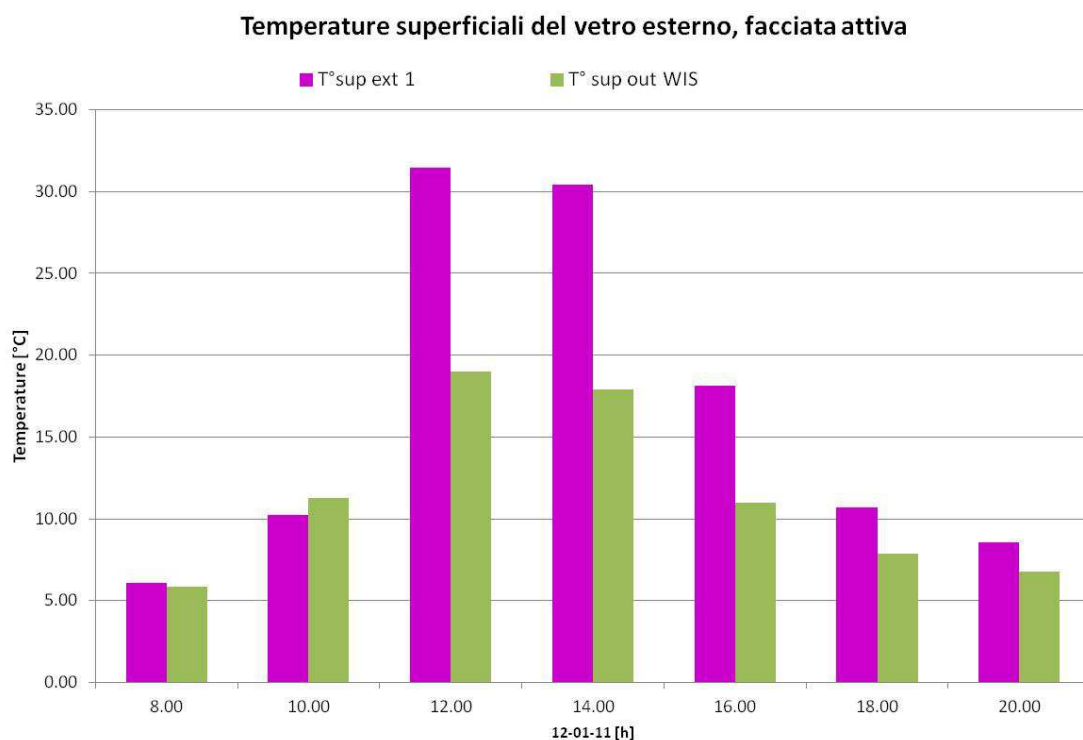


Figura 80 - Confronto tra le temperature superficiali del vetro esterno monitorate e calcolate con WIS.

I valori di temperatura superficiale calcolati durante le ore centrali della giornata con il software WIS sono inferiori rispetto ai valori monitorati, il software sottostima il contributo della radiazione solare durante la giornata invernale soleggiata. Per le temperature superficiali esterne si è calcolato un valore di PRMSE del 30% e di RMSE di 7,3°C.

FACCIATA PASSIVA

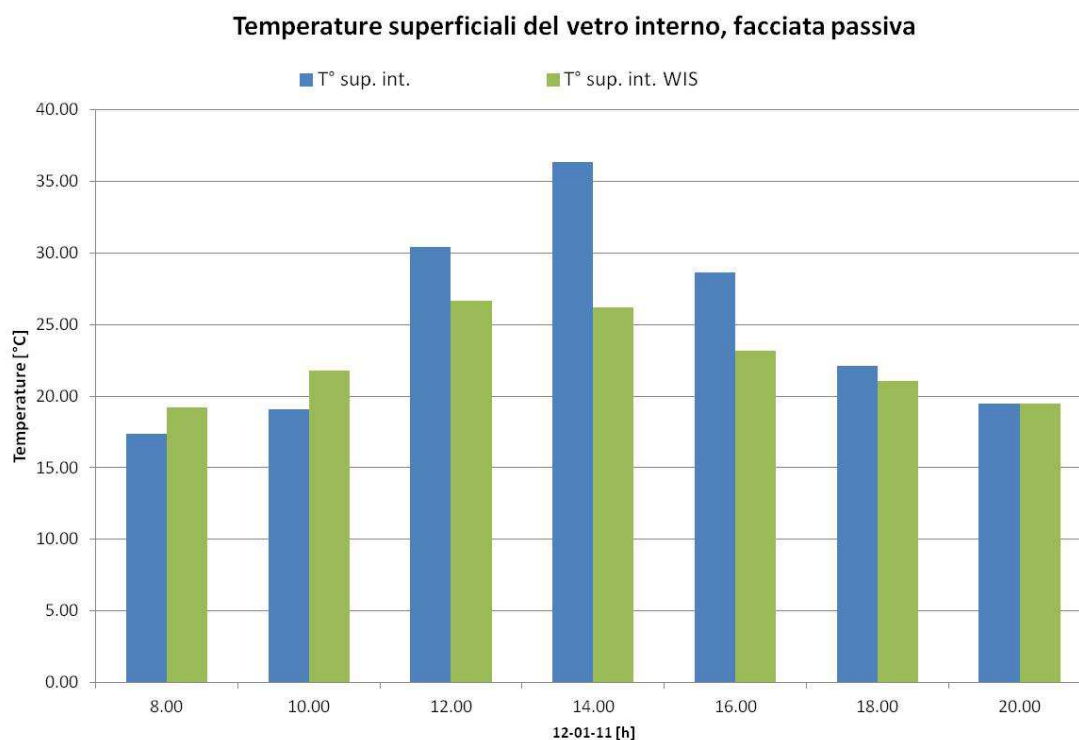


Figura 81 – Confronto tra le temperature superficiali del vetro interno monitorate e calcolate con WIS.

Rispetto ai dati misurati WIS tende a sottostimare il contributo della radiazione solare nelle ore centrali della giornata. Si è calcolato un valore di PRMSE del 15% e di RMSE di 4,77 °C.

CONFRONTO TRA I VALORI

Tabella 23 – Valori di PRMSE e RMSE, calcolati dalle temperature superficiali (interne ed esterne) monitorate e calcolate con WIS.

	PRMSE	RMSE
	[%]	[°C]
T °sup int. 1	7%	1.71
T°sup ext 1	30%	7.32
T°sup int passiva	15%	4.78

4.3.4.2 Confronto tra le trasmittanze termiche

Tabella 24 – Valori di trasmittanza calcolati con WIS e calcolati dai dati sperimentali.

