



Università degli studi di Padova
Facoltà di ingegneria
Corso di laurea in ingegneria meccanica

Tesi di laurea triennale

**Valutazione dei modelli analitici di previsione
della radiazione diffusa e incidenza sul
comportamento delle pareti opache**

Relatore : Prof.Ing Andrea Gasparella

Correlatore : Ing. Giovanni Pernigotto

Laureando : Munaretto Carlo

ANNO ACCADEMICO 2010-2011

INDICE

INDICE	I
SOMMARIO	VII
INTRODUZIONE	IX

CAPITOLO 1 : Nozioni astronomiche e geometriche e cenni sulla radiazione

solare	1
1.1.Nomenclatura.....	1
1.2.Moto di rivoluzione e radiazione globale extraterrestre	3
1.3.Il giorno solare, l'equazione del tempo e l'ora solare apparente	6
1.4.La declinazione solare.....	9
1.5.La geometria solare.....	12
1.6.Relazioni angolari di una superficie rivolta verso sud	17
1.7.Relazioni geometriche di superfici arbitrariamente orientate rispetto al meridiano locale	19
1.8. Generalità sulla radiazione solare	21
1.9.L'attenuazione in condizioni di cielo sereno e la massa ottica dell'aria	23
1.10. Bibliografia capitolo 1	26

CAPITOLO 2 : Modelli per la stima della radiazione diretta e diffusa su superfici

orizzontali	27
2.1. Nomenclatura.....	27
2.2.Panoramica sui modelli esistenti	28
2.3.Il modello di Orgill e Hollands(1977).....	32
2.4.Il modello di Reindl (1990).....	32
2.5.I modelli di Erbs(1982)	33

2.6. Il modello di Boland (1984)	35
2.7. Il modello di Boland (2001)	35
2.8. Il modello di Miguel (2001)	35
2.9. Il modello di Karatasou (2001)	36
2.10. Il modello di Soares (2004)	36
2.11. Bibliografia capitolo 2	37

CAPITOLO 3 : Modelli per la stima della radiazione diretta e diffusa su superfici

incline	39
3.1. Introduzione e panoramica dei modelli trattati	39
3.2. Nomenclatura	40
3.3. Nomenclatura dei pedici	43
3.4. Generalità sulla stima della radiazione	44
3.5. Modello di distribuzione isotropica della radiazione diffusa	49
di Hottel e Woertz (1942) e Liu e Jordan (1960)	49
3.6. Modelli di distribuzione anisotropica della radiazione diffusa	49
3.6.1. Temps e Coulson (1977)	49
3.6.2. Klutcher (1979)	50
3.6.3. Hay e Davies (1980)	51
3.6.4. Reindl (1990)	52
3.6.5. Muneer (1997)	54
3.6.6. Olmo (1999)	54
3.6.7. Gueymard (1987)	54
3.6.8. Perez (1985)	56
3.6.9. Modello di Perez modificato (1987)	61
3.7. Bibliografia capitolo	66

CAPITOLO 4 : Influenza dei rilievi orografici sul modello di Perez.....	59
4.1.Introduzione	59
4.2.L'ostacolo semplice rivolto verso sud	70
4.3.Ostacoli comunque orientati e dotati di profilo complessi.....	72
4.4.Modifica del modello di Perez a causa dell'ostacolo	74
CAPITOLO 5 : Analisi delle prestazioni dei modelli di previsione	75
5.1.Introduzione	75
5.2.Analisi dei dati e valutazione dei modelli di stima della radiazione sul piano orizzontale.....	78
5.2.1.Analisi dei dati di Roma	81
5.2.2.Analisi dei dati di Torino	86
5.2.3..Analisi dei dati di Golden (Colorado,USA)	90
5.3.Analisi dei modelli per la stima della radiazione su superfici inclinate.....	95
5.3.1.Parete verticale orientata verso nord	95
5.3.2.Parete verticale orientata verso sud	99
5.3.3.Parete verticale orientata verso est	102
5.3.4.Parete verticale orientata verso ovest.....	105
5.3.5.Parete inclinata di 40° orientata verso sud	108
5.4.Conclusioni sul comportamento dei modelli nelle varie orientazioni.....	111
5.5 Accoppiamento dei modelli di stima della radiazione sul piano orizzontale e dei modelli di valutazione della radiazione su superfici inclinate.....	114

CAPITOLO 6 : Simulazioni	117
6.1.Introduzione	117
6.2.Descrizione delle Type utilizzate nella simulazione	118
6.2.1 Type 9a	118
6.2.2 Type 25 c	121
6.3.Costruzione dell'edificio e utilizzo della Type 56 a	123
6.3.1.TRNBUILD	123
6.3.2.Ulteriori impostazioni nella Type 56 a	128
6.4.Collegamento tra le Type's	130
CAPITOLO 7 : Analisi dei risultati della simulazione dinamica dell'edificio	133
7.1.Introduzione	133
7.2.Incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici mensili	136
7.2.1.Parete nord	137
7.2.2Parete sud.....	138
7.2.3 Parete est.....	139
7.2.4 Parete ovest	140
7.2.5 Parete di copertura orizzontale	141
7.2.6 Commenti sull'incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici annuali.....	142
7.3.Incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici mensili. ...	143
7.3.1 Commenti sull'incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici mensili	149
7.4.Incidenza delle combinazioni di modelli sullo scambio di energia nella giornata estiva e invernale.....	149

7.4.1. Analisi dei flussi della giornata invernale (21 Gennaio).....	150
7.4.2. Commenti sull'incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici giornalieri per la giornata invernale	152
7.4.3. Analisi dei flussi della giornata estiva (21 Luglio).....	154
7.4.4. Commenti sull'incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici giornalieri per la giornata estiva	157

CAPITOLO 8: Studio dell' incidenza dell'orografia sul modello di Perez applicato a Trento..... 159

8.1. Introduzione e definizione dell'ostacolo orografico	159
8.2. Simulazione dinamica dell'incidenza dell'orografia sui fabbisogni dell'edificio	162
8.2.1. Analisi dei dati annuali.....	162
8.2.2. Analisi dei dati mensili	166
8.2.3. Analisi delle due giornate tipo (estiva e invernale)	168

APPENDICE 1: Raccolta dati e analisi degli errori..... 171

A1.1. Cenni sulla corretta raccolta dei dati	171
A1.2. Grandezze fondamentali nell'analisi degli errori	171
A1.3. Distribuzione in frequenza degli errori e distribuzione normale.....	173
A1.4. Ulteriori parametri di valutazione	177

APPENDICE 2: Grafici dei flussi termici relativi al 21 Gennaio e al 21 Luglio..... 179

2.1. Grafici relativi al 21 Gennaio	179
2.1.1. Parete nord	179
2.1.2. Parete sud.....	182
2.1.3. Parete est.....	184

2.1.4.Parete ovest	187
2.1.5. Parete di copertura orizzontale.....	189
2.2.Grafici relativi al 21 Luglio	191
2.2.1.Parete nord	191
2.2.2. Parete sud.....	194
2.2.3.Parete est.....	196
2.2.4.Parete ovest.....	198
2.2.5. Parete di copertura orizzontale.....	201
CONCLUSIONI	205

SOMMARIO

Il presente lavoro ha lo scopo di Valutare l'incidenza dei modelli di previsione della radiazione diretta e diffusa sugli scambi energetici attraverso le pareti opache verticali orientate nelle direzioni dei quattro punti cardinali e una parete di copertura orizzontale.

La trattazione si articolerà nella verifica delle prestazioni dei modelli di previsione della radiazione su piano orizzontale e dei modelli di stima sul piano inclinato.

Per i modelli studiati si analizzeranno le differenze di prestazioni in funzione delle orientazioni studiate, si sono considerate tre località di riferimento : Roma, Golden (Colorado) e Torino.

Si sceglieranno i cinque modelli con prestazioni migliori, sia per i modelli di previsione sull'orizzontale che sul piano inclinato.

Individuati i modelli si procederà all'accoppiamento fra quelli scelti nelle due categorie, ponendo in ingresso al modello di previsione sul piano inclinato la radiazione sull'orizzontale ottenuta dal corrispondente modello scelto in precedenza.

Si otterranno quindi 25 combinazioni di cui valutare il comportamento complessivo rispetto ai dati sperimentali disponibili evidenziano le prestazioni migliori e le peggiori.

Si procederà quindi con la simulazione dell'edificio mediante il programma di simulazione dinamica degli edifici TRNSYS per tutte le 25 combinazioni di modelli.

Le simulazioni appena descritte forniranno in uscita i dati orari, mensili e annuali per tutte combinazioni studiate.

Con i dati disponibili dalle simulazioni è possibile operare un confronto fra le varie combinazioni e un accoppiamento di riferimento (Erbs-Perez), scelto in base alle indicazioni del quadro normativo europeo (EN ISO 15927-1 :2004).

Un ulteriore aspetto che è stato trattato nel presente lavoro è l'incidenza degli ostacoli orografici sulla previsione della radiazione, e sugli scambi energetici attraverso le pareti studiate nella località di Trento.

INTRODUZIONE

Nell'ambito della valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici è necessario stimare i flussi termici per trasmissione attraverso le pareti dell'involucro edilizio.

Risulta importante la definizione delle condizioni al contorno dell'ambiente confinato e di quello esterno, che dipendono dalla temperatura dell'aria, dalle dispersioni infrarosse verso la volta celeste e dalla radiazione solare incidente sulla superficie della parete.

Mentre le prime due grandezze sono facilmente stimabili per le varie località grazie a modelli di derivazione empirica e alla grande mole di dati misurata, i profili di radiazione sulle varie pareti nelle diverse località sono raramente disponibili.

Generalmente, le rilevazioni sperimentali di radiazione solare sono effettuate per un piano orizzontale e, in Italia, sono disponibili in genere solo per le località capoluogo di provincia, fornite spesso come dato medio annuale o mensile. I dati orari sono più rari, in quanto richiedono campagne di misura di diversi anni e un'analisi statistica per ricavare i profili rappresentativi. La misura, inoltre, è quasi sempre di natura globale, senza distinzione tra le componenti diretta e diffusa.

Per i dati sperimentali di radiazione su piano inclinato la situazione risulta addirittura peggiore le rilevazioni sono molto rare e i dati sono di difficile reperibilità.

Vista la scarsità di dati sperimentali diffusi per il territorio, risulta indispensabile ricorrere all'impiego di modelli di previsione per la ripartizione della radiazione globale orizzontale nelle sue componenti diretta e diffusa e il calcolo su piani inclinati nelle varie orientazioni.

Quanto detto assume maggior rilievo se si considerano le località montane per le quali generalmente non sono disponibili dati sperimentali e dove persistono condizioni molto diverse per la presenza di ostacoli orografici che di fatto modificano il profilo di radiazione orario.

Lo studio dei vari modelli di elaborazione della radiazione solare risulta quindi fondamentale nella valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici, in particolare per quel che riguarda il comportamento delle pareti opache o con elementi vetrati.

CAPITOLO 1 :

Nozioni astronomiche e geometriche e cenni sulla radiazione solare

Si procederà di seguito ad una breve trattazione di alcune relazioni astronomiche e geometriche indispensabili e introduttive all'intero lavoro, dedicando inoltre un breve richiamo circa le caratteristiche fondamentali della radiazione solare.

1.1.Nomenclatura

Si riporta nella sottostante tabella la nomenclatura relativa al capitolo 1.

E	Energia irradiata dal sole	[W]
I_0	Radiazione globale extraterrestre	$\frac{[W]}{[m^2]}$
d	Distanza	[km]
d_m	Distanza media corrispondente al semiasse maggiore dell'ellisse orbitale pari a circa 149.597.890 km (± 500 km).	[km]
C	Costante solare C = 1367	$\frac{[W]}{[m^2]}$
D_n	(Day number) numero di giorni trascorsi dall'inizio dell'anno solare alla data considerata	
ε_0	Eccentricità dell'orbita	
E_{oT}	Equazione del tempo	[min]
Γ	Anno frazionato.	
δ	Declinazione solare	[°]

CAPITOLO 1

AST	Ora solare apparente(apparent solar time).	[h]
LCT	Ora civile locale (local civil time)	[h]
LSM	Longitudine del meridiano locale (longitude standard meridian)	[°]
LONG	Longitudine della località	[°]
γ_s	Azimuth solare ossia la deviazione angolare della proiezione della radiazione solare sul piano orizzontale rispetto alla direzione sud assume valori positivi a verso sud est viceversa negativi	[°]
α_s	Altezza solare	[°]
θ_z	Zenith solare, angolo tra la normale al piano orizzontale e la congiungente con il sole	[°]
Φ	Latitudine	[°]
ω	angolo orario definito come distanza angolare del sole dalla sua posizione a mezzogiorno lungo la sua traiettoria apparente lungo la volta celeste, positivo al mattino e negativo il pomeriggio	[°]
w_s	Angolo di alba e tramonto corrispondente all'angolo orario nelle condizioni d'alba e tramonto $\alpha_s = 0$	[°]
N_d	Durata del giorno	[h]
γ	Azimuth della superficie rispetto alla direzione sud positivo verso est e negativo verso ovest nell'emisfero boreale viceversa nell'emisfero australe ;se $(\gamma_s - \gamma) < -90^\circ$ o $> 90^\circ$ tale superficie è in ombra	[°]
ϑ	Inclinazione del sole rispetto alla normale alla superficie orizzontale	[°]

1.2.Moto di rivoluzione e radiazione globale extraterrestre

Il sole è una delle numerose stelle della nostra galassia la Via Lattea.

Esso possiede un moto di rivoluzione attorno alla galassia di periodo stimabile attorno ai 200.000 anni inoltre un moto di rotazione attorno al proprio asse con velocità angolare massima in corrispondenza del proprio equatore .

Il sole è una stella di media grandezza ed età classificata come una nana rossa. Attorno ad esso gravitano numerosi pianeti di varie dimensioni fra cui la terra,; questi costituiscono il sistema solare.

Possiede una struttura interna complessa e stratificata con densità pressioni e temperature diverse,. Nel suo complesso, il sole si può considerare come una sfera di caratteristiche seguenti :

Raggio solare $R_s = 669.000 \text{ km}$

Volume solare $V_s = 1,41 \cdot 10^{18} \text{ km}^3$

Massa solare $M_s = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Densità media $\bar{\rho}_s = 1410 \text{ kg/m}^3$

Sotto l'aspetto chimico il sole è un corpo sferico gassoso composto dal 70% da idrogeno, 29% elio e 1% altri elementi (azoto ossigeno carbonio ecc..).

Negli strati interni è sede di una continue reazioni termonucleari su larga scala.

In sostanza gli atomi di idrogeno fondono in elio con conseguente sviluppo di energia il 90% della quale si sviluppa nel nucleo dal quale per conduzione convezione e irraggiamento giungono agli strati esterni dove le pressioni e le temperature non permettono invece tali fusioni nucleari.

Successivamente l'energia prodotta si propaga nello spazio circostante sotto forma di radiazioni elettromagnetiche che per buona misura cadono nei campi della luce visibile e dell'infrarosso.

Si ipotizzi infatti una distribuzione sferica dell'energia.

CAPITOLO 1

Il flusso sarà :

$$I_0 = \frac{E}{4\pi r d^2} \tag{1.1}$$

Il flusso energetico che dal sole arriva in un punto qualsiasi dell'universo è diretta funzione della distanza del punto stesso.

Si consideri che la distanza media terra sole è definita come 1 unità astronomica o Armstrong (1UA) pari a circa di 149 597 870,691 [km].

Detta distanza non è costante a causa dell'orbita terrestre che risulta ellittica e il sole giace approssimativamente in uno dei due fuochi.

L'eccentricità dell'orbita influenza la distanza terra-sole, quindi i flussi energetici.

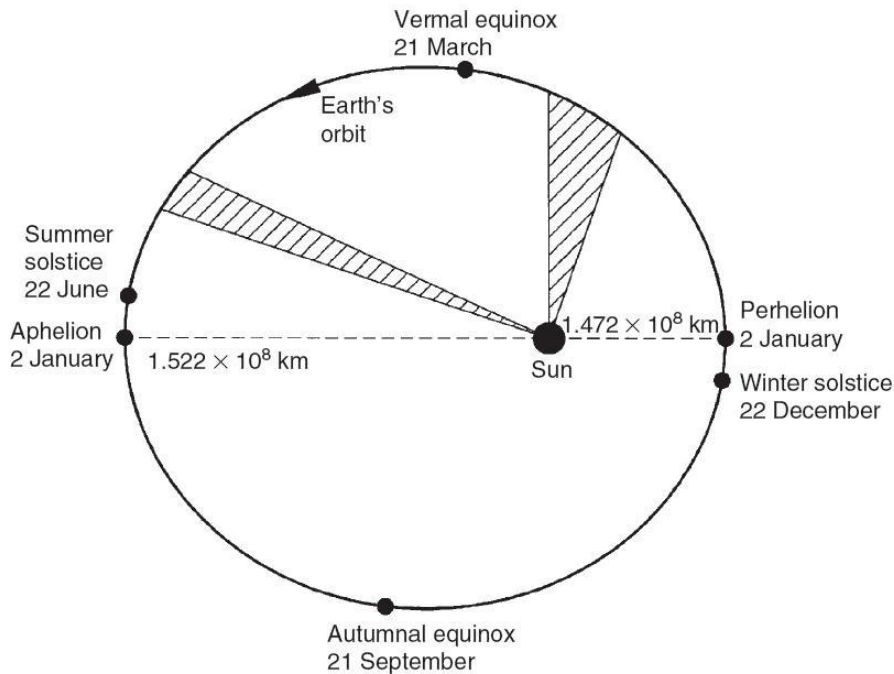


Figura 1.1 Orbita ellittica del moto di rivoluzione terrestre.