	WIS	MISURATA
	[W/m ²]	[W/m ²]
U facciata attiva	0.59	0.65
U facciata passiva	1.34	1.17

I valori di trasmittanza termica calcolati con il software WIS per la giornata soleggiata invernale, facciata attiva, sono inferiori rispetto a quelli calcolati dai dati monitorati. Per la facciata passiva invece la trasmittanza termica calcolata con WIS è superiore rispetto a quella calcolata dai dati monitorati.

4.3.4.3 Confronto tra le energie giornaliere facciata attiva e passiva

Le energie giornaliere sono state calcolate con i dati calcolati con il software WIS applicando le equazioni 4 e 5 (pag. 71). Durante la giornata invernale analizzata sono presenti energie di heating e cooling. Le energie calcolate con WIS per l'heating sono confrontabili con quelle monitorate mentre quelle di cooling sono sottostimate. Per il calcolo delle energie con WIS in (Figura 82) si sono considerati i coefficiente di trasmissione solare in funzione dell'angolo di incidenza della radiazione solare.

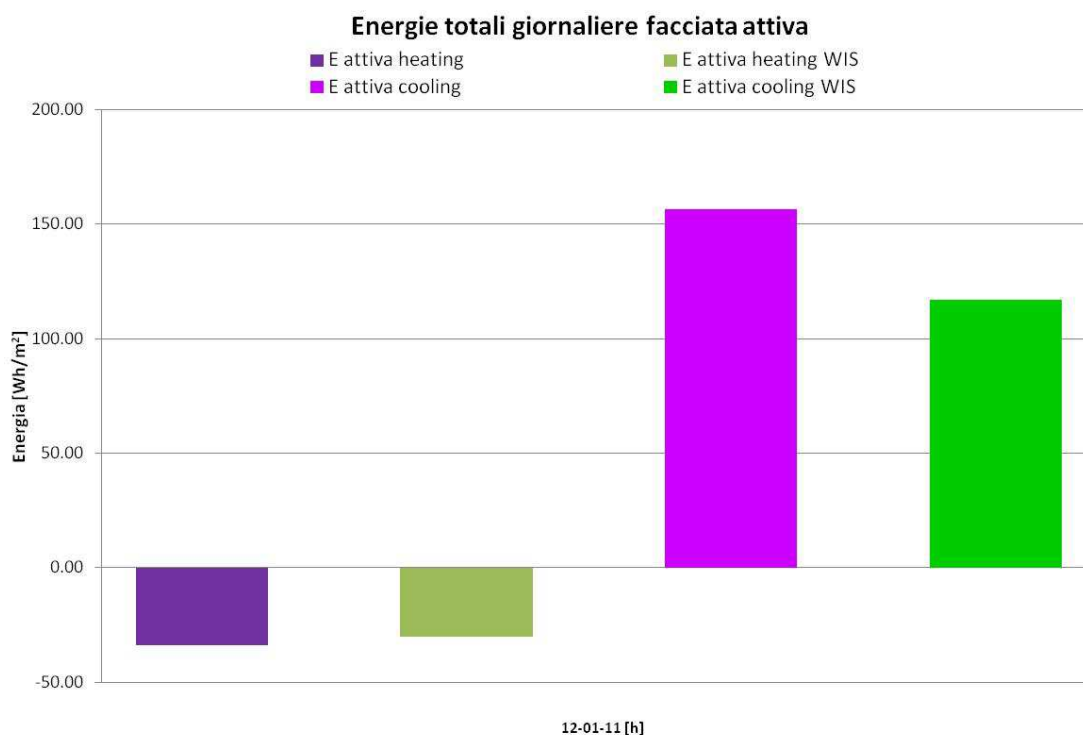


Figura 82 – Confronto tra le energie giornaliere (heating e cooling) calcolate con il software WIS e i valori monitorati.

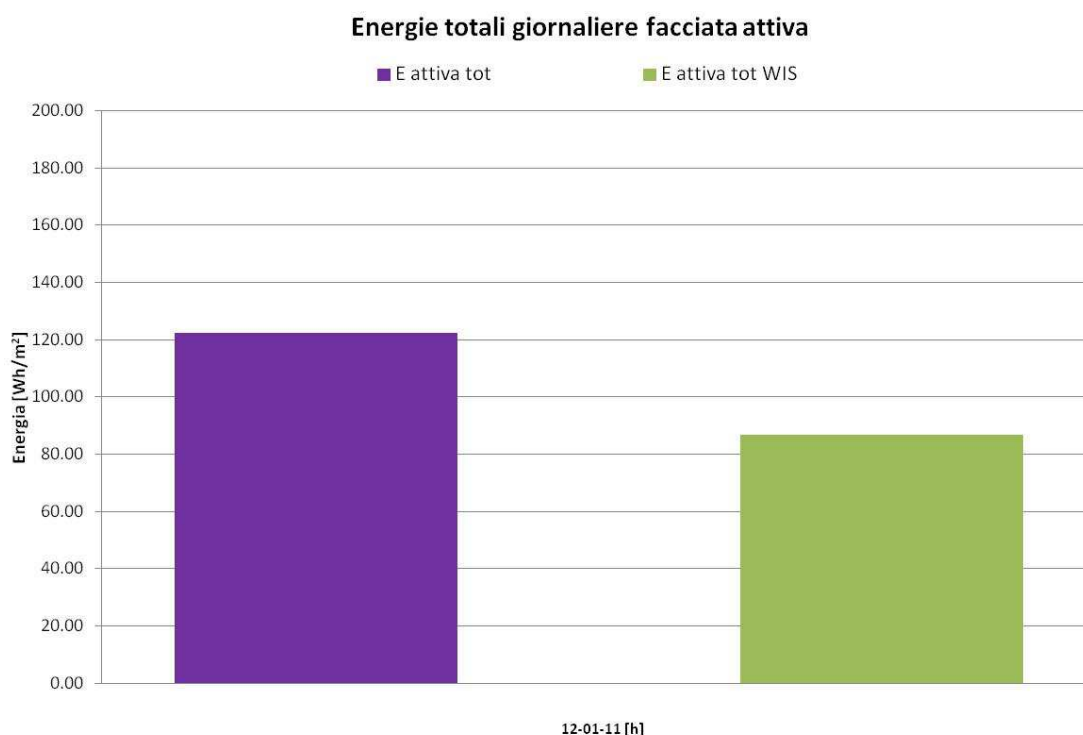


Figura 83 - Confronto tra le energie giornaliere totali calcolate con il software WIS e i valori monitorati.

I valori di energia calcolati con WIS risultano essere inferiori del 29%.