Solar radiation and daylight model p.5

L'orbita terrestre ha un eccentricità molto modesta essa è espressa dalla relazione approssimata di Duffie e Beckman che ricava l'eccentricità dell'orbita ϵ_0 :

$$\epsilon_0 = \left(\frac{d_m}{d}\right)^2 = 1 + 0,033 \cos\left(2\pi \frac{D_n}{365}\right) \tag{1.2}$$

Il flusso radioattivo prima dell'ingresso in atmosfera è detto radiazione globale extraterrestre.

Il valore di questa grandezza calcolata ad una distanza media

$d_m = 1 \text{ UA} = 149\,597\,870.691 \text{ km}$ è detta costante solare C e vale :

$$C = 1367 \frac{W}{m^2} (\pm 1 \% \text{ secondo le stime di Fröhlich})$$

La radiazione globale extraterrestre risulta direttamente proporzionale alla distanza e quindi all'eccentricità secondo la l'espressione :

$$I_0 = \varepsilon_0 C \tag{1.3}$$

Il valore della radiazione globale extraterrestre varia da un massimo di $1413 \frac{W}{m^2}$ in corrispondenza dell'afelio al 2 di gennaio ad un minimo durante il perielio al 4 luglio di $1322 \frac{W}{m^2}$.

In figura 1.2 si riporta l'andamento della radiazione solare extraterrestre durante l'anno.

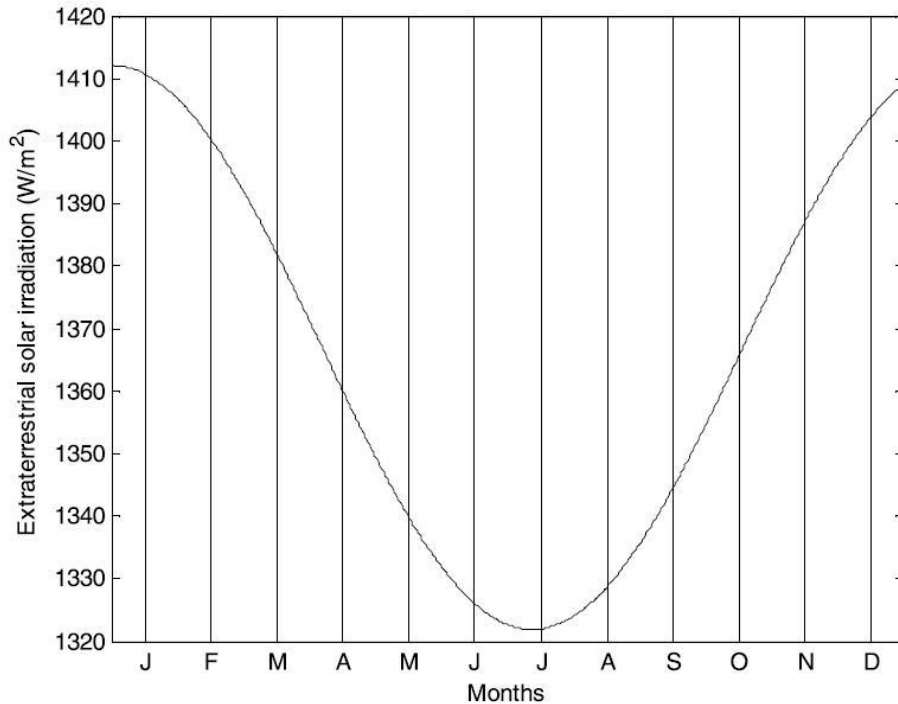


Figura 1.2 Radiazione globale extraterrestre durante l'anno.

Springer - Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques - Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy – 2008; p.67.

CAPITOLO 1

Si ricorda che detti valori sono la media pesata di ogni singolo contributo in frequenza in quanto ogni lunghezza d'onda da un contributo energetico diverso, la tabella fornisce un'idea di massima circa i singoli apporti.

Energia [%]	λ [μm]
1,2	< 0,3
95,0	0,3 – 2,4
3,6	> 2,4

Tabella 1.1 Suddivisione energetica in funzione della lunghezza d'onda.

Universita' degli studi di Palermo, facolta' di ingegneria, dipartimento di ricerche energetiche ed ambientali.

“Radiazione solare, percorsi solari, ombre portate” p.6, a cura di Maria La Gennusa.

1.3. Il giorno solare, l'equazione del tempo e l'ora solare apparente

Il giorno solare è l'intervallo temporale tra due passaggi del centro del sole su di un meridiano locale.

Esso non corrisponde al giorno standard di 24 ore ma risulta variabile durante l'anno.

I motivi principali di tale fenomeno sono due :

- la declinazione tra il piano contenente l'equatore e il piano dell'eclittica (il piano contenente la traiettoria del moto di rivoluzione terrestre);
- l'orbita è ellittica (l'angolo percorso dal vettore terra sole in un determinato arco temporale non è costante e quindi nemmeno la velocità angolare di rivoluzione della terra).

Per questo il tempo standard differisce dal tempo solare di un certo valore .

L'equazione del tempo EOT (equation of time) ricava questo salto temporale. in funzione dell'angolo del vettore terra sole(Γ) in un determinato giorno dell'anno (D_n).

L'equazione di Spencer(1972) assume la forma :

$$E_{oT} = 229,18(0,00007 + 0,001868 \cos \Gamma - 0,032077 \sin 2\Gamma - 0,014615 \cos \Gamma - 0,04089 \sin 2\Gamma) \quad (1.4)$$

$$\Gamma = \frac{360(D_n)}{365.242} \quad (1.5)$$

La rappresentazione grafica di detta equazione durante l'anno è detta analemma.

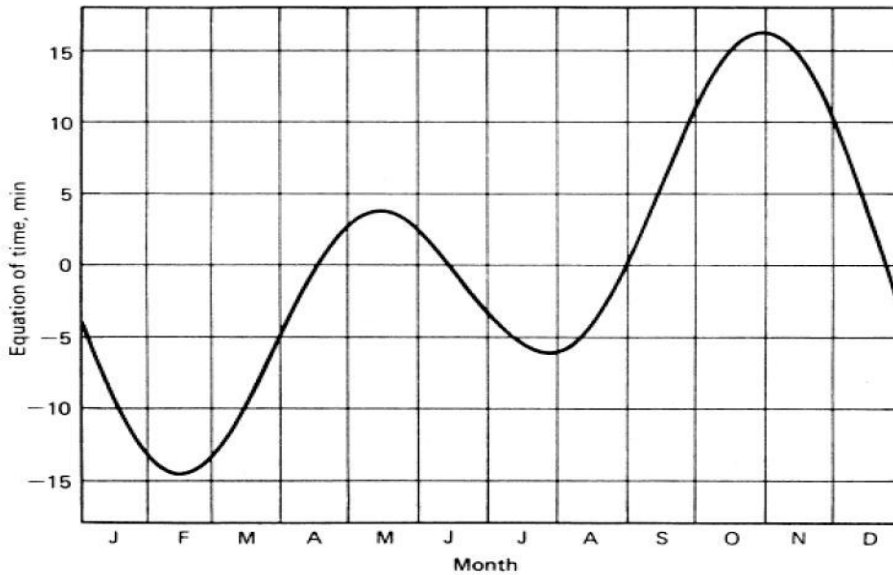


Figura 1.3 Analemma.

Università degli studi di Palermo, facoltà di ingegneria, dipartimento di ricerche energetiche ed ambientali.

“Radiazione solare, percorsi solari, ombre portate “,p.18 a cura di Maria La Gennusa.

L'ora standard locale LCT (local civil time) non coincide con l'ora solare effettiva o apparente AST (apparent solar time).

Detta differenza è dovuta a :

- differenza di longitudine della località LONG e quella del meridiano locale di riferimento LSM (local standard meridian)
- l'arco temporale espresso dall'equazione del tempo EOT(equation of time)

Quindi l'ora solare apparente è da considerarsi come somma dell'ora standard locale, dell'equazione del tempo e della differenza di longitudine secondo la relazione :

$$AST = standard\ time\ (LCT) + EOT \pm [(LSM - LONG)/15] \quad (1.6)$$

CAPITOLO 1

Con l'ultimo termine positivo se la località giace ad est del meridiano di riferimento e viceversa.

Il valore 15° rappresenta un'approssimazione della velocità angolare del sole nel suo moto apparente attraverso la volta celeste in cui compie 360° in 24 ore, cioè mediamente $15 \frac{^\circ}{h}$.

A titolo illustrativo si riportano i vari fusi orari esistenti riferiti al tempo standard (LCT), Si ricorda inoltre che il meridiano di riferimento per l'Italia è il meridiano A (+1) con un'ora standard aumentata di un'ora rispetto al meridiano (0).

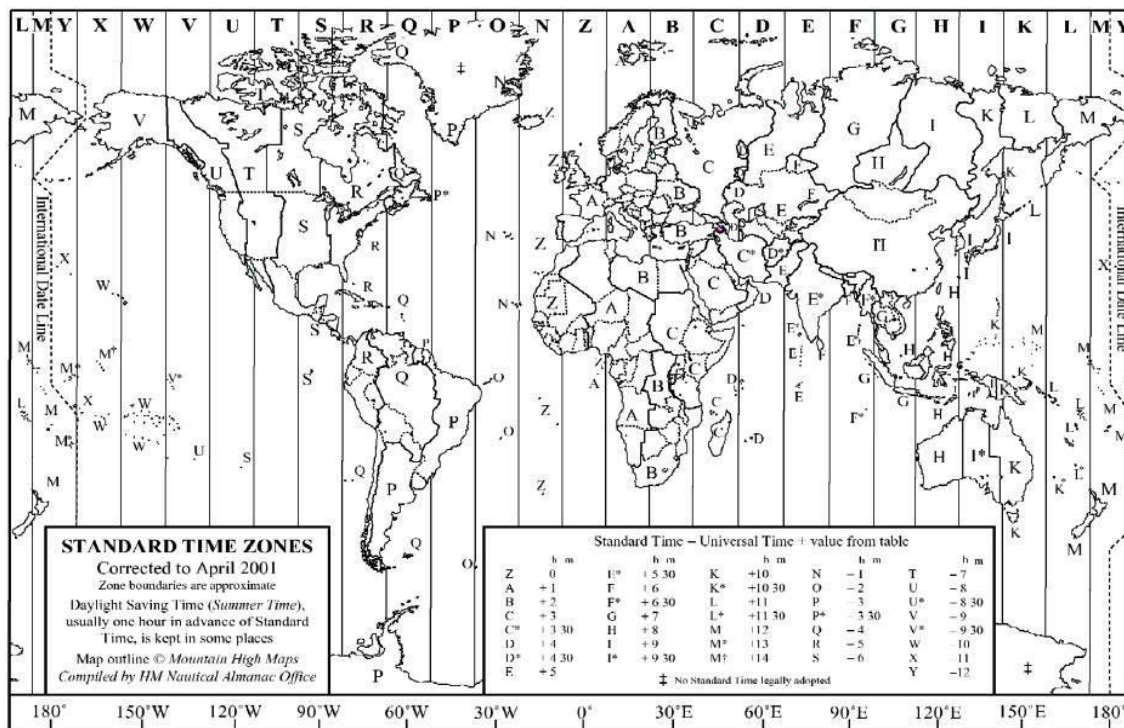


Figura 1.4 Fusi orari.

Università degli studi di Palermo, facoltà di ingegneria, dipartimento di ricerche energetiche ed ambientali.

“Radiazione solare, percorsi solari, ombre portate “.p.20 a cura di Maria La Gennusa.

1.4.La declinazione solare

Il piano equatoriale e l'eclittica ossia il piano dell'orbita di rivoluzione della terra sono inclinati tra loro di un angolo chiamato declinazione δ .

La declinazione vale : $\delta=23.45^\circ$ il valore risulta variabile durante l'anno a causa del moto di rivoluzione terrestre.

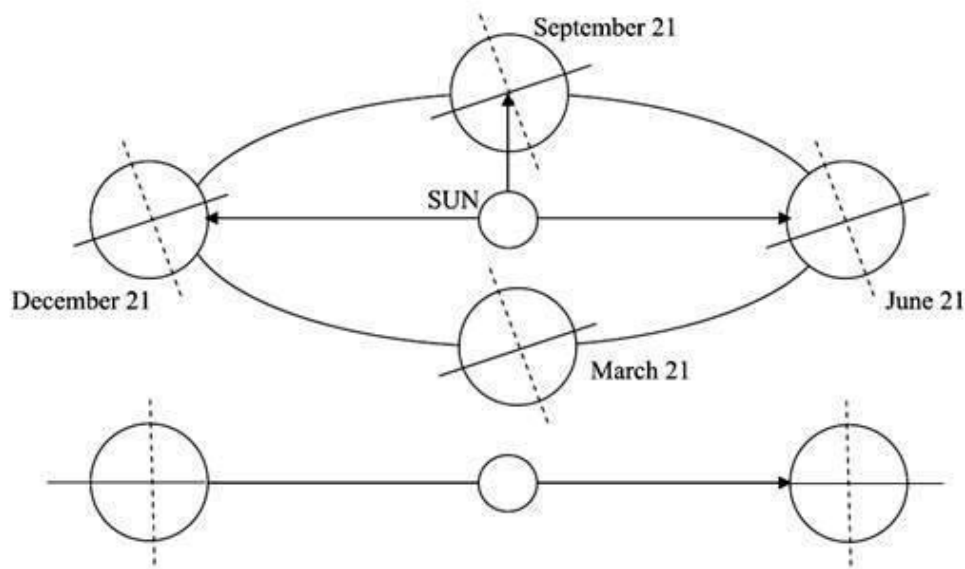


Figura 1.5 Declinazione durante l'anno.

Springer - Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques - Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy – 2008,p.58.

La variabilità di questo parametro causa il susseguirsi delle stagioni, in cui l'irraggiamento giornaliero varia a causa di :

- una differente durata del giorno nell'arco dell'anno.
- una diversa percentuale di radiazione incidente a scapito di quella riflessa nello spazio dall'atmosfera.

Il valore della declinazione si può esprimere mediante l'equazione di Cooper(1986)

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360(284+D_n)}{365} \right] \quad (1.7)$$

CAPITOLO 1

O mediante la relazione di Spencer (1972)

$$\delta = 0,006918 - 0,399912 \cos \Gamma + 0,07257 \sin \Gamma - 0,006758 \cos 2\Gamma + 0,000907 \sin \Gamma - 0,002697 \cos 3\Gamma + 0,00148 \sin 3\Gamma \quad (1.8)$$

In alternativa si può considerare la declinazione come la posizione angolare del sole a mezzogiorno rispetto al piano equatoriale ne deriva la relazione :

$$\sin \delta = 0,39795 \cos[0,98563(D_n - 1)] \quad (1.9)$$

Esistono inoltre numerosi algoritmi molto più dettagliati come il metodo di Duffet e Smith (1988), Yallop (1992), fino ai metodi che prendono come riferimenti gli eventi astronomici.

Per i gli scopi di questa trattazione l'equazione di Cooper (1986) è più che soddisfacente in quanto fornisce un errore massimo di 3'.

Per il valore medio mensile della declinazione occorre utilizzare il giorno medio del mese ottenendo così una tabella di riferimento come fatto da Klein :

:

Tabella 1.2 Declinazione media mensile secondo Klein

Mese	<i>n</i> per l' <i>i</i> -esimo giorno del mese	Per il giorno medio del mese		
		Giorno del mese	<i>n</i> , giorno dell'anno	δ , declinazione
Gennaio	<i>i</i>	17	17	-20,9
Febbraio	31 + <i>i</i>	16	47	-13,0
Marzo	59 + <i>i</i>	16	75	-2,4
Aprile	90 + <i>i</i>	15	105	9,4
Maggio	120 + <i>i</i>	15	135	18,8
Gigno	151 + <i>i</i>	11	162	23,1
Luglio	181 + <i>i</i>	17	198	21,2
Agosto	212 + <i>i</i>	16	228	13,5
Settembre	243 + <i>i</i>	15	258	2,2
Ottobre	273 + <i>i</i>	15	288	-9,6
Novembre	304 + <i>i</i>	14	318	-18,9
Dicembre	334 + <i>i</i>	10	344	-23,0

Sviluppando l'equazione di Cooper si ottiene l'andamento della declinazione nell'arco dell'anno :

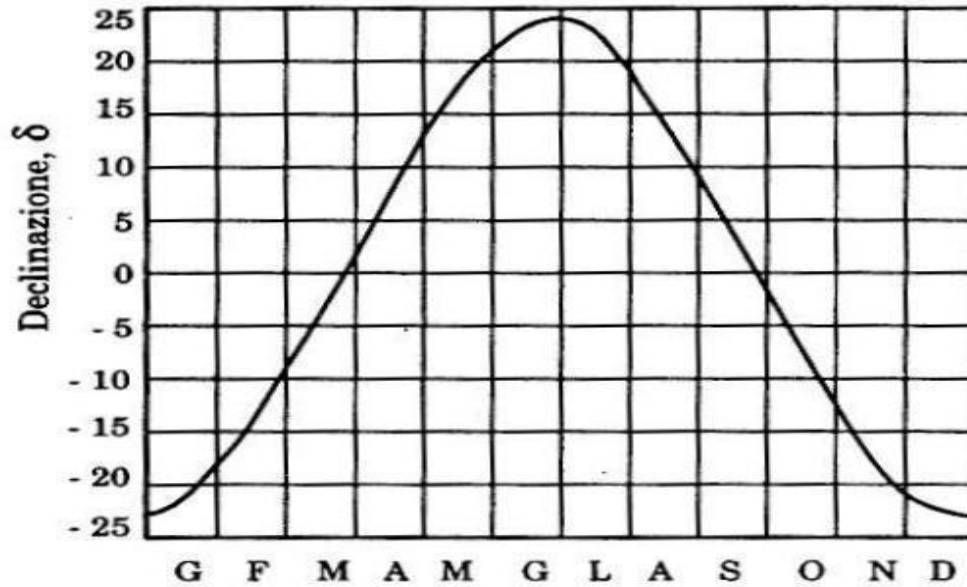


Figura 1.6 Andamento della declinazione durante l'anno.

Università degli studi di Palermo, facoltà di ingegneria, dipartimento di ricerche energetiche ed ambientali.

“Radiazione solare, percorsi solari, ombre portate “,p.16 a cura di Maria La Gennusa.

1.5. La geometria solare

La posizione del sole nel cielo può essere descritta dalle seguenti grandezze :

- L'azimut solare γ_s ossia l'angolo tra la proiezione sul piano orizzontale dei raggi solari e la direzione sud.

Esso è positivo se cade ad est del meridiano locale prima del mezzogiorno solare, negativo quando è a ovest del meridiano locale dopo il mezzogiorno solare, varia nel range $(0^\circ \pm 180^\circ)$.

- L'altezza solare α_s ossia l'angolo del sole con l'orizzonte.

- L'angolo zenitale θ_z definito come la distanza angolare tra la direzione dello zenit con la direzione dei raggi solari rispetto all'osservatore.

Si ricorda che lo zenit nel punto considerato è identificato dalla retta normale alla superficie orizzontale con la volta celeste

Esso varia tra $(0^\circ - 90^\circ)$.

In figura si da una rappresentazione di detti angoli :

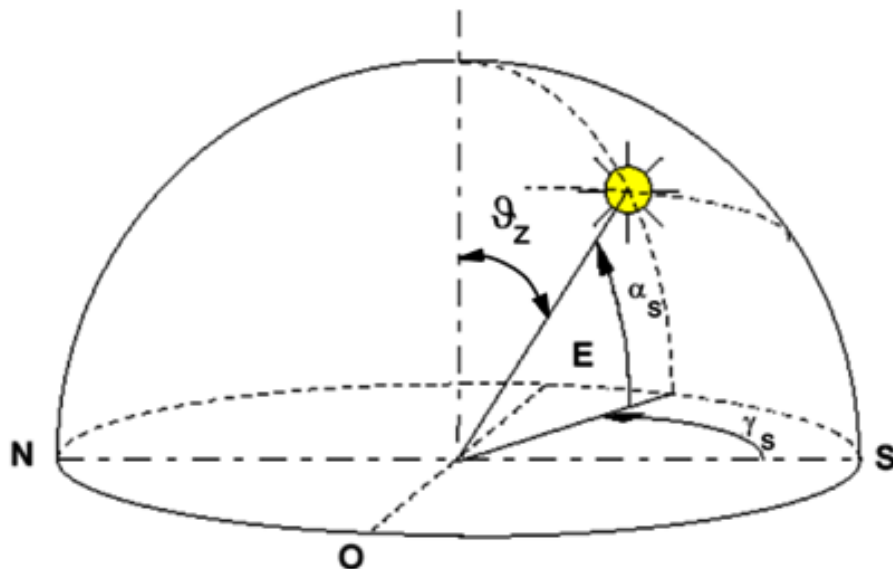


Figura 1.7 Geometria solare solare.

La posizione del sole in ogni giorno dell'anno può essere ricavato dalle seguenti relazioni trigonometriche :

$$\cos\theta_z = \text{sen}\alpha_s = \text{sen}\delta \text{sen}\phi + \text{cos}\delta \text{cos}\phi \text{cos}\omega \quad (1.10)$$

$$\alpha_s = \arcsen(\text{sen}\delta \text{sen}\phi + \text{cos}\delta \text{cos}\phi \text{cos}\omega) \quad (1.11)$$

$$\gamma_s = \arccos\left(\frac{\sin \alpha_s \sin \Phi - \sin \delta}{\cos \alpha \cos \Phi}\right) \quad (1.12)$$

$$\omega = 15 * (12 - \text{AST}) \quad (1.13)$$

In corrispondenza degli equinozi e dei solstizi il calcolo dell'altezza solare α_s si ricava geometricamente secondo le relazioni evidenziate graficamente nelle figure sottostanti.

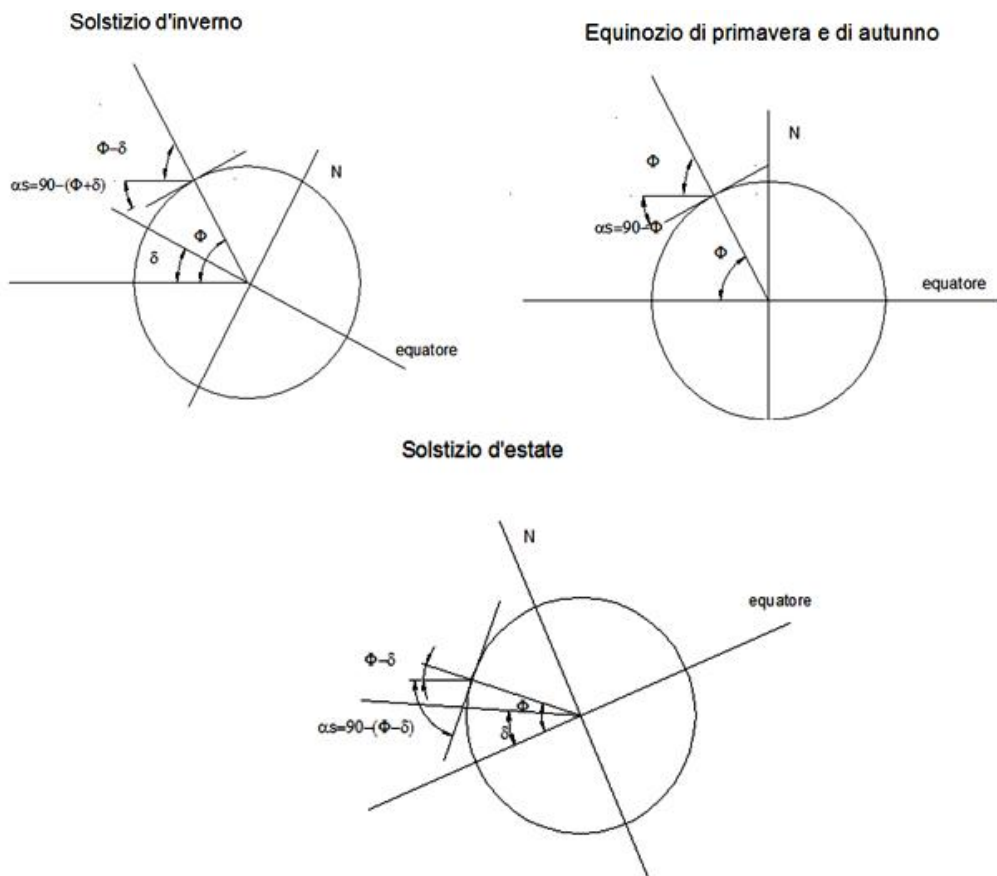


Figura 1.8 Altezza solare in corrispondenza degli equinozi e dei solstizi.

CAPITOLO 1

È possibile inoltre calcolare gli angoli di alba e tramonto w_s ossia il valore dell'angolo orario w in corrispondenza di alba e tramonto.

L'angolo orario d'alba differisce da quello di tramonto solo per il segno.

Imponendo $\theta_z = 90^\circ$, cioè $\alpha = 0$ ossia $\cos \theta_z$ nell'espressione già vista nei calcoli dell'altezza e dell'azimuth solare :

$$\cos \theta_z = \sin \alpha = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega = 0 \quad (1.14)$$

dalla quale si ricava :

$$\cos(w_s) = \frac{-\sin \delta \sin \phi}{\cos \delta \cos \phi} = -\tan \phi \tan \delta \quad (1.15)$$

$$w_s = \arccos(-\tan \phi \tan \delta) \quad (1.16)$$

La durata del giorno, ossia le effettive ore di luce N_d sono quindi proporzionali al doppio dell'angolo di alba o tramonto secondo la relazione :

$$N_d = \frac{2w_s}{15} \quad (1.17)$$

Da detta formula si possono fare alcune osservazioni :

- ai poli il sole non sorge mai d'inverno e non tramonta mai d'estate e non si può parlare di durata del giorno;
- all'equatore la durata del giorno è sempre di 12 ore ed è indipendente dalla variazione stagionale della declinazione solare in quanto $\Phi=0^\circ$; $w_s = 90^\circ$;
 $N_d = 12 = \text{costante}$;

agli equinozi la durata del giorno è di 12 ore e risulta indipendente dalla latitudine questo perchè $\delta = 0$; $w_s = 90^\circ$; $N_d = 12 = \text{costante}$

È interessante notare che l'azimuth solare trova dei limiti in funzione della latitudini :

$$23,45^\circ < \Phi < 66,45^\circ \rightarrow -90^\circ < \gamma_s < 90^\circ \text{ nei giorni con meno di 12 ore di luce.}$$

Per i giorni con più di dodici ore di luce γ_s può superare $\pm 90^\circ$ quando il sole si trova a Nord della linea Est-Ovest nell'emisfero boreale e a sud della linea Ovest-est nell'emisfero australe.

Per latitudini tropicali γ_s può assumere qualsiasi valore a patto che :

- $\delta - \phi > 0$ (emisfero boreale)
- $\delta - \phi < 0$ (emisfero australe)

Per ogni latitudine esistono diagrammi che danno l'altezza e l'azimut solare in funzione del periodo dell'anno(ad esempio al 21° giorno di ogni mese) in coordinate cilindriche e polari.

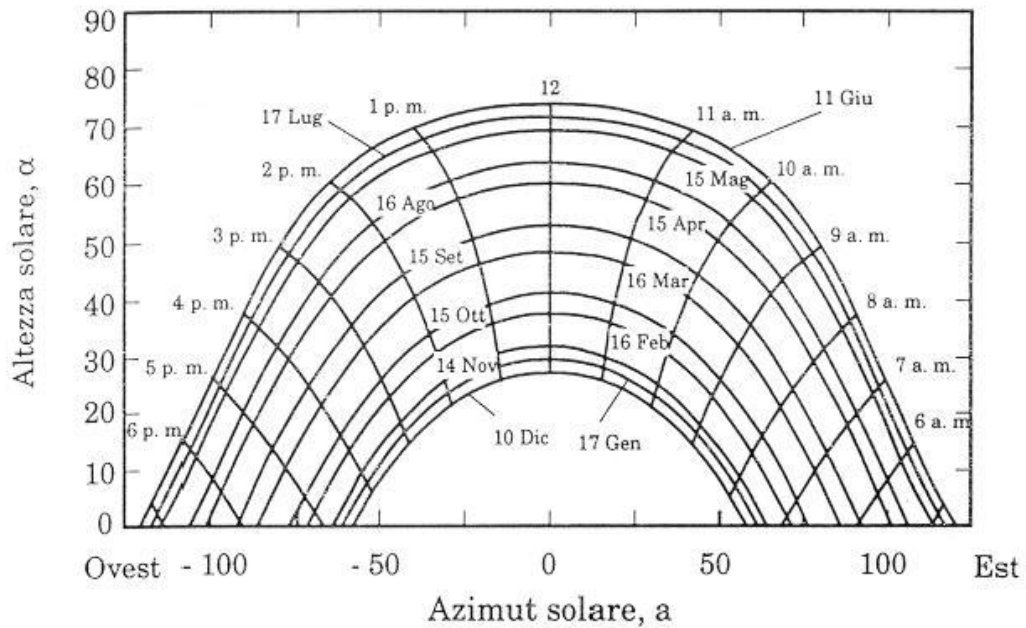


Figura 1.9 Diagramma solare in coordinate cilindriche per una latitudine di 40° N.

Università degli studi di Palermo, facoltà di ingegneria, dipartimento di ricerche energetiche ed ambientali.

“Radiazione solare, percorsi solari, ombre portate“, p.20 a cura di Maria La Gennusa.

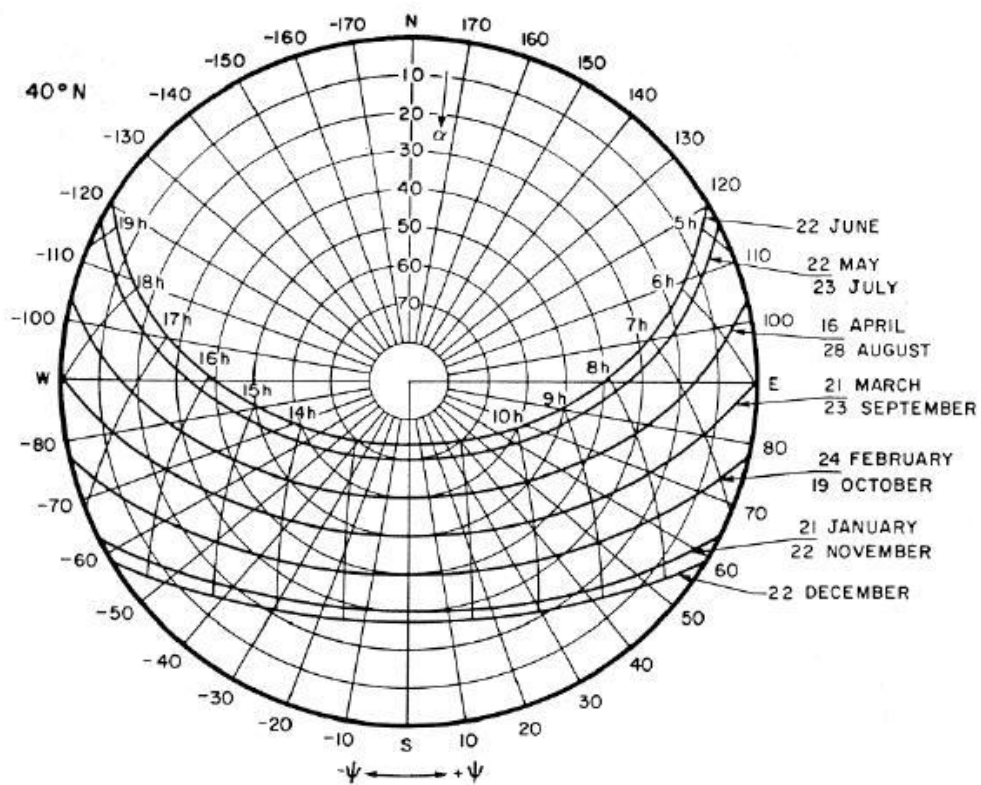


Figura 1.10 Diagramma solare in coordinate polari per una latitudine di 40 ° N.

Università degli studi di Palermo, facoltà di ingegneria, dipartimento di ricerche energetiche ed ambientali.

“Radiazione solare, percorsi solari, ombre portate“, p.20 a cura di Maria La Gennusa.

1.6. Relazioni angolari di una superficie rivolta verso sud

Si consideri una superficie inclinata di un angolo β e rivolta verso sud.

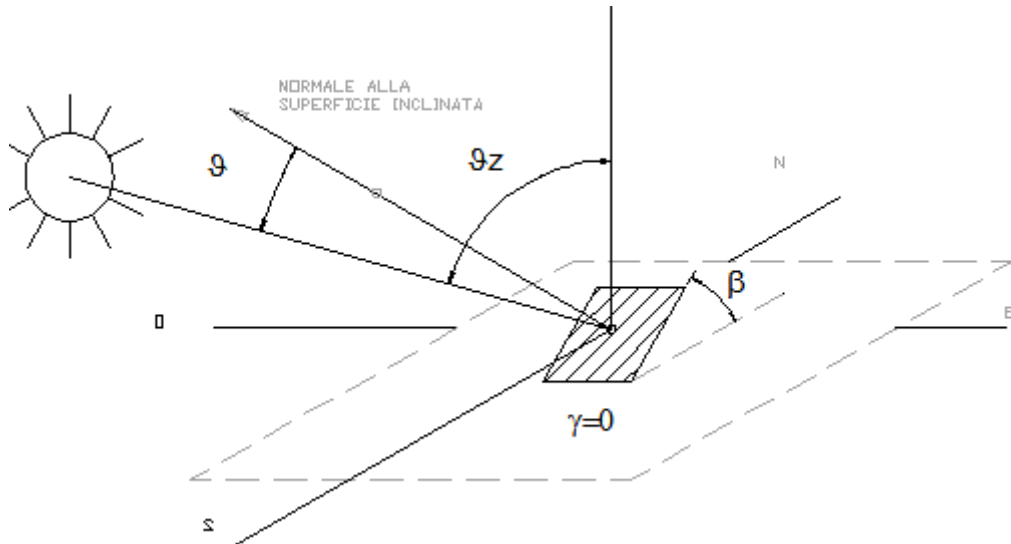


Figura 1.11 Superficie inclinata rivolta verso sud.

Per detta superficie, l'angolo azimutale θ si può considerare uguale all'angolo azimutale del sole θ_z di una località avente latitudine $\Phi - \beta$.

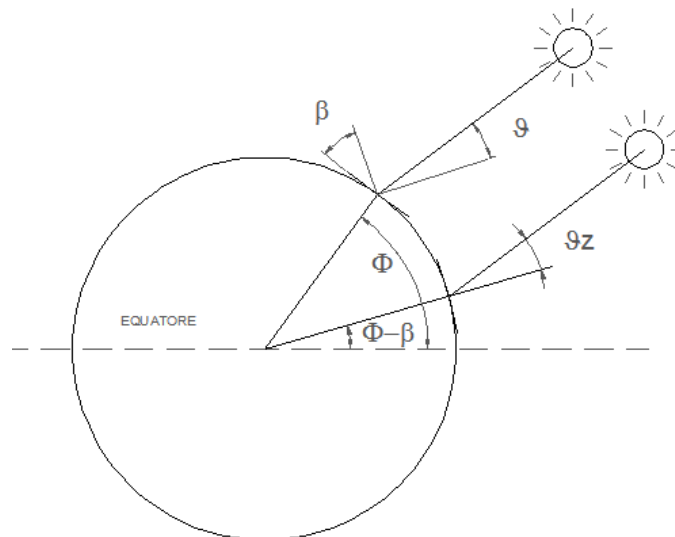


Figura 1.12 Corrispondenza angolare tra una superficie inclinata a latitudine Φ e una piana a latitudine $\Phi - \beta$.