Nella Figura 84 si sono riportati i valori di energie giornaliere calcolati con i dati ricavati dal software WIS considerando il valore di coefficiente di trasmissione globale per un angolo di incidenza pari a 90° . Il valore delle energie non cambia rispetto al calcolo con il valore del coefficiente di trasmissione globale in funzione dell'angolo di incidenza. Infatti nel periodo invernale l'angolo di incidenza del sole è maggiore e dunque vicino alla normale per la maggior parte delle ore di calcolo.

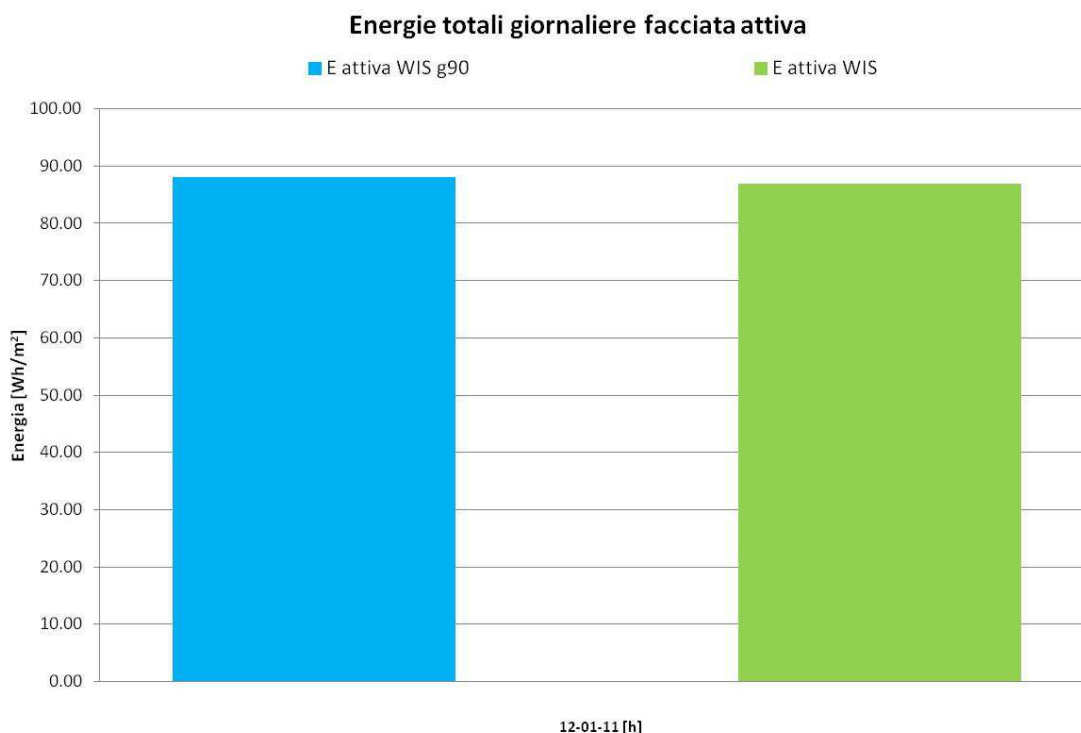


Figura 84 – Confronto tra i valori di energia calcolati con il software WIS, facciata attiva piano terra e primo.

In Figura 85 si evidenzia che i valori di energia di heating calcolati con il software sono sovrastimati e quelli di cooling sottostimati.

Nella Figura 86 si sono riportati i valori di energie giornaliere per la facciata passiva calcolati con i dati ricavati dal software WIS considerando il valore di coefficiente di trasmissione globale per un angolo di incidenza pari a 90° . Il valore delle energie calcolato dai dati ricavati dal software sono inferiori del 28% rispetto ai valori calcolati dai dati sperimentali.

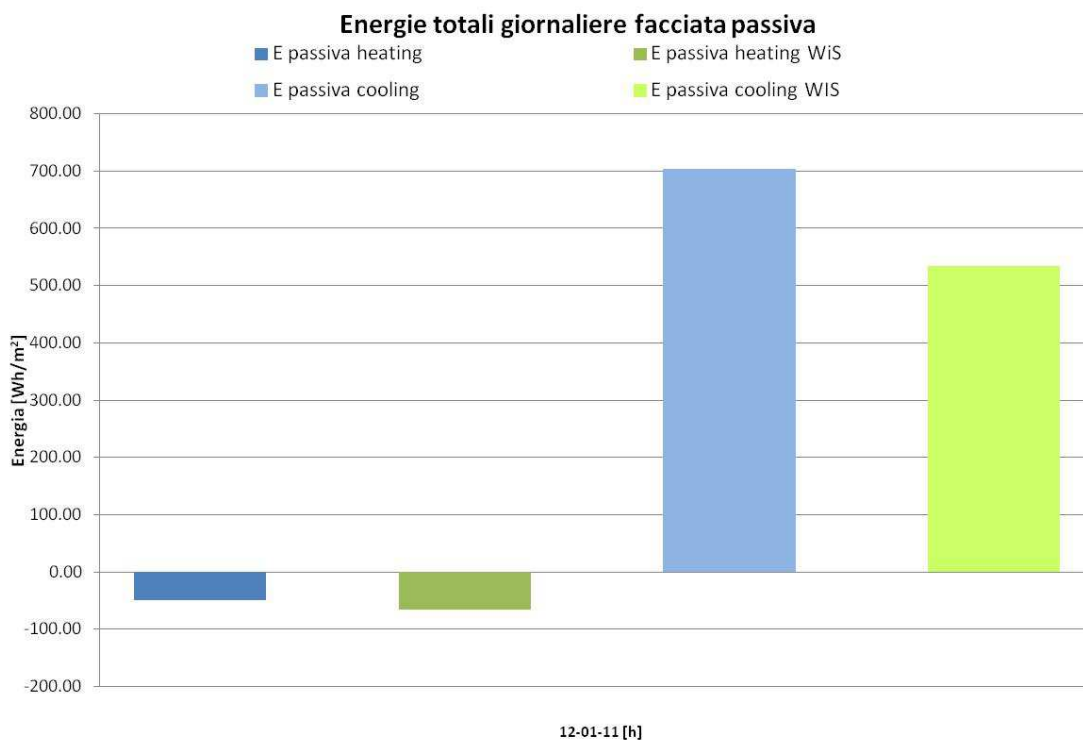


Figura 85 Confronto tra le energie giornaliere totali (heating e cooling) calcolate con il software WIS e i valori monitorati.

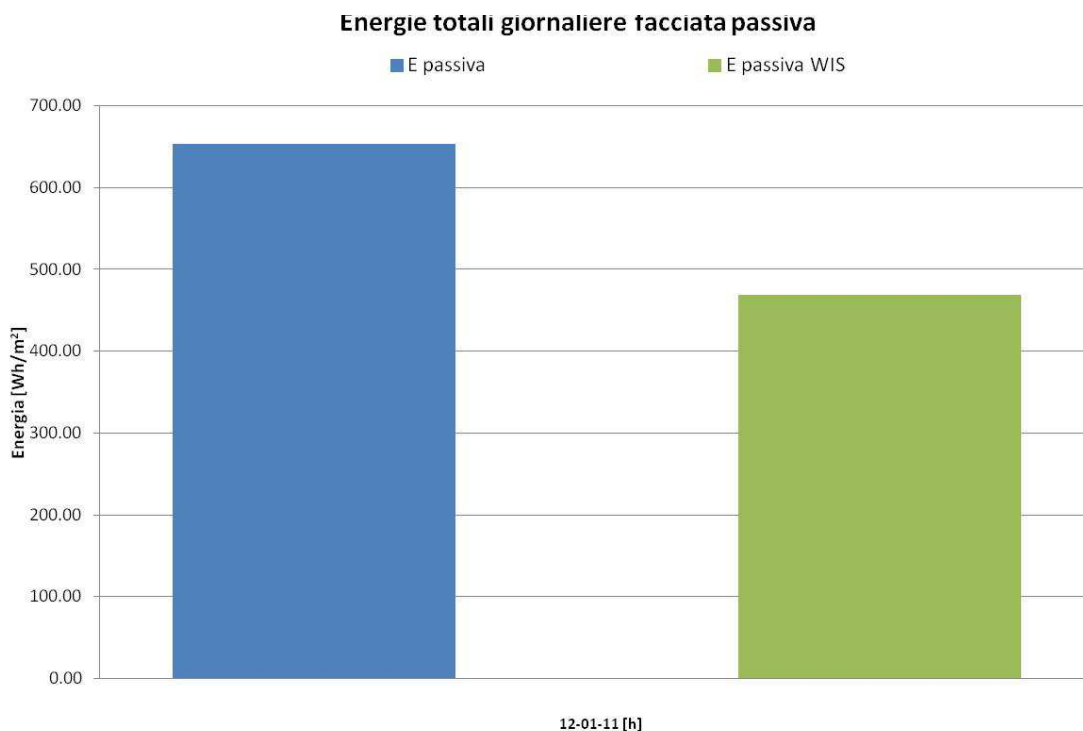


Figura 86 - Confronto tra le energie giornaliere calcolate con il software WIS e i valori monitorati, facciata passiva.

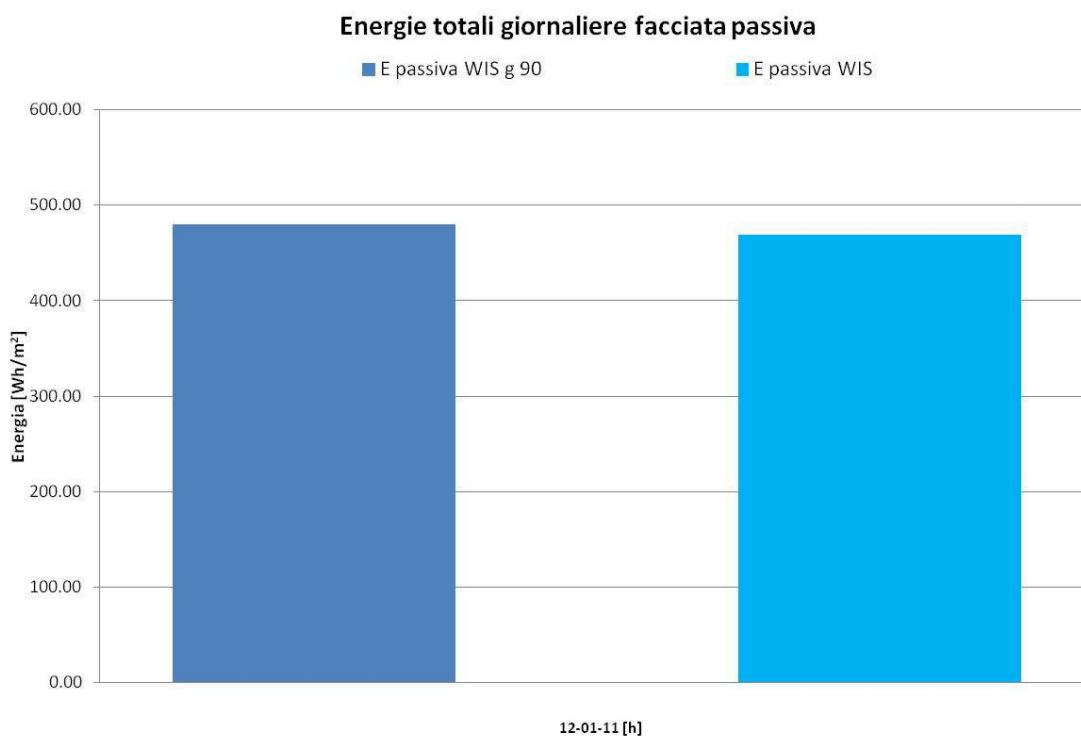


Figura 87 - Confronto tra i valori di energia calcolati variando il coeff. Di trasmissione globale in funzione dell'angolo di incidenza e utilizzando il valore normale.

I valori di energia giornaliera calcolati con i dati ricavati dal software WIS considerando il valore di coefficiente di trasmissione globale per un angolo di incidenza pari a 90° rispetto ai valori di energia calcolati considerando il valore del coefficiente di trasmissione globale in funzione dell'angolo di incidenza sono confrontabili.

Tabella 25 - Valori riassuntivi valori di energia calcolati e simulati 12-01-11.

	monitorata	simulata	Differenza	simulata g ⊥
	Wh/m ²	Wh/m ²	[%]	Wh/m ²
E attiva heating	-33.87	-30.08	-11%	-30.07
E attiva cooling	156.33	116.94	-25%	118.17
E attiva	122.46	86.86	-29%	88.10
E passiva heating	-49.94	-65.36	+24%	-65.29
E passiva cooling	703.83	534.33	-24%	545.63
E passiva	653.89	468.97	-28%	480.34

I valori calcolati con il software WIS risultano essere sottostimati sia per la facciata attiva che passiva durante la giornata soleggiata invernale.

4.3.5 CONDIZIONI INVERNALE, GIORNATA NUVOLOSA 13/01/2011 ASSENZA DI SCHERMTAURE

4.3.5.1 *Analisi delle temperature superficiali interne ed esterne*

FACCIATA ATTIVA

Rispetto ai dati misurati, WIS tende a sovrastimare le temperature durante l'intera giornata nuvolosa invernale. Si è calcolato un valore di PRMSE del 8% e di RMSE di 1,6 °C. Le temperature calcolate con il software sono confrontabili con quelle monitorate.