CAPITOLO 1

Per detta località valgono le relazioni già espresse nel calcolo di θ_z

$$\cos \theta = \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen}(\Phi - \beta) + \cos \delta \cos(\Phi - \beta) \cos \omega \quad (1.18)$$

imponendo $\theta_z = 0$ si ricavano gli angoli di alba e tramonto legati alla superficie inclinata w'_s

$$\cos(w'_s) = \frac{-\operatorname{sen} \delta \operatorname{sen}(\Phi - \beta)}{\cos \delta \cos(\Phi - \beta)} = -\tan(\Phi - \beta) \tan \delta \quad (1.19)$$

$$w'_s = \arccos(-\tan(\Phi - \beta) \tan \delta) \quad (1.20)$$

Da qui si possono trarre le seguenti conclusioni analoghe a quanto già detto per gli angoli di alba e tramonto :

All'equinozio la declinazione δ è nulla e w'_s angolo di alba e tramonto rispetto alla superficie risulta indipendente dalla latitudine Φ e dall'inclinazione della superficie β .

Nell'emisfero boreale in estate il sole sorge prima su un piano orizzontale che su uno inclinato rivolto verso sud in quanto $\delta > 0$ $w_s > w'_s$ mentre d'inverno $\delta < 0$ ma non ha senso fisico scrivere $w_s < w'_s$ perciò si ricorre alla seguente espressione :

$$w'_s = \min[w_s; \arccos[-\tan(\Phi - \beta) \tan \delta]] \quad (1.21)$$

1.7. Relazioni geometriche di superfici arbitrariamente orientate rispetto al meridiano locale

Si consideri una superficie arbitrariamente orientata di un angolo γ rispetto al meridiano locale.

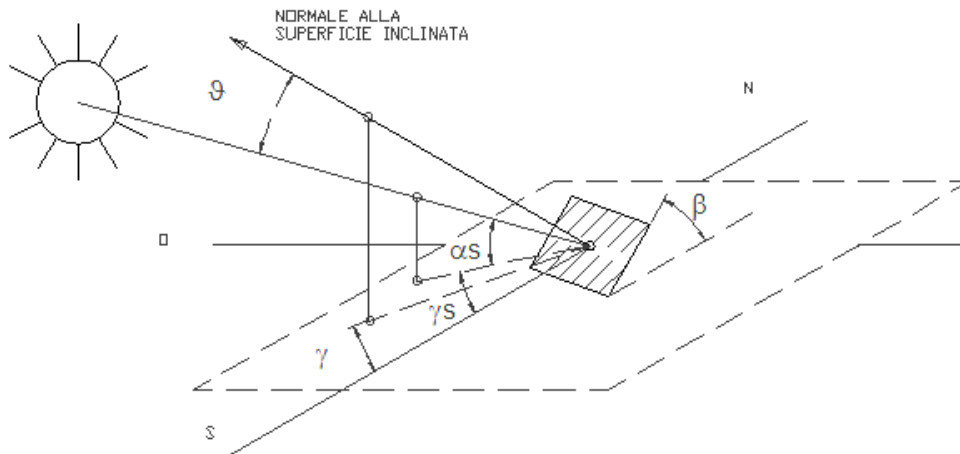


Figura 1.13 Superficie arbitrariamente inclinata rispetto al meridiano locale.

La relazione di Benrod e Block fornisce una relazione per l'angolo di incidenza θ per una superficie comunque orientata ossia con azimuth superficiale $\gamma \neq 0$.

$$\begin{aligned} \cos\theta = & [\sin\phi \cos\beta - \cos\phi \sin\beta \cos\gamma] \sin\delta + [\cos\phi \cos\beta + \sin\phi \sin\beta \cos\gamma] \cos\delta \cos w \\ & + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin w \end{aligned} \quad (1.22)$$

Per $\gamma = 0$, $\beta = 0$ si ritorna alla (1.18).

Per i piani verticali ($\beta = 90^\circ$) l'equazione diventa :

$$\cos\theta = -\cos\phi \cos\gamma \sin\delta + \sin\phi \cos\gamma \cos\delta \cos w + \cos\delta \sin\gamma \sin w \quad (1.23)$$

CAPITOLO 1

Gli angoli di alba e tramonto per una superficie casualmente orientata non sono uguali il loro calcolo è funzione γ ossia di come è orientata la superficie se verso est o verso ovest.

Tenendo conto che gli angoli di alba e tramonto di una superficie inclinata non possono mai superare quella dell'orizzontale si può scrivere :

- $\gamma > 0$ (superfici rivolte a est)

$$w''_{sa} = \min \left[w_s, \arccos \left(\frac{-xy - \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \right] \quad (1.24)$$

$$w''_{st} = \min \left[w_t, \arccos \left(\frac{-xy + \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \right] \quad (1.25)$$

- $\gamma < 0$ (superfici rivolte a ovest)

$$w''_{sa} = \min \left[w_t, \arccos \left(\frac{-xy + \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \right] \quad (1.26)$$

$$w''_{st} = \min \left[w_s, \arccos \left(\frac{-xy - \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \right] \quad (1.27)$$

Con :

$$x = \frac{\cos \phi}{\sin \gamma \tan \beta} + \frac{\sin \phi}{\tan \gamma} \quad (1.28)$$

$$y = \tan \delta \left[\frac{\sin \phi}{\sin \gamma \tan \beta} + \frac{\cos \phi}{\tan \gamma} \right] \quad (1.29)$$

Gli angoli di alba e tramonto (w_s, w_t) si ricavano imponendo sull'orizzontale ricavati imponendo $\beta = 0$ nelle formule precedenti.

La differenza degli angoli di alba e tramonto rispetto alla superficie arbitrariamente orientata ci fornisce l'angolo solido che il vettore (sole – superficie) percorre durante il giorno e da questo si ricava il tempo durante il quale la superficie è irraggiata dal sole ossia la durata del giorno per la superficie inclinata N'_d .

$$N'_d = \frac{w''_{sa} - w''_{st}}{15} \quad (1.30)$$

1.8.Generalità sulla radiazione solare

La radiazione globale extraterrestre che dal sole arriva all'esterno dell'atmosfera ha uno spettro di emissione, ossia una distribuzione in frequenza dell'energia, variabile nel tempo a causa dei fenomeni che avvengono in corrispondenza della superficie solare,. La sua condizione media risulta paragonabile a quella di un corpo nero a circa 6000 K.

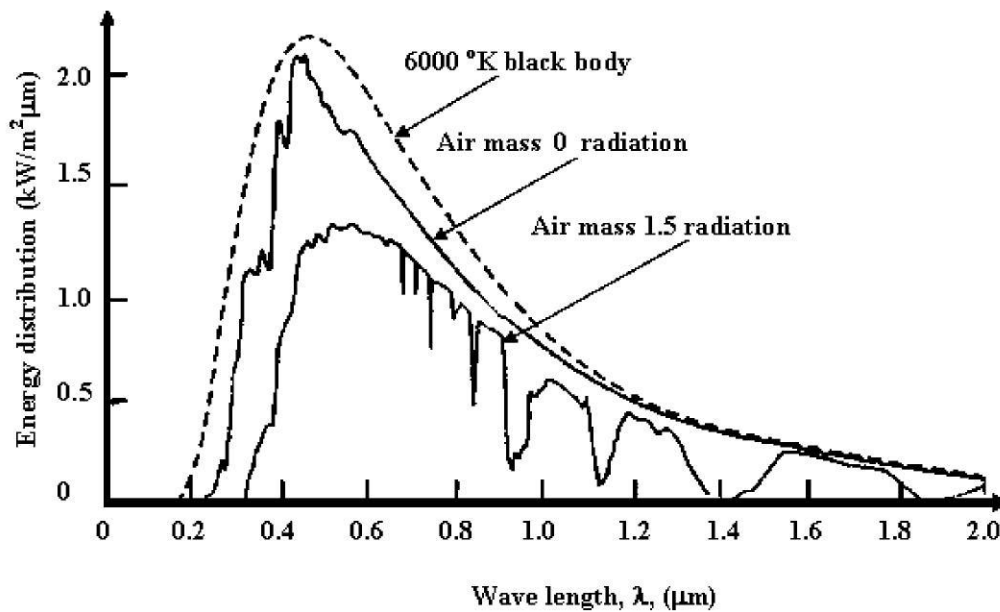


Figura 1.14 Confronto tra spettro d'emissione del corpo nero a 6000° K con lo spettro effettivo della radiazione solare extraterrestre e con la radiazione a livello del suolo.

Springer - Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques - Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy – 2008, p.64.

Ovviamente non tutta la radiazione globale extraterrestre giunge al suolo infatti la presenza dell'atmosfera terrestre causa tre fenomeni :

- assorbimento
- riflessione
- scattering (sparpagliamento) con la conseguente generazione di radiazione diffusa

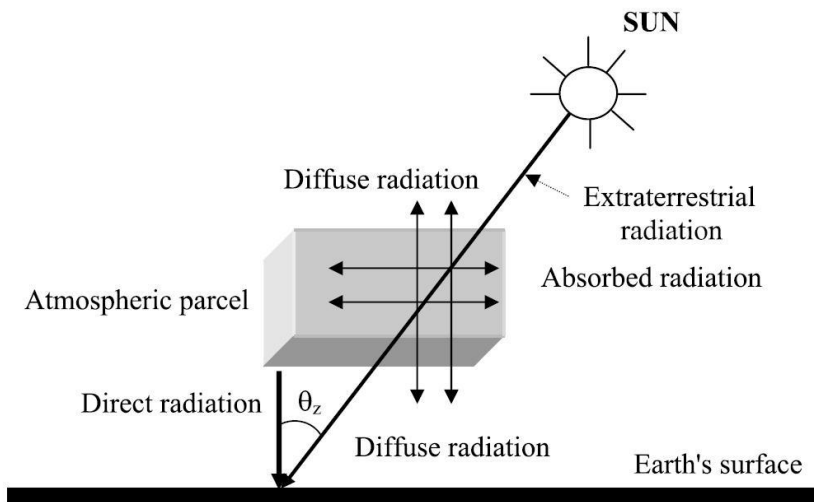


Figura 1.15 Assorbimento, riflessione e sparpagliamento della radiazione globale.
Springer - Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques - Atmosphere,
Environment, Climate Change and Renewable Energy – 2008,p.68.

Per avere un'idea fisica del fenomeno i dati misurati su lungo periodo si considerano 100 unità di energia l'atmosfera causerà la seguente suddivisione :

- 20 riflesse dalle nubi verso lo spazio;
- riflesse dal terreno;
- sparpagliate dall'atmosfera;
- 51 assorbite dal terreno (ed emesse sotto forma di radiazione infrarossa).

La causa dell'attenuazione e da ricondursi a :

- gas costituenti l'atmosfera (vapore acqueo, ossidi di azoto, ossigeno, anidride carbonica, metano, ozono, solfati, ecc ...) i quali assorbono parte della radiazione e la trasformano in energia termica (campo infrarosso) mentre parte viene sparpagliata dalle molecole d'aria (campo ultravioletto) generando radiazione diffusa e il colore azzurro del cielo.
- copertura nuvolosa formata da particelle di ghiaccio in sospensione che riflettono una parte della radiazione nell'universo mentre una parte la sparpagliano sotto forma di radiazione diffusa (nel color grigio).
- Aerosol di polveri di varia origine i quali sparpagliano la radiazione nella componente diffusa.
-

In generale se l'ordine di grandezza della particella in sospensione è uguale a quella della lunghezza d'onda allora il fenomeno è conosciuto come sparpagliamento molecolare (Mie scattering) se invece la particella è più piccola si parla di sparpagliamento dovuto alle polveri (Rayleigh scattering).

1.9.L'attenuazione in condizioni di cielo sereno e la massa ottica dell'aria

Si considerino le condizioni di cielo sereno come completamente esente da nubi .

Il parametro massa d'aria valuta l'attenuazione legata ai gas atmosferici e alle polveri che è direttamente legata al numero di particelle presenti nel percorso della radiazione all'interno dell'atmosfera secondo la relazione.

$$m_a = \int_0^{\infty} \rho(d)d_d \quad (1.31)$$

Con

- $\rho(d)$ = densità dei gas atmosferici in funzione della distanza dal suolo.
- m_a = massa ottica effettiva
- d_d = distanza dal suolo

Se si considera la massa ottica con il sole allo zenit :

$$m_z = \int_0^{\infty} \rho(z)d_z \quad (1.32)$$

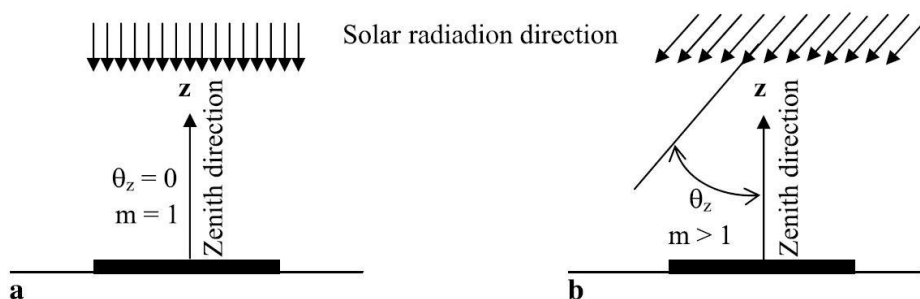


Figura 1.16 Massa ottica dell'aria allo zenit e con il sole in posizione generica.

CAPITOLO 1

Si può ricavare la massa ottica relativa come rapporto tra le due.

$$m = \frac{\int_0^\infty \rho(d) d d}{\int_0^\infty \rho(z) d z} \quad (1.33)$$

Inoltre bisogna tener conto dell'altitudine della località mediante la relazione :

$$m = \frac{P}{P_0} m_0 \quad (1.34)$$

Con m_0 P_0 il prodotto tra la massa ottica e la pressione atmosferica al livello del mare.

Frouin et al (1989) crearono una relazione che tenesse conto della rifrazione e della curvatura terrestre :

$$m = [\cos \theta_z + 0,15(93,885 - \theta_z)^{-1,253}]^{-1} \quad (1.35)$$

La massa ottica all'esterno dell'atmosfera ha un valore nullo mentre sulla superficie terrestre risulta variabile a seconda dello spessore atmosferico che la luce deve attraversare un valore medio rappresentativo è assimilabile con $m=1,5$.

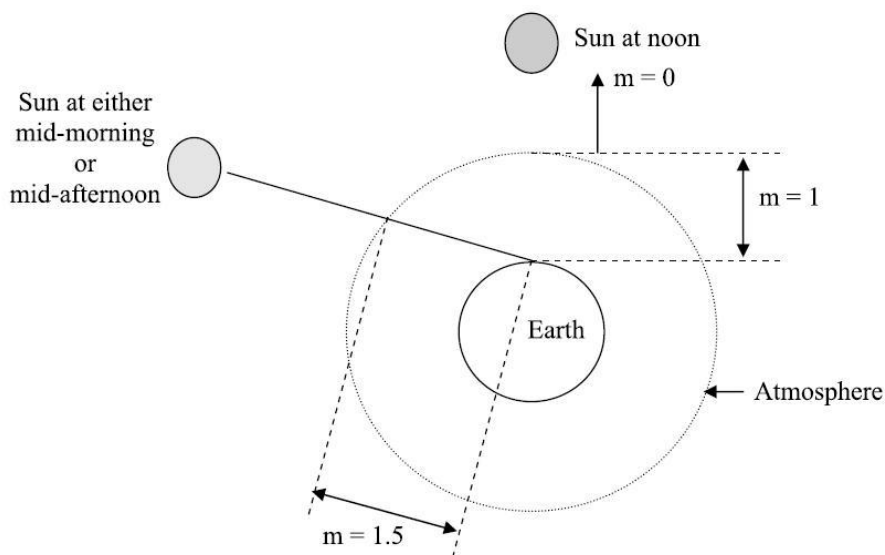


Figura 1.17 spessore del percorso atmosferico che la radiazione attraversa in funzione della posizione del sole.

Springer - Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques - Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy – 2008, p.65.

1.10.Bibliografia capitolo 1

[1] D.G Erbs et al. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly daily and monthly-average global radiation, Solar Energy, vol 28 (1982) , p. 293-302.

[2] Maria La Gennusa.(2007) Universita' degli studi di Palermo facolta' di ingegneria , dipartimento di ricerche energetiche ed ambientali.

Radiazione solare, percorsi solari, ombre portate.

[3] T Muneer.(2008) Solar Radiation and Daylight Models, Elsevier Butterworth Heineman, Oxford.

[4] UNI 8477-1, Energia solare - calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia – calcolo degli apporti ricevuti (1983).

[5] Zekai Sen. (2008) Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques - Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy, Springer –Verlag, London.

CAPITOLO 2 :

Modelli per la stima della radiazione diretta e diffusa su superfici orizzontali

I modelli analitici in via di trattazione permettono di scindere la radiazione globale su superfici orizzontali nelle frazioni diretta e diffusa .

Vi sono svariati modelli, che si possono distinguere sia per i parametri di valutazione utilizzati che per l'arco temporale con cui i dati in ingresso sono valutati.

Allo scopo di fornire un'idea complessiva dello stato dell'arte, si procederà con una breve trattazione panoramica e riassuntiva, riservando una maggior attenzione e completezza ai modelli di previsione oraria che utilizzano come parametro in ingresso l'indice di luminosità K_t .