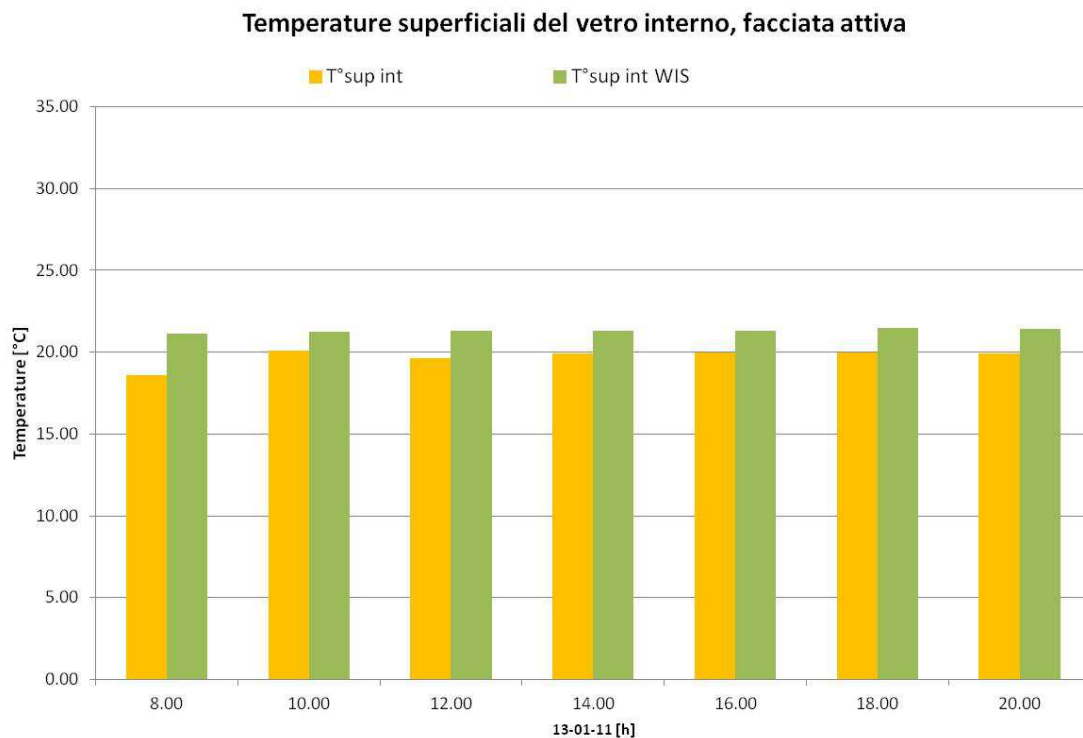


Figura 88 - Confronto tra le temperature superficiali del vetro interno monitorate e calcolate con WIS.

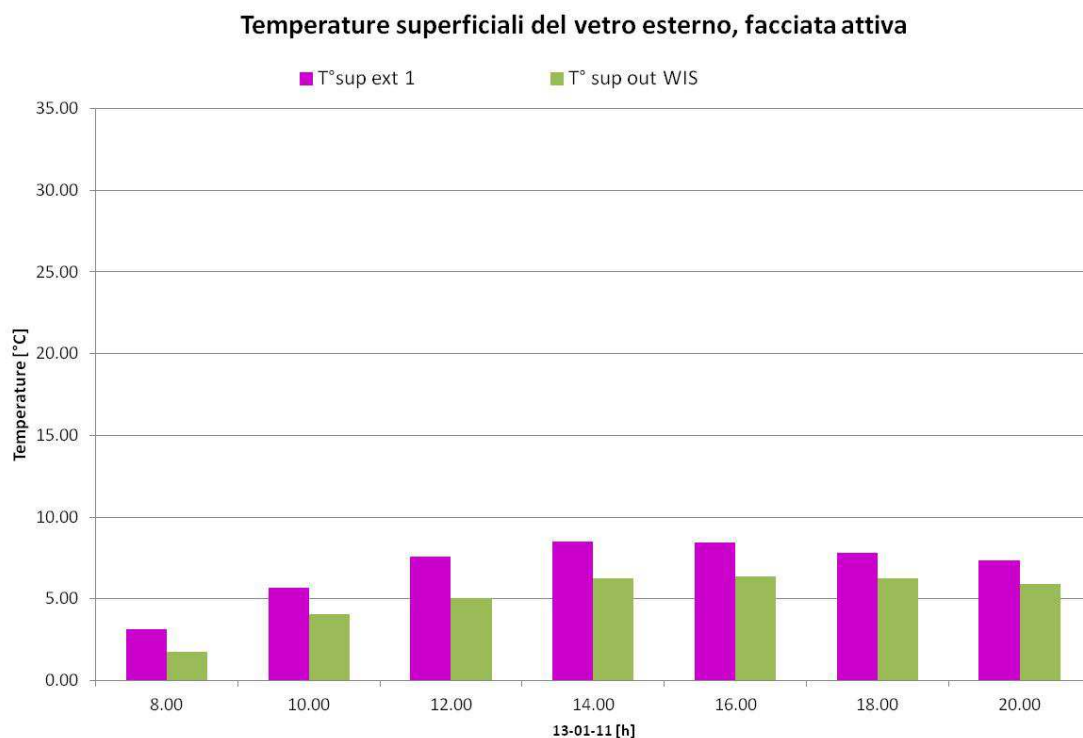


Figura 89 - Confronto tra le temperature superficiali del vetro esterno monitorate e calcolate con WIS.

I valori di temperatura superficiale calcolati con WIS durante l'intera giornata sono inferiori rispetto ai valori monitorati. Per le temperature superficiali esterne si è calcolato un valore di PRMSE del 29% e di RMSE di 1,8°C.