Questo è dovuto al fatto che taluni modelli utilizzano parametri che richiedono rilevazioni sperimentali mentre i modelli che utilizzano l'indice di luminosità K_t non richiedono nessun parametro aggiuntivo.

2.1. Nomenclatura

I_0	Radiazione globale extraterrestre.	$\frac{[W]}{[m^2]}$
I_g	Radiazione globale sul piano orizzontale.	$\frac{[W]}{[m^2]}$
I_d	Radiazione diffusa sul piano orizzontale.	$\frac{[W]}{[m^2]}$
K_t	Indice di luminosità atmosferica rapporto tra la radiazione globale e l'extraterrestre. $K_t = \frac{I_g}{I_0}$	
K_d	Indice di nitidezza, rapporto tra la radiazione diffusa e la globale su un piano orizzontale $K_d = \frac{I_d}{I_g}$	

2.2. Panoramica sui modelli esistenti

Tutti i modelli matematici esistenti hanno lo scopo di valutare la radiazione diffusa, diretta sul piano orizzontale.

A seconda del campo di applicazione essi si possono dividere in :

- modelli di cielo sereno (clear sky);
- modelli meteorologici ;
- modelli basati sulla copertura nuvolosa;
- modelli di regressione, operanti mediante equazioni che forniscono l'indice di nitidezza del cielo K_d , rapporto tra frazione diffusa e radiazione globale $K_d = \frac{I_d}{I_g}$ in funzione dell'indice di luminosità K_t cioè il rapporto tra la radiazione globale e l'extraterrestre $K_t = \frac{I_g}{I_0}$.

Un ulteriore distinzione è dovuta all'arco temporale di riferimento :

- modelli mensili (valori medi mensili di dati orari o giornalieri)
- modelli giornalieri (valori medi giornalieri di dati orari);
- modelli orari (valori medi orari di dati riferiti al minuto);

Verrà fornita una breve descrizione delle tipologie esistenti :

- MODELLI CLEAR SKY

Valutano la radiazione diretta come funzione dell'altezza solare e della massa ottica dell'aria mentre la diffusa come funzione di un fattore di nuvolosità equivalente.

La radiazione globale è ottenuta come somma delle due componenti.

Un esempio è il modello di Page e Lebbens (1986)

- MODELLI BASATI SULLA COPERTURA NUVOLOSA

(cloud cover radiation model)

La maggior parte dei modelli in questione hanno lo scopo di valutare la radiazione globale note le condizioni di copertura nuvolosa.

I parametri di copertura nuvolosa presi in considerazione variano a seconda del modello si va dall'opacità delle nuvole ,, alle caratteristiche delle medesime ,; alcuni tengono conto anche della stagionalità e della latitudine ..

Si ricordano i modelli di Harwitz (1945), Lumb (1964), Parker (1971) ,, Kimura e Stephenson (1969), quest'ultimo alla base del modello ASHRAE (2002) .

Successivi studi di Kasten eCzeplak (1980) hanno portato a un modello per la valutazione della radiazione globale frazione diffusa in funzione della copertura nuvolosa .

- METODI METEREOLGICI

I modelli meteorologici MRM (meteorological radiation model) basano la previsione delle componenti diretta e diffusa su parametri meteorologici (pressione, temperatura di bulbo bagnato soleggiamento, ecc...)

Si possono distinguere modelli di mensili, giornalieri e orari, si possono inoltre distinguere :

metodi che valutano la radiazione globale rispetto all'extraterrestre in funzione della durata del soleggiamento.

Fra questi si ricordano :

- Angström (1924)
- Page (1961)
- Schulze(1976)
- Cowley(1978)

Metodi che attraverso la conoscenza di parametri meteorologici valutano la trasmittanza atmosferica riferita ai singoli costituenti dell'atmosfera ricavando la trasmittanza atmosferica globale e quindi la radiazione diretta.

CAPITOLO 2

Essi si distinguono in :

- Modelli per il cielo sereno , Dave (1979)
 - Modelli per il cielo coperto
 - Modelli per il cielo parzialmente nuvoloso, Muneer (1996)
-
- **MODELLI DI REGRESSIONE FRA L'INDICE DI LUMINOSITA' K_t E L'INDICE DI NITIDEZZA K_d .**

Sono metodi che valutano l'equazione di regressione di dati sperimentali fra

l'indice di luminosità $K_t = \frac{I_g}{I_0}$ (rapporto tra la radiazione globale al suolo e

l'extraterrestre) e $K_d = \frac{I_d}{I_g}$ (rapporto tra la radiazione diffusa e globale).

Fra questi si possono distinguere :

- **MODELLI BASATI SU DATI MEDI MENSILI**
 - Liu e Jordan(1960)
 - Page (1964)
 - Tuller (1976)
 - Iqbal(1979)
 - Hay(1979)
 - Collares-Pereira-Rabl (1979)
 - Spencer(1982)

- **MODELLI BASATI SU DATI MEDI GIORNALIERI**
 - Choudhury(1963)
 - Stanhill (1966)
 - Ruth e Chant (1976)
 - Collares-Pereira e Rabl(1979)
 - Tuller (1976)
 - Bartoli (1982)

Modelli per la stima della radiazione diretta e diffusa su superfici orizzontali

- METODI BASATI SU DATI MEDI ORARI
 - Boes(1975)
 - Orgill eHollands(1977)
 - Reindl (1990)
 - Bruno(1978)
 - Erbs(1982)
 - Boland (1984)
 - Boland (2001)
 - Miguel (2001)
 - Karatasou (2001)
 - Soares (2004)

Sarà riservata una trattazione approfondita ai metodi che relazionano K_t e K_d e sono basati sulla valutazione di dati orari.

Questo perché ai fini della valutazione delle prestazioni energetiche dell'involucro edilizio si andranno ad utilizzare i profili orari di radiazione.

Si analizzeranno e implementeranno i seguenti metodi :

- Orgill eHollands(1977)
- Reindl (1990)
- Erbs(1982)
- Boland (1984)
- Boland (2001)
- Miguel (2001)
- Karatasou (2001)
- Soares (2004)

2.3. Il modello di Orgill e Hollands (1977)

Basato sui dati raccolti a Toronto in Canada si esprime mediante le relazioni :

$$\begin{aligned} I_d/I &= 1-0,249 K_t & 0 < K_t < 0,35 \\ I_d/I &= 1,577-1,84 K_t & 0,35 < K_t < 0,75 \\ I_d/I &= 0,177 & K_t > 0,7 \end{aligned} \quad (2.1)$$

2.4. Il modello di Reindl (1990)

Basato su dati sperimentali di località europee e statunitensi si esprime come :

$$\begin{aligned} I_d/I &= 1,02-0,248 K_t & K_t < 0,3 \\ I_d/I &= 1,45 -1,67 K_t & 0,3 < K_t < 0,78 \\ I_d/I &= 0,147 & K_t > 0,78 \end{aligned} \quad (2.2)$$

2.5.I modelli di Erbs(1982)

Erbs a seguito di misure sperimentali in varie località degli stati uniti creò una raccolta di dati relativi a : radiazione globale, diffusa ed extraterrestre.

Erbs propose un modello di regressione dei dati sperimentali relativi all'indice di luminosità K_t e K_d Il ciò si esprime mediante le relazioni :

Tabella 3.1 correlazioni di Erbs rispetto a K_t

$\frac{I_d}{I} = 1.0 - 0.09k_T$	con $k_T \leq 0.22$
$\frac{I_d}{I} = 0.9511 - 0.1604k_T + 4.388k_T^2 - 16.638k_T^3 + 12.336k_T^4$	con $0.22 < k_T \leq 0.80$
$\frac{I_d}{I} = 0.165$	con $k_T > 0.80$

(2.3)

La terza equazione non è conforme ai dati sperimentali in quanto l'incremento della radiazione diffusa è dovuto alla riflessione della radiazione riflessa dal terreno da parte delle nuvole

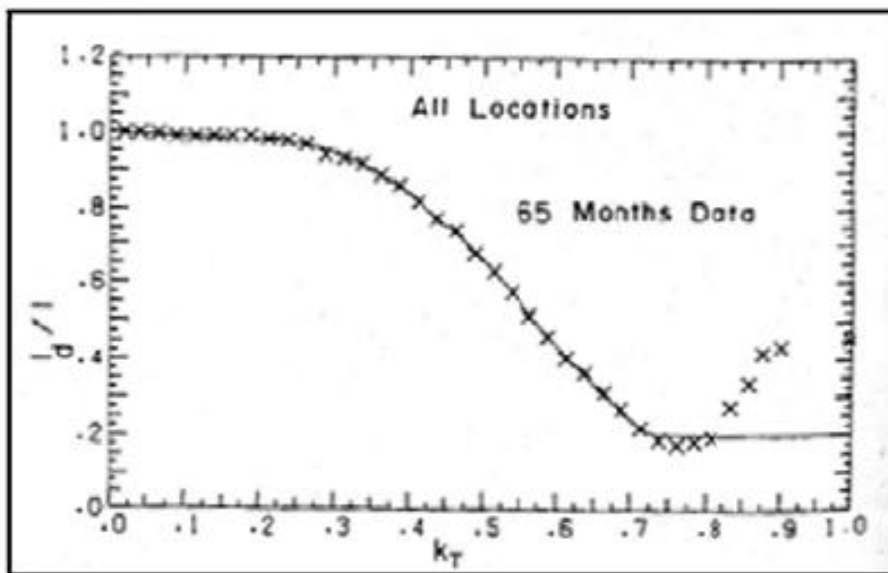


Figura 3.1 Correlazione oraria tra I_d/I e K_t , Solar Energy vol 28, 4, p.294

Tenendo conto delle stagioni tramite la procedura di Collares-Pereira e Rabl (1979), Erbs ricavò le correlazioni giornaliere tra K_t e K_d .

CAPITOLO 2

Ricordando che l'angolo di soleggiamento assume i valori :

- Inverno $w_s < 1,4208$
- Primavera /autunno $1,4208 < w_s < 1,7208$
- Estate $w_s > 1,7208$

Il fatto che in inverno ci siano meno polveri e l'altezza solare sia minore genera la necessità di relazioni differenti :

Tabella 3.2 Correlazione Estive di Erbs.

$\frac{H_d}{H} = 1.0 + 0.2832K_T - 2.5557K_T^2 + 0.8448K_T^3$	con $K_T < 0.722$
$\frac{H_d}{H} = 0.175$	con $K_T \geq 0.722$

(2.4)

Tabella 3.3 Correlazione invernali di Erbs.

$\frac{H_d}{H} = 1.0 - 0.2727K_T + 2.4495K_T^2 - 11.9514K_T^3 + 9.3879K_T^4$	con $K_T < 0.715$
$\frac{H_d}{H} = 0.143$	con $K_T \geq 0.715$

(2.5)

2.6. Il modello di Boland (1984)

È un modello che utilizza un polinomio di primo grado, utile quindi per stime di massima è stato ottenuto utilizzando le rilevazioni fatte a Vittoria in Australia e si esprime nella forma :

$$\begin{aligned}
 I_d/I &= 0,915 & K_t < 0,225 \\
 I_d/I &= 1,135 - 0,9422 K_t & 0,225 < K_t < 0,775 \\
 I_d/I &= 0,215 & K_t > 0,775
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

2.7. Il modello di Boland (2001)

A differenza del modello proposto nel 1984 questo modello assume la forma esponenziale nella forma :

$$I_d/I = \frac{1}{1 + e^{7,997(K_t - 0,586)}}
 \tag{2.7}$$

2.8. Il modello di Miguel (2001)

Questo modello è stato ottenuto dalla combinazione di molteplici serie di dati relative all'estremità settentrionale della fascia mediterranea.

Il polinomio di regressione è di terzo grado si presume quindi un maggior grado di accuratezza.

$$\begin{aligned}
 I_d/I &= 0,995 - 0,081 K_t & K_t < 0,21 \\
 I_d/I &= 0,724 + 2,738 K_t - 8,32 k_T^2 + 4,967 k_T^3 & 0,225 < K_t < 0,775 \\
 I_d/I &= 0,18 & K_t > 0,76
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

2.9. Il modello di Karatasou (2001)

È un modello che si esprime tramite un polinomio di terzo grado ottenuto in base ai dati rilevati ad Atene in Grecia e si esprime con :

$$I_a/I = 0,9995 - 0,05 K_t - 2,4156 k_T^2 + 1,4926 k_T^3 \quad 0 < K_t < 0,78$$

$$I_a/I = 0,20 \quad K_t > 0,76$$

(2.9)

2.10. Il modello di Soares (2004)

Il modello di Soares (2004) è stato ottenuto dall'elaborazione dei dati rilevati a San Paolo in Brasile e si esprime con :

$$I_a/I = 1 \quad K_t < 0,17$$

$$I_a/I = 0,9 + 1,1 K_t - 4,5 k_T^2 + 0,01 k_T^3 + 3,14 k_T^4 \quad 0,17 < K_t < 0,75$$

$$I_a/I = 0,17 \quad K_t > 0,75$$

(2.10)

Esso è costituito da un'equazione di quarto grado come il modello di Erbs (1982) da cui differisce per la zona climatica di elaborazione.

2.11. Bibliografia capitolo 2

[1] C.P. Jacovidesa, F.S. Tymviosa, V.D. Assimakopoulosc, N.A. Kaltsounidesa
Comparative study of various correlations estimating hourly diffuse fraction of global solar radiation, Renewable Energy 31 (2006) p. 2492–2504.

[2] De Miguel, Bilbao, Aguiar, Kambezidis and Negro Diffuse solar irradiation model evaluation in the north mediterranean belt area, Solar energy vol. 70, (2001) p. 143–153.

[3] D.G Erbs et al. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly daily and monthly-average global radiation, Solar Energy, vol 28 (1982), p.293-302.

[4] John Bolanda, Barbara Ridleya, Bruce Brownb
Models of diffuse solar radiation
Renewable Energy 33 (2008) p.575–584.

[5] J.T. Muneer. (2008) Solar Radiation and Daylight Models, Elsevier Butterworth Heineman, Oxford.

[6] Zekai Sen. (2008) Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques - Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy, Springer –Verlag, London.

CAPITOLO 3 :

Modelli per la stima della radiazione diretta e diffusa su superfici inclinate

3.1.Introduzione e panoramica dei modelli trattati

I modelli per la stima della radiazione diretta e diffusa su superfici inclinate permettono una stima della radiazione su superfici comunque orientate in termini di inclinazione.

Si possono distinguere due categorie di modelli :

- Modelli isotropici che considerano la radiazione diffusa come uniformemente distribuita sulla volta celeste come il modello di Hottel e Woertz (1942) - Liu e Jordan(1960).
- Modelli anisotropici che considerano una distribuzione spaziale della radiazione diffusa non uniforme.

Essi in genere considerano all'interno della volta celeste avente distribuzione uniforme alcune zone diversa concentrazione.

Un ulteriore distinzione fra i modelli si basa appunto sulla natura delle zone non isotropiche, in particolare si possono distinguere :

- Modelli che considerano la sola anisotropia circumsolare legata alla concentrazione della radiazione diffusa nella zona anulare del disco solare e il caso del modello di Hay e Davies (1980).
- Modelli che considerano entrambe le discontinuità nella distribuzione della radiazione diffusa, sia la componente circumsolare che orizzontale.

Vi sono svariati modelli :

- Temps e Coulson (1977)
- Klutcher (1979)
- Hay e Davies (1980)
- Reindl (1990)
- Muneer (1997)

CAPITOLO 3

- Olmo (1999)
- Gueymard(1987)
- Perez (1985)
- Perez modificato (1987)

Ovviamente per questi si potrebbero fare ulteriori distinzioni che si rimandano alla descrizione dei singoli modelli.