FACCIATA PASSIVA

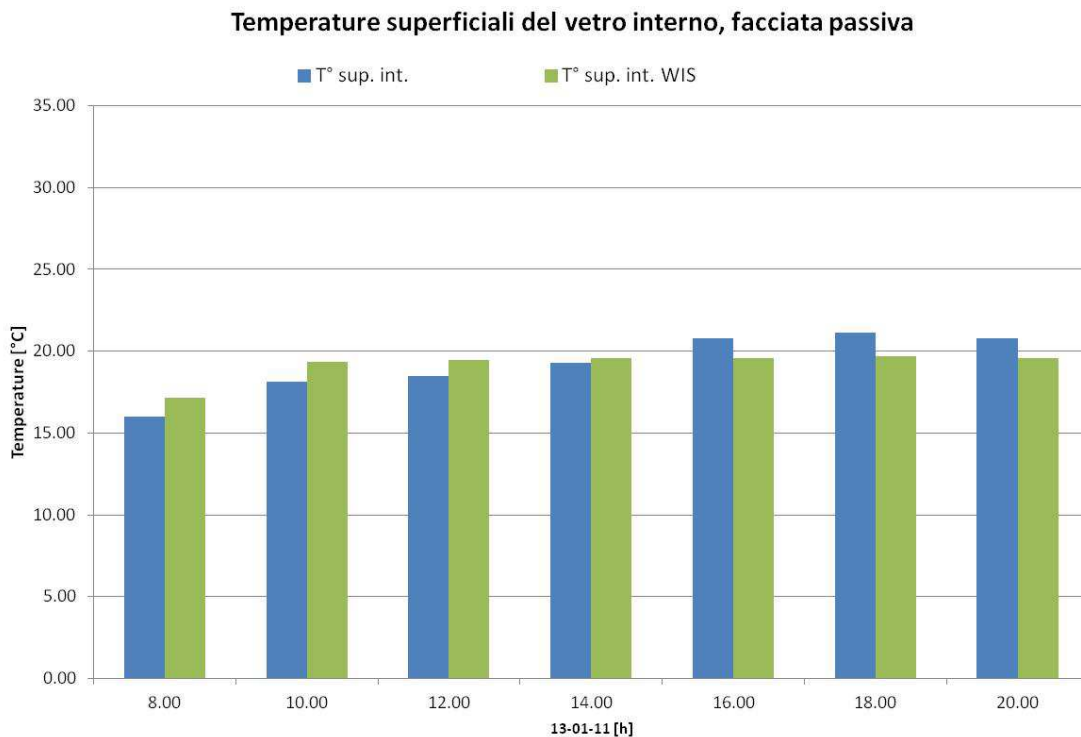


Figura 90 – Confronto tra le temperature superficiali del vetro interno monitorate e calcolate con WIS.

Rispetto ai dati misurati WIS tende a sovrastimare le temperatura superficiali del vetro interno. Si è calcolato un valore di PRMSE del 6% e di RMSE di 1.13 °C.

CONFRONTO TRA I VALORI

Tabella 26 – Valori di PRMSE e RMSE, calcolati dalle temperature superficiali (interne ed esterne) monitorate e calcolate con WIS.

	PRMSE	RMSE
	[%]	[°C]
T °sup int. 1	8%	1.62
T°sup ext 1	29%	1.88
T°sup int passiva	6%	1.13

4.3.5.2 Confronto tra le trasmittanze termiche

Tabella 27 – Valori di trasmittanza calcolati con WIS e calcolati dai dati sperimentali.

	WIS	MISURATA
	[W/m ²]	[W/m ²]
U facciata attiva	0.51	0.65
U facciata passiva	1.32	1.17

I valori di trasmittanza termica calcolati con il software WIS per la giornata nuvolosa invernale, facciata attiva, sono inferiori rispetto ai valori calcolati con i dati monitorati. Per la facciata passiva i valori di trasmittanza termica calcolati con WIS sono superiori a quelli calcolati con i dati sperimentali. (Trasmittanza termica stagione invernale 2010 - 2011 pag. 53).

4.3.5.3 Confronto tra le energie giornaliere facciata attiva e passiva

Le energie giornaliere sono state calcolate con i dati calcolati con il software WIS applicando le equazioni 4 e 5 (pag. 71).

Nella figura Figura 82 si sono riportati il confronto tra i valori di energie totali giornaliere calcolate (secondo l'equazione 4 e 5) e i valori che sono stati calcolati dai dati monitorati rif. Dal confronto emerge che le energie calcolate con i dati ottenuti dal software WIS sono inferiori di circa il 19% rispetto ai valori monitorati. La differenza tra i due valori deriva probabilmente dalla differenza tra i valori di trasmittanza termica calcolati e monitorati. Per il calcolo delle energie con WIS in (Figura 91) si sono considerati i coefficiente di trasmissione solare in funzione dell'angolo di incidenza della radiazione solare.

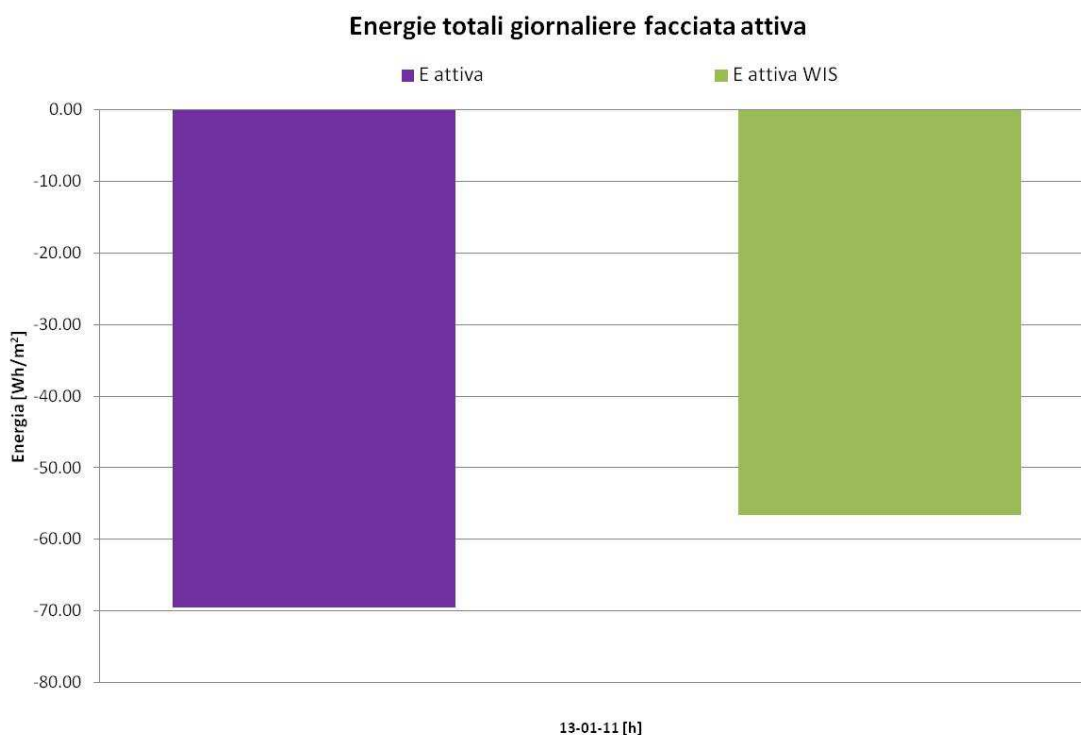


Figura 91 – Confronto tra le energie giornaliere calcolate con il software WIS e i valori monitorati.