3.2.Nomenclatura

I_0	Radiazione globale extraterrestre.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
I_g	Radiazione globale sul piano orizzontale.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
I_d	Radiazione diffusa sul piano orizzontale.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
K_t	Indice di luminosità atmosferica rapporto tra la radiazione globale e l'extraterrestre. $K_t = \frac{I_g}{I_0}$	
K_d	Rapporto tra la radiazione diffusa e la globale su un piano orizzontale. $K_d = \frac{I_d}{I_g}$	
w_s	Angolo di soleggiamento, ossia l'angolo orario percorso nell'arco di una giornata.	$[^\circ]$
I_b	Radiazione diretta proveniente dal sole.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
I_{tb}	Radiazione diretta sulla superficie inclinata.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
I_{bh}	Radiazione diretta incidente la superficie orizzontale.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
I_{bn}	Radiazione in direzione normale alla superficie considerata.	$[^\circ]$

Modelli per la stima della radiazione diretta e diffusa su superfici inclinate

β	Angolo di inclinazione della superficie.	[°]
ϑ	Angolo di incidenza della radiazione rispetto alla normale della superficie considerata.	[°]
θ_z	Zenith solare, angolo tra la normale al piano orizzontale e la congiungente con il sole.	[°]
I_{td-iso}	Componente diffusa isotropica riferita alla superficie inclinata.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
I_{td-cs}	Componente diffusa circumsolare (in un a zona adiacente il disco solare), riferita alla superficie inclinata.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
I_{td-hb}	Componente diffusa orizzontale (concentrata in una banda vicino all'orizzonte), riferita alla superficie inclinata.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
I_{td-g}	Componente riflessa dal terreno riferita alla superficie inclinata.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
I_{hp}	Componente riflessa dal terreno riferita alla superficie orizzontale.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
ρ	Riflettenza del terreno.	
I_{Tt}	Radiazione globale su superficie inclinata.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
I_{td}	Radiazione diffusa su superficie inclinata.	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
F'	Indice di luminosità atmosferica di Klucher funzione della radiazione diffusa sull'orizzontale rispetto alla radiazione globale sull'orizzontale. $F' = 1 - \left(\frac{I_{hd}}{I_g}\right)^2$	

CAPITOLO 3

A	<p>Trasmittanza atmosferica : rappresenta la radiazione diretta attraverso l'atmosfera e quantifica la radiazione diffusa trattata come circumsolare rispetto alla componente isotropica.</p> $A = \frac{I_{bn}}{I}$	
R_b	<p>Rapporto tra la radiazione diffusa e la globale.</p> $R_b = \frac{\cos \vartheta}{\cos \vartheta_z} = \frac{I_{td}}{I_g}$	
f	<p>Fattore di modulazione di Reindl. $f = \sqrt{\frac{I_b}{I}}$</p>	
Ψ_0	<p>Coefficienti dei modelli di Olmo e Guyemard definiti come rapporto tra la radiazione globale su superficie inclinata e la corrispondente sull'orizzontale</p> $\Psi_0 = \Psi_G = \frac{I_{t,T}}{I_g}$	
N_G	<p>Fattore di peso dell'opacità delle nuvole del modello di Guyemard.</p>	
γ_s	<p>Azimuth solare ossia la deviazione angolare della proiezione della radiazione solare sul piano orizzontale rispetto alla direzione sud assume valori positivi a verso sud est viceversa negativi</p>	[°]
α_s	<p>Altezza solare</p>	[°]
γ	<p>Azimet della superficie ossia la deviazione angolare della proiezione della normale alla superficie sul piano orizzontale rispetto alla direzione sud assume valori positivi a verso sud est viceversa negativi</p>	[°]

3.3.Nomenclatura dei pedici

g	Globale
o	Extraterrestre
d	Diffusa (diffuse)
b	Diretta (beam)
n	Normale alla superficie considerata (normal)
bh	Diretta orizzontale (diffuse horizontal)
hd	Diffusa orizzontale (beam horizontal)
tb	Inclinata diretta (tilted beam)
td	Inclinata diffusa (tilted diffuse)
Tt	Totale inclinata (Total tilted)
td-iso	Inclinata diffusa, componente isotropica (tilted diffuse isotropic)
td-cs	Inclinata diffusa, componente circumsolare (tilted diffuse circumsolar)
Td-hb	Inclinata diffusa, componente orizzontale (tilted diffuse horizontal)
bn	Diretta normale alla superficie considerata (beam normal)

3.4. Generalità sulla stima della radiazione

I metodi fin qui visti permettono di distinguere la radiazione diffusa dalla radiazione diretta in funzione di della radiazione globale e della radiazione extraterrestre su un piano orizzontale .

Ora verrà discusso il problema della quantificazione della radiazione su superfici inclinate.

Si consideri quindi una superficie arbitrariamente orientata rispetto al meridiano locale inclinata di un angolo β .

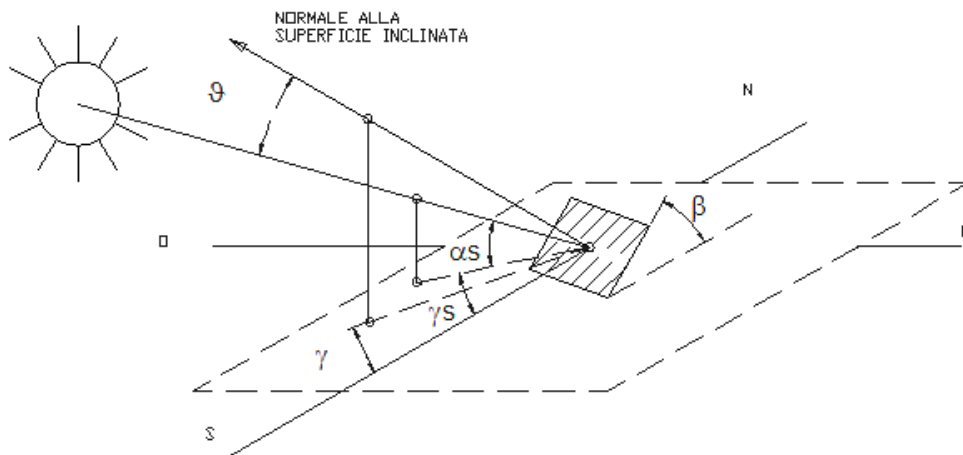


Figura 3.1 Superficie inclinata di un angolo β arbitrariamente orientata rispetto al meridiano locale

Si consideri in primo luogo la componente diretta della radiazione che va ad incidere la superficie, essa è la componente della radiazione solare lungo la normale alla superficie stessa.

La radiazione diretta lungo la congiungente sole-superficie deve essere scissa si lungo il piano verticale che orizzontale.

Nel primo caso risulta funzione dell'incidenza ϑ e dell'azimut solare θ_z nel secondo degli angoli azimutali della superficie γ e dell'azimut solare γ_s .

Si consideri in primo luogo il piano verticale.

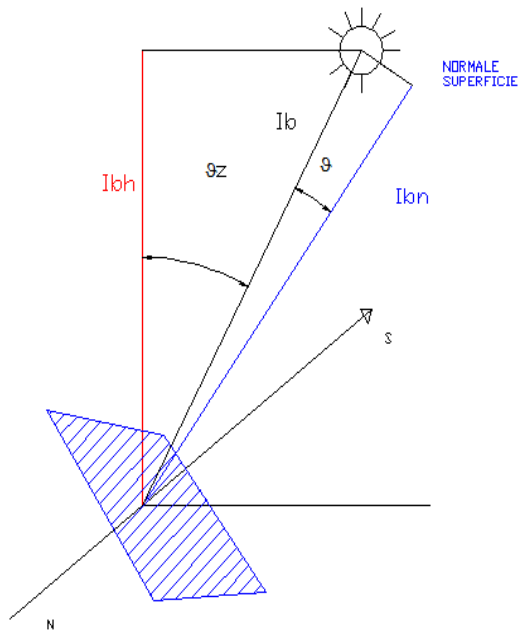


Figura 3.2

Scomposizione della radiazione diretta lungo il piano

Si ricavi la radiazione normale alla superficie scindendo la radiazione diretta lungo il piano verticale :

$$I_{bn} = I_b |\cos \vartheta| \tag{3.1}$$

$$I_b = \frac{I_{bh}}{|\cos \theta_z|} \tag{3.2}$$

$$I_{bn} = \frac{|\cos \vartheta|}{|\cos \theta_z|} I_{bh} \tag{3.3}$$

La radiazione in direzione normale I_{bn} ricavata per componenti lungo il piano verticale deve essere scissa anche nel piano orizzontale, per tener conto della differenza angolare tra azimuth solare e azimuth superficiale.

Questo permetterà di ricavare l'effettivo valore della radiazione diretta lungo la normale alla superficie.

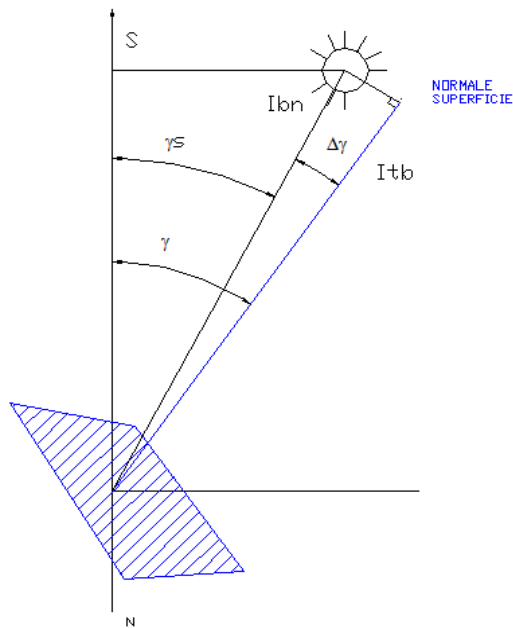


Figura 3.3
Scomposizione della radiazione diretta lungo il piano orizzontale

Quindi considerando presenza della differenza angolare $\Delta\gamma$ si può scrivere :

$$I_{tb} = I_{bn} |\cos \Delta\gamma| \quad (3.4)$$

Sostituendo il valore di I_{bn}

$$I_{bn} = \frac{|\cos \vartheta|}{|\cos \theta_z|} I_{bh} \quad (3.5)$$

Si ottiene l'effettiva espressione della radiazione diretta :

$$I_{tb} = \frac{|\cos \vartheta|}{|\cos \theta_z|} I_{bh} |\cos \Delta\gamma| \quad (3.6)$$

Interessante risulta notare che la componente diretta è nulla nelle seguenti configurazioni geometriche :

1. $\vartheta > 90^\circ$
2. $\gamma_s - \gamma > 90^\circ$

Modelli per la stima della radiazione diretta e diffusa su superfici inclinate

In quanto la luce del sole non colpirebbe la superficie.

La valutazione della componente diffusa su una superficie inclinata non è ottenibile mediante relazioni trigonometriche dal corrispondente valore sul piano orizzontale.

Questo perché la frazione diffusa dipende oltre che da fattori geometrici anche dalla anisotropicità del cielo e dalla frazione riflessa dal terreno.

La frazione diffusa infatti risulta frutto più contributi :

- Componente diffusa isotropica I_{td-iso}
- Componente diffusa circumsolare I_{td-cs}
(in un a zona adiacente il disco solare)
- Componente diffusa dell'orizzonte I_{td-hb}
(ossia concentrata in una banda vicino all'orizzonte)
- Componente riflessa dal terreno I_{td-g}

In genere si considera l'energia riflessa $I_{h\rho}$ come proporzionale alla radiazione diretta incidente il terreno I_{hb} secondo un coefficiente di riflettenza ρ dando luogo alla relazione :

$$I_{h\rho} = I_{hb}\rho \quad (3.7)$$

Il coefficiente di riflettenza ρ dipende dal materiale costituente il terreno circostante;ciò è ben espresso dalla tabella ricavata da UNI 8477,riportata in tabella 3.1.

Tabella 3.1 Valori di riflettenza per diverse superfici UNI (8477), p.5.

Tipo di superficie	ρ
Neve (caduta di fresco o con film di ghiaccio)	0,75
Superficie acquose	0,07
Suolo (creta, marne)	0,14
Strade sterrate	0,04
Bosco di conifere d'inverno	0,07
Bosco in autunno/campi con raccolti maturi e piante	0,26
Asfalto invecchiato	0,10
Calcestruzzo invecchiato	0,22
Foglie morte	0,30
Erba secca	0,20
Erba verde	0,26
Tetti o terrazzi in bitume	0,13
Pietrisco	0,20
Superficie scure di edifici (mattoni scuri, vernici scure...)	0,27
Superficie chiare di edifici (mattoni chiari, vernici chiare...)	0,60

In genere, quando non si hanno dati precisi si assume $\rho = 0,2$ (Inchen 1987).

Detta trattazione circa la componente riflessa dal terreno ha valore generale ed è da considerarsi valida per ogni metodo analizzato.

I modelli presenti in letteratura valutano la componente riflessa dal terreno su una superficie inclinata come isotropica e funzione diretta del valore sull'orizzontale adottando l'espressione :

$$I_{td-g} = I_{h\rho} \left(\frac{1-\cos \beta}{2} \right) \quad (3.8)$$

Con :

- $I_{h\rho}$ = radiazione riflessa dal terreno sull'orizzontale

L'espressione della radiazione totale sulla superficie inclinata si potrà considerare come la somma della radiazione diretta e delle componenti della radiazione diffusa secondo l'espressione :

$$I_T = I_{tb} + (I_{td-iso} + I_{td-cs} + I_{td-hb} + I_{td-g}) \quad (3.9)$$

3.5. Modello di distribuzione isotropica della radiazione diffusa di Hottel e Woertz (1942) e Liu e Jordan (1960)

Adottato da Hottel e Woertz (1942) e da Liu e Jordan (1960) è il modello più semplice e assume che tutta la radiazione diffusa sia uniformemente distribuita sulla volta celeste e che la riflessione del terreno sia diffusa.

Supponendo che la superficie sia inclinata di un angolo β a radiazione totale sarà data da :

$$I_{td} = I_{hd} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \quad (3.10)$$

$$I_{Tt} = I_{tb} + I_{td} + I_{hp} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.11)$$

Con :

- I_{tb} = radiazione diretta sulla superficie inclinata
- I_{hd} = radiazione diffusa sull'orizzontale

3.6. Modelli di distribuzione anisotropica della radiazione diffusa

3.6.1. Temps e Coulson (1977)

Il modello che considera una distribuzione isotropica della radiazione diffusa ha dimostrato un comportamento soddisfacente nel caso di cielo coperto ma risulta sottostimare la radiazione diffusa in caso di cielo sereno.

Per ovviare a questo inconveniente, Temp e Coulson (1979) elaborarono un modello di carattere anisotropico in cui si distinguevano oltre ad una componente uniforme della radiazione diffusa anche una componente circumsolare nella zona del disco e una componente orizzontale legata alla zona dell'orizzonte.

CAPITOLO 3

Si definirono quindi due coefficienti distinti :

- Zona dell'orizzonte $\left[1 + \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right)\right]$ (3.12)

- Zona circumsolare $[1 + \cos^2\vartheta \sin^3\vartheta_z]$ (3.13)

La radiazione diffusa sulla superficie inclinata sarà :

$$I_{Td} = I_{hd} \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) \left[1 + \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right)\right] [1 + \cos^2\vartheta \sin^3\vartheta_z] \quad (3.14)$$

La radiazione totale sulla superficie inclinata sarà data da :

$$I_{Tt} = I_{tb} + I_{hd} \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) \left[1 + \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right)\right] [1 + \cos^2\vartheta \sin^3\vartheta_z] + I_{hp} \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (3.15)$$

3.6.2. Klutcher (1979)

Basandosi sul lavoro di Temps-Coulson, Klutcher elaborò un modello che differisce dal precedente solo per la definizione di un indice di luminosità atmosferica.

Indice valido sia per la zona circumsolare che per l'orizzonte il quale assume la forma :

$$F' = 1 - \left(\frac{I_{hd}}{I_g}\right)^2 \quad (3.16)$$

La radiazione diffusa sulla superficie inclinata sarà :

$$I_{Td} = I_{hd} \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) \left[1 + F' \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right)\right] [1 + F' \cos^2\vartheta \sin^3\vartheta_z] \quad (3.17)$$

La nuova espressione della radiazione globale sarà :

$$I_{Tt} = I_{tb} + I_{hd} \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) \left[1 + F' \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right)\right] [1 + F' \cos^2\vartheta \sin^3\vartheta_z] + I_{hp} \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (3.18)$$

Sotto cielo coperto $F' = 0$ e si ritorna all'espressione del cielo isotropico di Liu e Jordan (1960) .

3.6.3. Hay e Davies (1980)

È un modello che considera solamente la componente circumsolare trascurando il contributo dell'orizzonte.

Si definisce quindi un indice di anisotropia A che rappresenta la trasmittanza attraverso l'atmosfera della radiazione diretta.

$$A = \frac{I_{bn}}{I_g} \quad (3.19)$$

La radiazione diffusa sulla superficie inclinata sarà :

$$I_{td} = I_{hd} [AR_b + 0,5(1 - A)(1 + \cos \beta)] \quad (3.20)$$

$$R_b = \frac{\cos \vartheta}{\cos \vartheta_z} = \frac{I_{td}}{I_g} \quad (3.21)$$

La radiazione totale sarà :

$$I_{Tt} = I_{tb} + I_{hd} [AR_b + 0,5(1 - A)(1 + \cos \beta)] + I_{hp} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.22)$$

3.6.4. Reindl (1990)

È un modello che si basa sulla stessa definizione di indice di anisotropia A presente nel modello di Hay e Davies dal quale differisce per il fatto che viene tenuta in considerazione anche la componente anisotropia dell'orizzonte.

Per tener conto della componente dell'orizzonte è stato introdotto un fattore di modulazione f definito come :

$$f = \sqrt{\frac{I_b}{I}} \quad (3.23)$$

CAPITOLO 3

L'espressione della radiazione diffusa sarà :

$$I_{Td} = I_{hd} \left[0,5(1 - A)(1 + \cos \beta) \left(1 + f \sin \left(\frac{\beta}{2} \right) + A R_b \right) \right] \quad (3.24)$$

E quindi globalmente :

$$I_{Tt} = I_{tb} + I_{hd} \left[0,5(1 - A)(1 + \cos \beta) \left(1 + f \sin \left(\frac{\beta}{2} \right) + A R_b \right) \right] + I_{hp} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.25)$$

3.6.5. Muneer (1997)

Nel modello di Muneer le superfici in ombra e le superfici al sole sono trattate in modo differente.

È introdotto un fattore T_f che rappresenta il rapporto della radiazione diffusa su sfondo inclinato rispetto all'orizzontale.

$$T_f = \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \frac{2B}{\pi(3+2B)} \left[\sin \beta - \beta \cos \beta - \pi \sin^2 \frac{\beta}{2} \right] \quad (3.26)$$

I valori di B sono funzione della località.

Muneer, attraverso l'analisi di dati di molteplici località, ha esplicitato dalle relazioni tra l'indice di anisotropia A e il prodotto $\frac{2B}{\pi(3+2B)}$ riportate nella tabella 3.2 :

Tabella 3.2 Relazioni per l'indice di anisotropia A nel modello di Muneer

$\frac{2B}{\pi(3+2B)} = 0,00333 - 0,415 A - 0,6987A^2$ (nord Europa)
$\frac{2B}{\pi(3+2B)} = 0,0263 - 0,712 A - 0,6883A^2$ (sud Europa)
$\frac{2B}{\pi(3+2B)} = 0,08 - 1,05 A - 2,84A^2$ (Giappone)
$\frac{2B}{\pi(3+2B)} = 0,04 - 0,82 - 2,026A^2$ (globale)

Si distinguono quindi le espressioni della radiazione diffusa :

- Cielo coperto (superfici in ombra)

$$I_{Td} = I_{hd} T_f \quad (3.27)$$

- Cielo sereno (superfici soleggiate)

$$I_{Td} = I_{hd} [T_f (1 - A) + A R_b] \quad (3.28)$$

La radiazione totale sarà :

$$I_{Tt} = I_{tb} + I_{Td} + I_{h\rho} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.29)$$

3.6.6. Olmo (1999)

Il modello di Olmo correla direttamente la radiazione globale su superficie inclinata al corrispondente valore sull'orizzontale senza bisogno di scindere in componenti diffusa e diretta.