Nella Figura 92 si sono riportati i valori di energie giornaliere calcolati con i dati ricavati dal software WIS considerando il valore di coefficiente di trasmissione globale per un angolo di incidenza pari a 90°. Il valore delle energie non cambia rispetto al calcolo con il valore del coefficiente di trasmissione globale in funzione dell'angolo di incidenza.

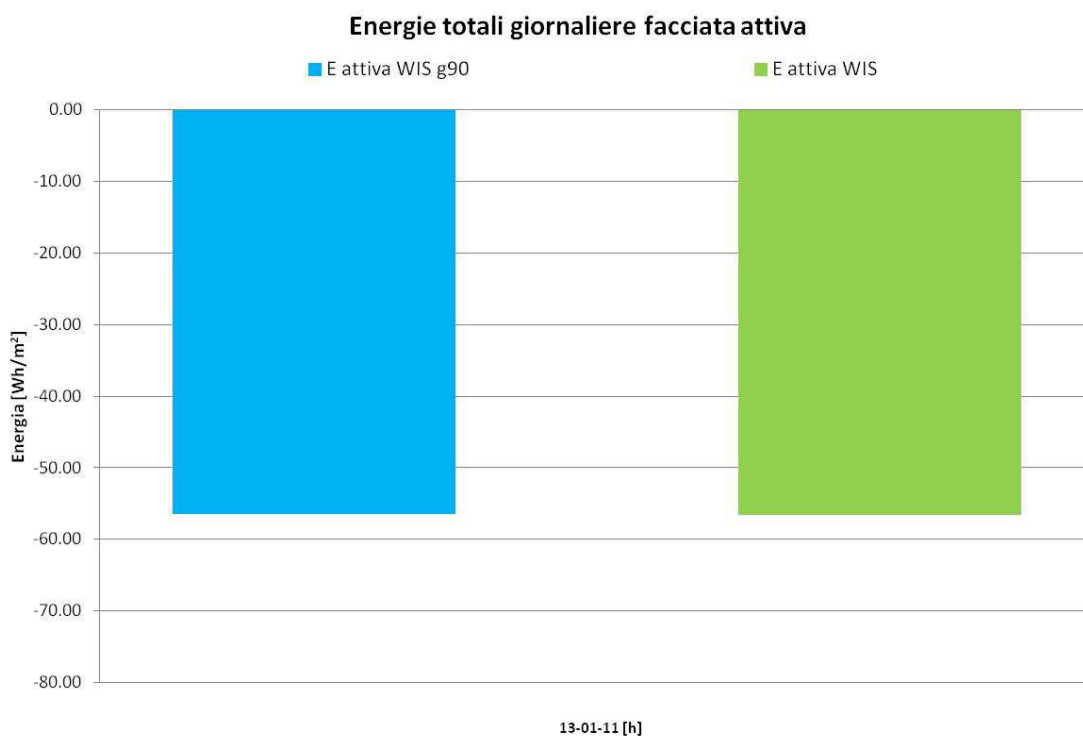


Figura 92 – Confronto tra i valori di energia calcolati con il software WIS, facciata attiva piano terra e primo.

Nella Figura 93 si sono riportati i valori di energie giornaliere calcolati con i dati ricavati dal software WIS considerando il valore di coefficiente di trasmissione globale per un angolo di incidenza pari a 90°. Il valore di energia calcolato dai dati ricavati dal software sono superiori del 16% rispetto ai valori calcolati dai dati sperimentali.

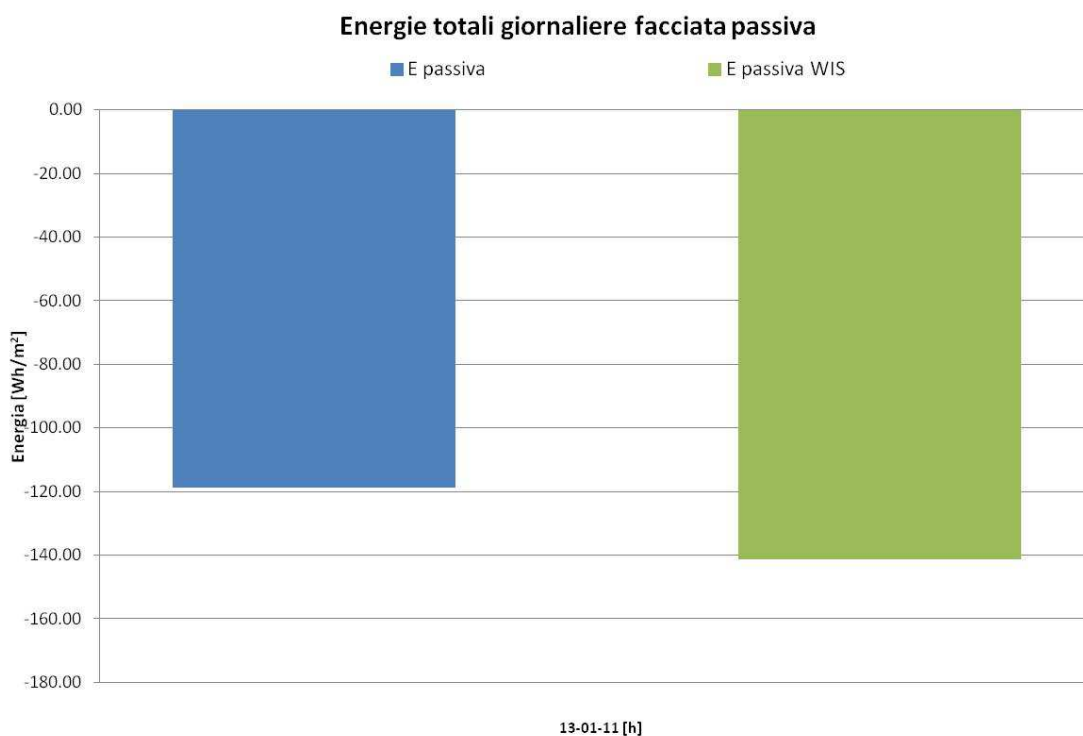


Figura 93 - Confronto tra le energie giornaliere calcolate con il software WIS e i valori monitorati, facciata passiva.