Si è definito quindi un coefficiente di proporzionalità Ψ_0 come rapporto della radiazione globale su una superficie inclinata rispetto alla corrispondente sull'orizzontale :

$$\Psi_0 = \frac{I_{t,T}}{I_g} = e^{[-K_t(\vartheta - \vartheta_z)]} \quad (3.30)$$

Per tener conto della riflessione anisotropica del terreno si introduce un coefficiente F_c .

$$I_{t,T} = I_{t,h} \Psi_0 F_c \quad (3.31)$$

$$F_c = 1 + \rho \sin^2 \left(\frac{\vartheta}{2} \right) \quad (3.32)$$

3.6.7. Gueymard(1987)

Esso è basato sul modello di Steven Unsworth (1980).

Il presupposto di base di questo modello è l' assumere che la radiazione globale su una superficie inclinata si possa considerare come somma pesata di una radiazione sotto cielo coperto e di una sotto cielo sereno.

Il significato di Ψ_g è lo stesso di Ψ_0 del modello di Olmo (1999) :

$$\Psi_g = \frac{I_{t,T}}{I_g} = [(1 - N_G)r_{d0} + N_G r_{d1}] \quad (3.33)$$

N_G è il fattore di peso dell'opacità delle nuvole essi assume l'espressione :

$$N_G = \{max[min(Y, 1); 0]0\} \quad (3.34)$$

Con :

$$Y = 6,6667 \frac{I_d}{I_g} - 1,4167 \quad \text{per} \quad \frac{I_d}{I_g} < 0,227$$

$$Y = 1,2121 \frac{I_d}{I_g} - 0,1758 \quad \text{negli altri casi}$$

La radiazione sotto cielo sereno r_{d0} è ottenuta da una funzione di regressione polinomiale della componente circumsolare a sua volta funzione dell'altezza solare α e dell'inclinazione β , si riportano di seguito le relazioni in questione.

$$r_{d0} = e^{(a_0+a_1 \cos \alpha+a_2 \cos^2 \alpha+a_3 \cos^3 \beta)} + G(\alpha) + F(\beta) \quad (3.35)$$

$$a_0 = -0,897 - 3,364h' + 3,96h'^2 - 1,909h'^3 \quad (3.36)$$

$$a_1 = 4,448 - 12,961h' + 34,601h'^2 - 48,784h'^3 + 27,51h'^4 \quad (3.37)$$

$$a_2 = -2,77 + 9,164h' - 18,867h'^2 + 23,776h'^3 - 13,014h'^4 \quad (3.38)$$

$$a_3 = -0,312 - 0,217h' - 0,805h'^2 + 0,318h'^3 \quad (3.39)$$

$$F(\beta) = [1 + b_0 \sin^2(\beta) + b_1 \sin(2\beta) + b_2 \sin(4\beta)]/[1 + b_0] \quad (3.40)$$

$$G(\alpha) = 0,408 - 0,323h' + 0,384h'^2 - 0,17h'^3 \quad (3.41)$$

Con :

$$h = \alpha_s = \text{altezza solare} \quad (3.42)$$

$$h' = 0,01 h \quad (3.43)$$

$$b_0 = -0,2249 \quad (3.44)$$

$$b_1 = 0,1231 \quad (3.45)$$

$$b_2 = -0,03 \quad (3.46)$$

Mentre la radiazione sotto cielo coperto r_{d1} è funzione dell'inclinazione del piano β e del fattore di correzione b :

$$r_{d1} = \frac{(1 + \cos \beta)}{2} - \frac{\left\{ \frac{(\beta \cos \beta - \sin \beta)}{\pi} + \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \right\}}{\left(1 + \frac{3}{2b}\right)} \quad (3.47)$$

Il valore di b si valuta come funzione dell'opacità delle nuvole :

$$b = 0,5 + N_G \quad (1 < b < 2) \quad (3.48)$$

In genere si può adottare il valore medio di $b = 1.5$.

CAPITOLO 3

3.6.8.Perez (1985)

Il modello di Perez (1985) è un modello di previsione a cui sarà dedicata una trattazione più esaustiva.

Si riportano nella tabella 4.2 i significati delle grandezze introdotte dal modello di Perez lasciando alla leggenda ad inizio capitolo ogni ulteriore delucidazione.

Tabella 3.2 Nomenclatura relativa al modello di Perez

X_h	Frazione della regione circolare vista dall'orizzontale	
θ_z'	E' pari allo zenith solare θ_z se la regione circolare è del tutto visibile oppure all'angolo di incidenza medio se è visibile solo parzialmente	[°]
ξ	Spessore angolare della banda orizzontale pari a 6.5°	
α_{circ}	Metà dell'angolo della regione circolare centrata sulla posizione del sole pari a 15°	[°]
X_c	Frazione della regione circolare vista dalla superficie inclinata	
θ'	Zenith solare rispetto superficie inclinata ϑ se la regione circolare è del tutto visibile oppure all'angolo di incidenza medio se è visibile solo parzialmente.	[°]
ξ'	Spessore angolare della banda dell'orizzonte vista dal piano inclinato $\xi' = \beta + \xi \left(\frac{1}{2} - \frac{\beta}{\pi} \right)$	
β	Angolo di inclinazione della superficie presa in considerazione	[°]
L	Componente isotropica della radiazione diffusa	$\left[\frac{W}{m^2} \right]$
F_1	Coefficiente che rappresenta la quota circumsolare di energia diffusa	

F_2	Coefficiente che rappresenta la quota orizzontale di energia diffusa	
F'_1	Coefficiente ridotto che rappresenta la quota circumsolare di energia diffusa	
F'_2	Coefficiente ridotto che rappresenta la quota orizzontale di energia diffusa	
Δ	Indice di nitidezza del cielo lo "sky brightness factor" "rapporto tra la frazione diffusa sull'orizzontale I_{hd} rispetto alla radiazione globale extraterrestre. $\Delta = \frac{mI_{hd}}{I}$	
m	Massa ottica dell'aria, in mancanza di condizioni particolari legati alla quota o a condizioni particolari si può imporre $m=1,5$.	

Il modello di Perez come altri modelli già visti considera la radiazione diffusa sulla volta celeste come somma di una parte isotropica e di due componenti anisotropiche una circumsolare e l'altra riferita all'orizzonte.

È un modello sperimentale che si basa sulla parametrizzazione del cielo.

Ciò significa schematizzare la volta celeste come una semisfera di raggio unitario e di volume 2π , all'interno della quale la zona circumsolare occupa rispettivamente l'angolo solido di un cono mentre la zona dell'orizzonte consiste banda di spessore angolare centrata sull'orizzonte.

CAPITOLO 3

Si riporta in figura 3.2 la schematizzazione proposta da Perez.

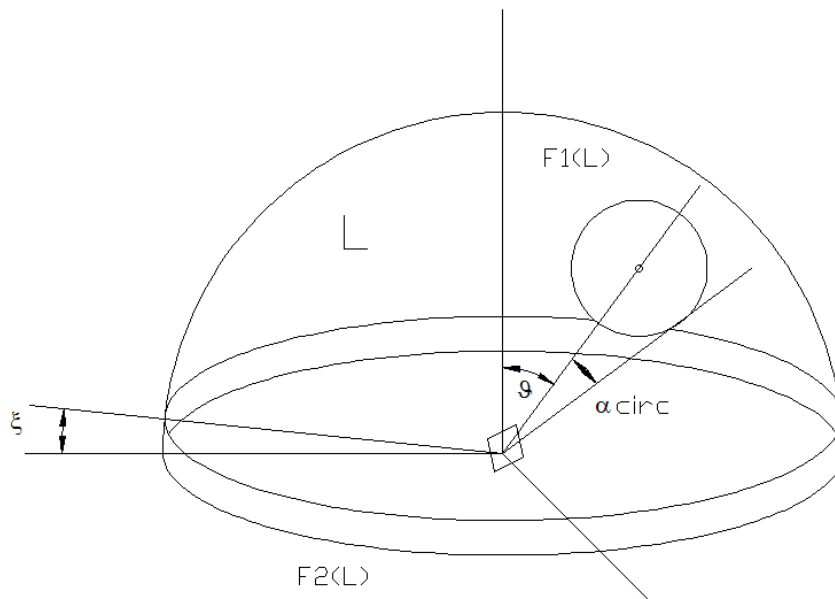


Figura 3.2 Rappresentazione geometrica del modello di Perez.

La parametrizzazione del cielo permette di stimare la radiazione diffusa sull'orizzontale mediante la relazione :

$$I_{hd} = \pi L \{ 1 + 2(1 - \cos \alpha_{circ}) X_h(\theta) (F_1 - 1) \cos \theta' + 0,5(1 - \cos 2\xi) (F_2 - 1) \} \quad (3.49)$$

Dove :

- $2(1 - \cos \alpha_{circ}) X_h(\theta) (F_1 - 1) \cos \theta'$ è il termine circumsolare.
- $0,5(1 - \cos 2\xi) (F_2 - 1)$ è il termine della zona dell'orizzonte.

Da questa si può ricavare il valore della radiazione diffusa su un piano inclinato di un angolo β :

$$I_{Td} = \pi L \{ 0,5(1 + \cos \beta) + 2(1 - \cos \alpha_{circ}) X_c(\theta) (F_1 - 1) \cos \theta' + 2\xi \sin \xi' (F_2 - 1) / \pi \} \quad (3.50)$$

Combinando le due equazioni si arriva all'espressione che fornisce il valore della radiazione diffusa su superficie inclinata in funzione del corrispondente sull'orizzontale espressa dalla relazione riportata di seguito :

$$I_{Td} = I_{hd} \frac{\{0,5(1+\cos \beta)+a(\theta)(F_1-1)+b(\beta)(F_2-1)/\pi\}}{\{1+c_z(F_1-1)+d(F_2-1)\}} \quad (3.51)$$

Con :

$$a(\theta) = 2(1 - \cos \alpha_{circ}) X_c(\theta) \cos \vartheta' \quad (3.52)$$

$$b(\beta) = \xi \sin \xi \pi \quad (3.53)$$

$$c_z = 2(1 - \cos \Phi) X_h \cos \theta_z' \quad (3.54)$$

$$d = 0,5(1 - \cos 2\xi) \quad (3.55)$$

Quindi la radiazione totale sarà :

$$I_{Tt} = I_{tb} + I_{Td} + I_{hp} \left(\frac{1-\cos \beta}{2} \right) \quad (3.56)$$

Particolare riguardo va dedicato ai coefficienti di luminosità F_1, F_2 che pesano il grado di anisotropia del cielo, un valore unitario di detti coefficienti corrisponde infatti a una distribuzione isotropica della radiazione.

Essi sono stati determinati con un approccio sperimentale per diverse località e orientazioni, confrontando il valore della radiazione diffusa orizzontale I_{hd} ottenuta con il corrispondente valore ricavato con altri modelli (Liu-Jordan, Hay, Klucher).

Interessanti sono le rilevazioni fatte allo scopo di relazionare il modello geometrico e le condizioni del cielo.

CAPITOLO 3

Le condizioni del cielo sono rappresentate dallo zenith solare z , dall'indice di nitidezza del cielo lo "sky clearness factor" ϵ rapporto fra la radiazione totale e la diffusa.

$$\epsilon = (I_{hd} + I_{hb}) / I_{hd} \quad (3.57)$$

Dette condizioni del cielo sono state raggruppate in bande (z, ϵ, D_h), secondo la tabella 4.3.

Tabella 3.4

Richard Perez, A new simplified version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surface.

Solar energy vol 39, No.3, pp.221-231, (1987)

D_h [kJ/min]			ϵ			z	
Intervallo	Lower Bound	Upper Bound	Intervallo	Lower Bound	Upper Bound	Lower Bound	Upper Bound
A	0	3	A	1	1	0	35
B	3	6	B	1.003	1.03	35	45
C	6	10	C	1.03	1.1	45	55
D	10	15	D	1.1	1.5	55	65
E	15	20	E	1.5	2.5	65	90
F	20	-	F	2.5	5		
			G	5	9		
			H	9	-		

Perez ha effettuato misure sperimentali della radiazione diffusa sul piano inclinato per tutte le combinazioni di bande in modo da ricavare i corrispondenti coefficienti di luminosità associati alla particolare banda ottenendo una distribuzione grafica come in figura .

Dall'analisi dei dati Perez ha osservato che :

- F_1 cresce al diminuire di ϵ ossia quando vi è una bassa radiazione diretta il ciò si verifica con un intensa copertura nuvolosa la $F_i=1$ (cielo isotropico)
- La componente circumsolare è la causa prevalente di anisotropia ma nei climi secchi o ad altitudini elevate la componente orizzontale ha un peso superiore.

3.6.9. Modello di Perez modificato (1987)

Il modello di Perez così come visto fin'ora prevede la valutazione dei coefficienti F_1, F_2 i quali non sono ottenibili direttamente.

Ricordando la relazione (3.50) vista precedentemente possiamo scrivere :

$$I_{Td} = I_{hd} \frac{\{0,5(1+\cos \beta)+a(\theta)(F_1-1)+b(\beta)(F_2-1)/\pi\}}{\{1+c_z(F_1-1)+d(F_2-1)\}} \quad (3.58)$$

Si consideri ora il rapporto fra la radiazione diffusa sull'orizzontale e sulla superficie inclinata come rapporto fra componenti :

- i = contributo isotropico
- c = contributo circumsolare
- h = contributo dell'orizzonte

$$I_{Td}/I_{hd} = \left(\frac{I_{Td}^i + I_{Td}^c + I_{Td}^h}{I_{hd}^i + I_{hd}^c + I_{hd}^h} \right) \quad (3.59)$$

$$I_{Td} = I_{hd} \left(\frac{I_{Td}^i + I_{Td}^c + I_{Td}^h}{I_{hd}^i + I_{hd}^c + I_{hd}^h} \right) \quad (3.60)$$

Separando i termini si può scrivere come :

$$I_{Td} = I_{hd} \left(\frac{I_{Td}^i}{I_{hd}^i} + \frac{I_{hd}^c}{I_{hd}^c} \frac{I_{Td}^c}{I_{hd}^c} + \frac{I_{hd}^h}{I_{hd}^h} \frac{I_{Td}^h}{I_{hd}^h} \right) \quad (3.61)$$

CAPITOLO 3

Definendo le grandezze :

$$\frac{I_{Td}^c}{I_{hd}^c} = a/c \quad (3.62)$$

$$\frac{I_{Td}^h}{I_{hd}^h} = b/d \quad (3.63)$$

$$I_{Td}^i = 0,5(1 + \cos \beta)(I_{hd} - I_{hd}^c - I_{hd}^h) \quad (3.64)$$

$$I_{hd}^c / I_{hd} = F_1' \quad (3.65)$$

$$I_{hd}^h / I_{hd} = F_2' \quad (3.66)$$

La relazione di Perez assume la forma ridotta :

$$I_{Td} = I_{hd} \left[0,5(1 + \cos \beta) (1 - F_1') + F_1'(a/c) + F_2'(b/d) \right] \quad (3.67)$$

- $F_1' F_2'$ sono coefficienti di luminosità ridotta e rappresentano il contributo delle regioni circumsolare e orizzontale rispetto il totale della radiazione diffusa sull'orizzontale
- a/c e b/d rappresenta il rapporto tra valori di radiazione diffusa riferiti alla superficie inclinata e l'orizzontale del contributo circumsolare
- b/d rappresenta il rapporto tra valori di radiazione diffusa riferiti alla superficie inclinata e l'orizzontale del contributo dell'orizzonte

I coefficienti ridotti sono riconducibili alle formule :

$$F_1' = \frac{c(F_1 - 1)}{[1 + c(F_1 - 1) + D(F_2 - 1)]} \quad (3.68)$$

$$F_2' = \frac{c(F_1 - 1)}{[1 + c(F_1 - 1) + D(F_2 - 1)]} \quad (3.69)$$

Per ovviare a complicazioni computazionali Perez ha proposto delle modifiche in senso semplificativo in modo da ottenere un modello snello senza alterarne la validità.

Dette modifiche sono :

- Approssimazione della banda dell'orizzonte precedentemente considerata di $6,5^\circ$ come una linea (0°)
Il contributo dell'orizzonte sulla superficie inclinata rispetto al medesimo sull'orizzontale diventa un puro rapporto geometrico funzione dell'inclinazione della superficie β .

$$b/d = \sin \beta \quad (3.70)$$

- Approssimazione della regione circumsolare inizialmente individuata da metà dell'angolo della regione circolare centrata sulla posizione del sole con un punto.
Il contributo dell'orizzonte sulla superficie inclinata rispetto al medesimo sull'orizzontale approssimandolo il rapporto a/c come :

$$\frac{I_{rd}^c}{I_{hd}^c} = a/c \quad (3.71)$$

$$a/c = \frac{\max [0, \cos \vartheta]}{\max [\cos 85^\circ, \cos \vartheta_z]} \quad (3.72)$$

che diventa :

$$a/c = \frac{\cos \vartheta}{\cos \vartheta_z} \quad (3.73)$$

CAPITOLO 3

La nuova formulazione assume la forma :

$$I_{Td} = I_{hd} \left[0,5(1 + \cos \beta) (1 - F'_1) + F'_1 \frac{\cos \vartheta}{\cos \theta_z} + F'_2 \sin \beta \right] \quad (3.74)$$

ma detta approssimazione conduce ad una maggiore imprecisione del modello per le pareti non rivolte a sud in cui l'angolo di incidenza sia basso.