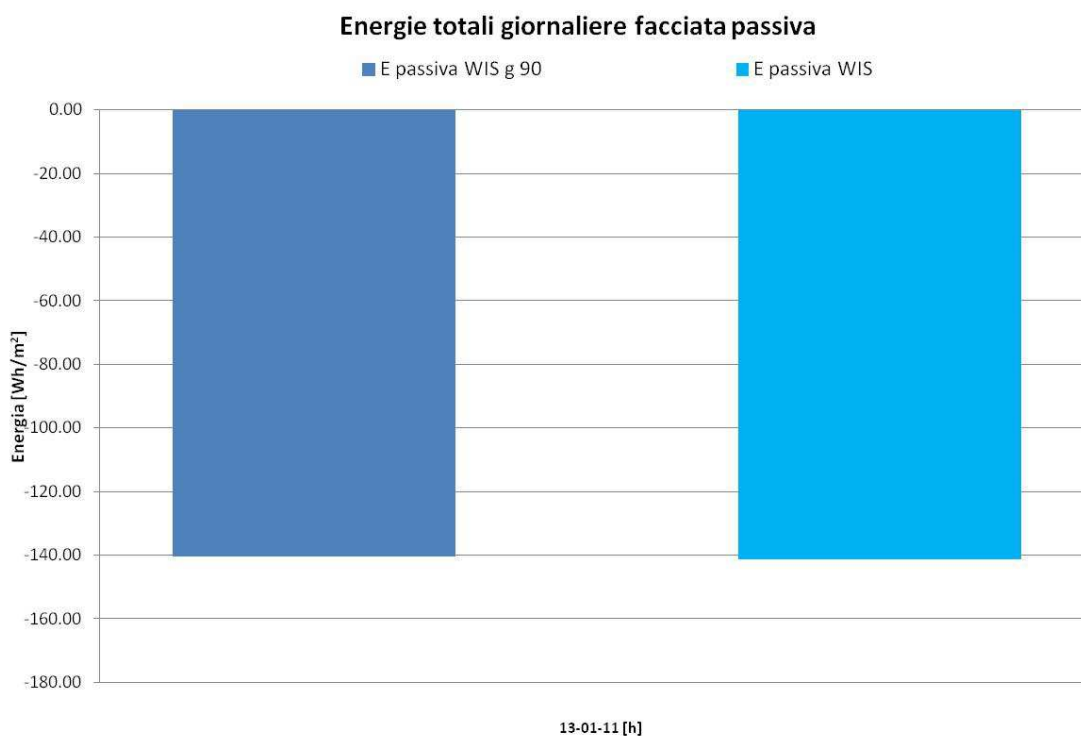


Figura 94 - Confronto tra i valori di energia calcolati variando il coeff. di trasmissione globale in funzione dell'angolo di incidenza e utilizzando il valore normale.

Tabella 28 - Valori riassuntivi valori di energia calcolati e simulati 13-01-11

	monitorata	simulata	Differenza	simulata g \perp
	Wh/m ²	Wh/m ²	[%]	Wh/m ²
E attiva heating	-69.48	-56.55	-19%	-56.45
E passiva heating	-118.71	-141.26	+16%	-140.47

I valori di energia per la giornata nuvolosa stimati con WIS risultano essere sottostimati per la facciata attiva e sovrastimati per la facciata passiva.

4.4 CONCLUSIONI ED INDICAZIONI

WIS si è dunque dimostrato uno strumento utilizzabile per la progettazione solo in alcuni casi, e con le dovute cautele.

Per il periodo estivo, per la configurazione simulata (schermature abbassate attiva e passiva) si può concludere che:

- Utilizzando la formula riportata nell' equazione 10 per le portate di ventilazione nell'intercapedine, i valori di trasmittanza calcolati con WIS sono confrontabili con quelli monitorati.
- Le temperature superficiali esterne ed interne per la facciata attiva e passiva, calcolate con il software sono confrontabili con quelle monitorate.
- Il calcolo delle energie con i dati calcolati da WIS non sono confrontabili con quelle monitorate. WIS sottostima i carichi termici entranti nella stagione estiva in presenza di schermature solari. In particolare:
 - Le energie calcolate con il coefficiente di trasmissione globale che varia in funzione dell'angolo di incidenza sono inferiori rispetto ai dati monitorati, mentre i valori di energia calcolati con il coefficiente di trasmissione solare per un angolo di incidenza normale (90°) risultano essere confrontabili con i dati monitorati.
- Si è verificato che la differenza nel calcolo delle energie utilizzando il coefficiente di trasmissione globale che varia in funzione dell'angolo di incidenza oppure il coefficiente di trasmissione globale fisso per un angolo di incidenza di 90° non comporta un grave errore per la facciata passiva (25% di differenza). Mentre per la facciata attiva si è calcolato un aumento delle energie (già sottostimante rispetto a quelle monitorate) di circa il 33 - 35 %.

Per il periodo invernale, giornata soleggiata per la configurazione simulata (schermature abbassate attiva) si può concludere che:

- Per la facciata attiva i valori di temperatura superficiale interna calcolati dal software sono confrontabili con quelli monitorati mentre le temperature superficiali esterne sono sottostimate da WIS. Per la facciata passiva le temperature superficiali interne calcolate con il software WIS sono inferiori rispetto a quelle monitorate.
- La trasmittanza calcolata con il software WIS è inferiore rispetto a quella calcolata dai dati monitorati, mentre la trasmittanza termica della facciata passiva è superiore al valore calcolato dai dati di monitoraggio.
- Per la facciata attiva e passiva le energie di heating calcolate da WIS sono confrontabili con i dati monitorati mentre quelle di cooling sono inferiori .
- Sia per la facciata attiva che per la passiva nel periodo invernale non si riscontrano differenze nel calcolo delle energie utilizzando il coefficiente di trasmissione globale che varia in funzione dell'angolo oppure il coefficiente per un angolo di incidenza di 90°.

Per il periodo invernale, giornata nuvolosa per la configurazione simulata (schermature alzate attiva) si può concludere che:

- Per la facciata attiva e passiva i valori di temperatura superficiale interna calcolati dal software sono confrontabili con quelli monitorati. I valori di temperature superficiali esterne per la facciata attiva sono sottostimate da WIS.
- La trasmittanza calcolata con il software WIS è inferiore rispetto a quella calcolata dai dati monitorati, mentre la trasmittanza termica della facciata passiva è superiore rispetto a quella calcolata dai dati di monitoraggio.
- L'energia giornaliera che attraversa la facciata attiva calcolata con il software WIS è inferiore di circa il 19% rispetto ai valori calcolati dai dati monitorati.
- L'energia che attraversa la facciata passiva calcolata con il software WIS è superiore del 16% rispetto ai valori calcolati dai dati monitorati (come per la giornata soleggiata invernale).
- Sia per la facciata attiva che per la passiva nel periodo invernale non si riscontrano differenze nel calcolo delle energie utilizzando il coefficiente di trasmissione globale che varia in funzione dell'angolo oppure il coefficiente per un angolo di incidenza di 90° .