I coefficienti ridotti F'_1, F'_2 sono funzioni di :

- Zenit solare θ_z
- Indice di nitidezza del cielo lo "sky clearness factor" ε del quale si è data espressione rispetto all'altezza solare z :

$$\varepsilon = \frac{\left\{ \left[\frac{(I_{hd} + I_{hb})}{I_{hd}} \right] + 5,535 \times 10^{-6} \theta_z^3 \right\}}{\left\{ 1 + 5,535 \times 10^{-6} \theta_z^3 \right\}} \quad (3.75)$$

L'indice di nitidezza del cielo lo "sky brightness factor" rapporto tra la frazione diffusa sull'orizzontale I_{hd} rispetto alla radiazione globale extraterrestre; con m = massa ottica dell'aria, in mancanza di condizioni particolari legati alla quota o a condizioni particolari si può imporre $m=1,5$.

$$\Delta = \frac{m I_{hd}}{I} \quad (3.76)$$

Esso è utilizzato come parametro di insolazione sostitutivo alla radiazione diffusa rispetto alla quale risulta indipendente dallo zenit solare θ_z .

Detti parametri vanno uniti ad altri fattori sperimentali ($F_{11} F_{12} F_{13} F_{21} F_{22} F_{23}$) derivati da misurazioni in funzione di ε e riportate in tabella 3.5

Tabella 3.5

Richard Perez, A new simplified version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surface. Solar energy vol 39, No.3, pp.221-231, (1987)

ε (bin)	1	2	3	4	5	6	7	8
Lower bound	1.000	1.065	1.230	1.500	1.950	2.800	4.500	6.200
Upper bound	1.065	1.230	1.500	1.950	2.800	4.500	6.200	–
<i>Irradiance</i>								
F_{11}	-0.0083	0.1299	0.3297	0.5682	0.8730	1.1326	1.0602	0.6777
F_{12}	0.5877	0.6826	0.4869	0.1875	-0.3920	-1.2367	-1.5999	-0.3273
F_{13}	-0.0621	-0.1514	-0.2211	-0.2951	-0.3616	-0.4118	-0.3589	-0.2504
F_{21}	-0.0596	-0.0189	0.0554	0.1089	0.2256	0.2878	0.2642	0.1561
F_{22}	0.0721	0.0660	-0.0640	-0.1519	-0.4620	-0.8230	-1.1272	-1.3765
F_{23}	-0.0220	-0.0289	-0.0261	-0.0140	0.0012	0.0559	0.1311	0.2506
<i>Illuminance</i>								
F_{11}	0.0113	0.4296	0.8093	1.0141	1.2818	1.4257	1.4848	1.1695
F_{12}	0.5707	0.3634	-0.0535	-0.2522	-0.4205	-0.6533	-1.2139	-0.2998
F_{13}	-0.0820	-0.3066	-0.4422	-0.5311	-0.6888	-0.7789	-0.7837	-0.6149
F_{21}	-0.0947	0.0499	0.1809	0.2750	0.3802	0.4247	0.4111	0.5180
F_{22}	0.1579	0.0080	-0.1686	-0.3498	-0.5586	-0.7851	-0.6292	-1.8924
F_{23}	-0.0177	-0.0650	-0.0918	-0.0957	-0.1144	-0.0966	-0.0822	-0.0551

I coefficienti ridotti F'_1, F'_2 avranno l'espressione :

$$F'_1 = \max[0, \{ F_{11} + F_{12} \Delta + \theta_z F_{13} \}] \quad (3.77)$$

$$F'_2 = F_{21} + F_{22} \Delta + \theta_z F_{23} \quad (3.78)$$

3.7. Bibliografia capitolo 3

[1] An assessment of a revised Olmo et al. model to predict solar global radiation on a tilted surface at Beer Sheva, Israel

Efim G. Evseev, Avraham I. Kudish*

Renewable Energy 34 (2009) 112–119

[2] Empirical validation of models to compute solar irradiance on inclined surfaces for building energy simulation

P.G. Loutzenhiser a,b,* , H. Manz a, C. Felsmann c, P.A. Strachan d,

T. Frank a, G.M. Maxwell b

Solar Energy 81 (2007) 254–267

[3] Evaluation of the performance of three diffuse hourly irradiation models on tilted surfaces according to the utilizability concept

R. Posadillo *, R. López Luque

Energy Conversion and Management xxx (2009) xxx–xxx

[4] Measurement and comparison of diffuse solar irradiance models on inclined surfaces in Valladolid (Spain)

Energy Conversion and Management 46 (2005) 2075–2092

[5] Performance evaluation of various hourly slope irradiation models using Mediterranean experimental data of Ajaccio

G. Notton *, C. Cristofari, P. Poggi

Energy Conversion and Management 47 (2006) 147–173

[6] Predicting hourly solar irradiations on inclined surfaces based on the horizontal measurements : Performances of the association of well-known mathematical models

G. Notton *, P. Poggi, C. Cristofari

Energy Conversion e Management 47 (2006) 1816–1829

[7] R.Perez et al.. : An Anisotropic Hourly diffuse radiation model for sloping surfaces :

Description, performance, validation, site dependency evaluation,

Solar Energy Vol.36 (1986),pp. 481-497

[8] R.Perez et al.. : A new simplified version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surface,

Solar Energy vol.39 (1987),pp221-231

CAPITOLO 4 :

Influenza dei rilievi orografici sul modello di Perez

4.1.Introduzione

La presenza di ostacoli orografici incide significativamente sulla radiazione solare, in particolare sulla presenza o meno della componente diretta e sulla stima della radiazione diffusa.

Il primo passo per effettuare una valutazione dell'incidenza della presenza di ostacoli orografici consiste nella schematizzazione dell'ostacolo stesso.

Come primo caso esemplificativo del problema si considererà l'ostacolo rivolto verso sud, ostacolo che in prima analisi sarà considerato come un parallelepipedo.

In seconda analisi si studierà il caso dell'ostacolo comunque orientato quale può essere appunto l'ostacolo orografico e si darà una schematizzazione del profilo dei monti.

Ottenuto il profilo dei monti in termini angolari si effettuerà il confronto con l'altezza solare ciò ci permetterà di verificare della presenza o meno della radiazione diretta sulla superficie in esame.

La presenza di rilievi non influenza solamente la radiazione diretta ma anche la diffusa.

In particolare si consideri il modello di Perez (1987), esso fornisce il valore della radiazione diffusa su una superficie inclinata schematizzando geometricamente la volta celeste come una semisfera.

L'ostacolo riduce l'angolo solido della volta celeste di una data porzione solida dipendente dal profilo montuoso, la conseguenza sta in una diminuzione della radiazione diffusa sul piano inclinato considerato.

Si lascia ai singoli paragrafi lo sviluppo delle tematiche descritte.

4.2.L'ostacolo semplice rivolto verso sud

Si consideri un ostacolo semplice rivolto a sud secondo lo schema della figura sottostante :

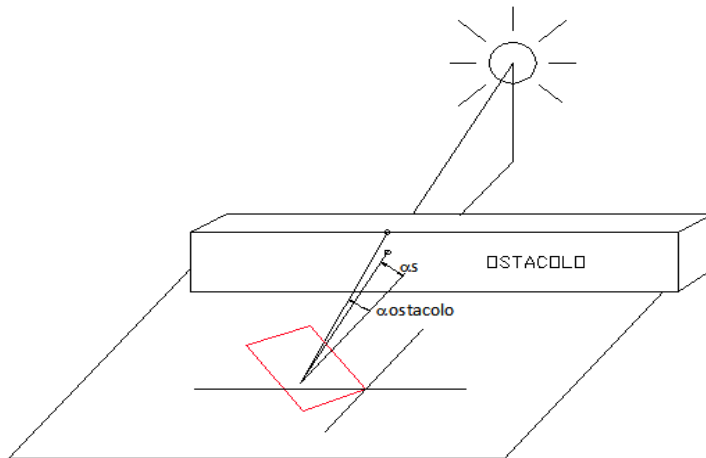


Fig 4.1 Schematizzazione dell'ostacolo rivolto a sud come un parallelepipedo.

Le dimensioni dell'ipotetico ostacolo siano tali da coprire tutto il percorso solare
Quindi l'ostacolo sarà presente in ogni ora del giorno e in ogni orientazione della superficie in esame.

La condizione che l'ostacolo impone si riassume nell'imporre la superficie in ombra se l'altezza solare α_s è inferiore all'angolo tra l'estremità superiore dell'ostacolo e la superficie $\alpha_{ostacolo}$.

Il ciò tradotto in formule significa scrivere :

- $\alpha_s < \alpha_{ostacolo} \rightarrow$ *superficie in ombra (non è presente radiazione diretta)*
- $\alpha_s > \alpha_{ostacolo} \rightarrow$ *superficie al sole (è presente radiazione diretta)*

Il calcolo dell'altezza dell'ostacolo $\alpha_{ostacolo}$ si riconduce ad una semplice ed intuitiva formula trigonometrica :

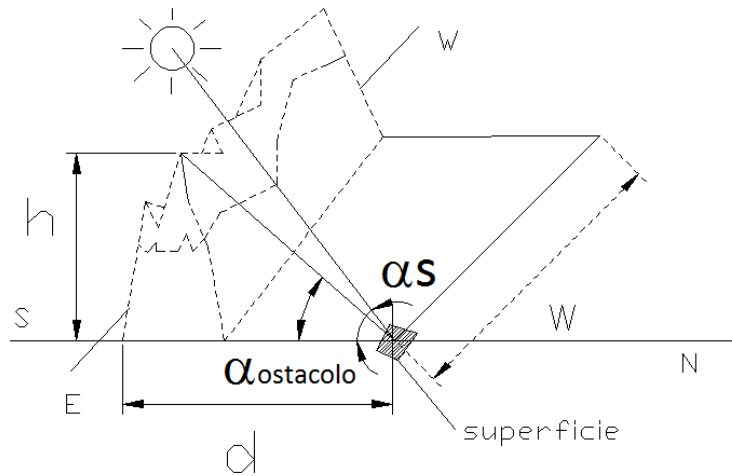


Fig 4.2 Schematizzazione dell'ostacolo complesso rivolto a sud

$$\alpha_{ostacolo} = \arctan \frac{h}{d} \quad (4.1)$$

Con :

- $\alpha_{ostacolo}$ = altezza angolare dell'ostacolo [m]
- h = altezza dell'ostacolo [m]
- d=distanza della superficie dall'ostacolo [m]

4.3. Ostacoli comunque orientati e dotati di profilo complessi

Gli ostacoli naturali alla luce come i rilievi montuosi presentano asperità variabili a seconda della direzione in cui l'osservatore o la superficie sono orientati.

In genere non si tratta mai di singoli ostacoli localizzati ma di serie di ostacoli posti lungo l'angolo giro.

Per questa ragione è significativo dividere i 360° dell'angolo azimutale in frazioni angolari di ampiezza $\Delta\gamma$ ossia in N angoli γ_{pi} .

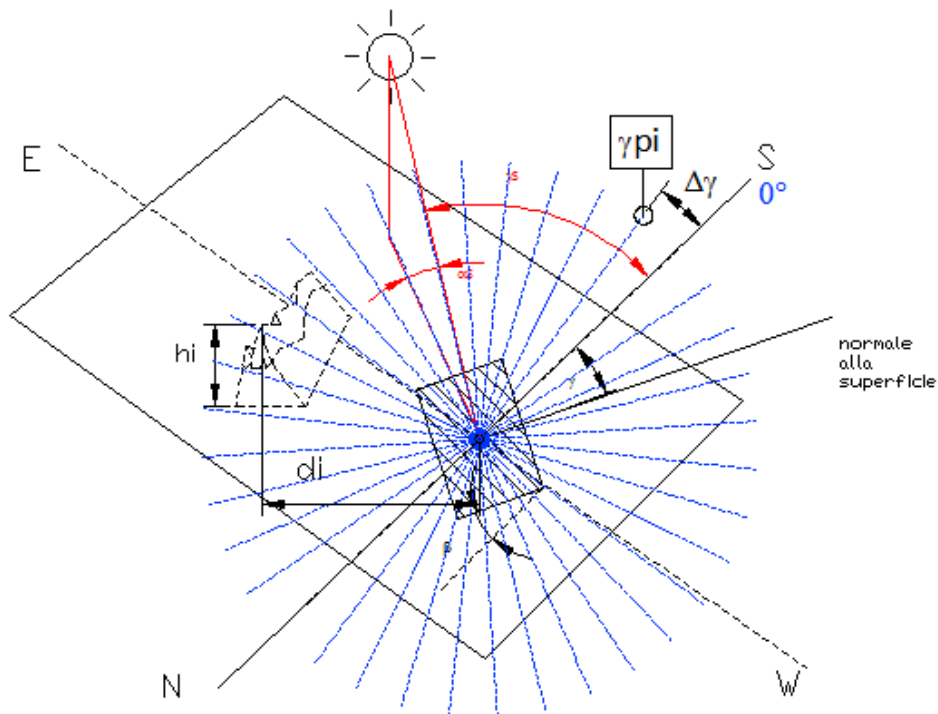


Fig 4.3 Definizione dell'ostacolo comunque orientato sull'angolo giro.

Si consideri come punto di riferimento la direzione sud che corrisponderà a 0° .

Ognuno degli angoli γ_{pi} sarà ottenuto sommando i volte l'intervallo $\Delta\gamma$ all'angolo di riferimento 0° .

Per ognuno di detti angoli si è proceduto al ricavare l'altezza dell'ostacolo e la relativa distanza, ottenendo così il profilo completo delle altezze.

Profilo al quale si associa il relativo angolo d'ombra dell'ostacolo utilizzando la formula (4.1).

Si avranno quindi coppie di valori $\gamma_{pi}, \alpha_{ostacolo}$.

Non resta che associare gli angoli azimutali solari γ_s ai corrispettivi γ_{pi} ,

si noti che per fare ciò è necessario trasformare gli azimut solari in valori positivi su tutto l'angolo giro.

ricordiamo che γ_s nell'emisfero boreale è positivo nei quadranti est e negativo negli ovest (prendendo come riferimento 0° la direzione sud).

Quindi si imporrà :

$$\gamma_s \rightarrow \gamma_s > 0^\circ \quad (4.2)$$

$$2\pi + \gamma_s \rightarrow \gamma_s < 0^\circ \quad (4.3)$$

Si proceda quindi alla verifica della condizione :

$$\alpha_{ostacolo} > \alpha_s \rightarrow \text{OMBRA} \quad (4.4)$$

$$\alpha_{ostacolo} < \alpha_s \rightarrow \text{RADIAZIONE DIRETTA} \quad (4.5)$$

Detta condizione è relativa solamente all'ostacolo ma si ricordi che un'altra condizione che deve essere necessariamente verificata è che la superficie veda il sole ossia :

$$\gamma - \gamma_s < 90 \quad (4.6)$$

4.4.Modifica del modello di Perez a causa dell'ostacolo

Come già espresso in precedenza il modello di Perez(1987) considera la volta celeste come suddivisa in tre parti circumsolare, orizzontale e zona rimanente ed è quest'ultima che risulta ridotta dalla presenza dell'ostacolo ossia vedo una porzione in meno della volta celeste.

Detta porzione si può quantificare in funzione dell'altezza angolare dell'ostacolo

$\alpha_{ostacolo}$ e dall'intervallo angolare azimutale che occupa $\gamma_{ostacolo}$ ricavato dal prodotto del numero di intervalli per l'ampiezza degli intervalli stessi.

$$\gamma_{ostacolo} = n_{intervalli} * \Delta\gamma \quad (4.7)$$

Mediante il semplice prodotto angolare :

$$w_{ostacolo} = \alpha_{medio -ostacolo} * \gamma_{ostacolo} \quad (4.8)$$

Ricavato l'angolo solido dell'ostacolo si valuti l'incidenza di detta variazione sul modello di Perez.

Senza modificare la struttura del modello che richiede studi appositamente dedicati risulta conveniente fornire una stima approssimata della riduzione del valore della radiazione diffusa mediante un coefficiente di riduzione dell'angolo solido R_{as} .

$$R_{as} = \left(\frac{2\pi - w_{ostacolo}}{2\pi} \right) \quad (4.9)$$

Quindi il valore corretto della radiazione diffusa sarà dato dalla moltiplicazione del valore della radiazione sulla superficie inclinata ottenuta senza ostacolo per il valore di R_{as} .

$$I_{Td-ost} = I_{Td} R_{as} \quad (4.10)$$

CAPITOLO 5 :

Analisi delle prestazioni dei modelli di previsione

5.1.Introduzione

Nella valutazione delle prestazioni dei modelli di stima visti nei capitoli precedenti si sono analizzati i dati per tre località : Roma, Torino, Golden (Colorado).

Queste località hanno caratteristiche climatiche e orografiche diverse, il ciò permette di verificare l'influenza delle diverse condizioni sulle prestazioni dei modelli.

Si analizzi più nel dettaglio il clima, i dati disponibili e il tipo di confronto possibile per queste località :

- Roma (LAT : 41°55'E LONG : 12° 30' N)

Il clima è mediterraneo con inverni e estati generalmente miti, risente inoltre di influenze marittime che provocano precipitazioni abbastanza frequenti.

Roma è posta a 29 m sul livello del mare e non presenta rilievi orografici rilevanti.

Le informazioni disponibili sotto forma di profili orari per l'intero anno solare sono :

- Radiazione extraterrestre orizzontale (calcolata attraverso relazioni geometrico astronomico sulla posizione terra-sole)
- Radiazione globale e diffusa sull'orizzontale.
- Temperatura

La fonte dei dati su cui si sono valutate le prestazioni dei modelli sono le serie storiche del programma (Energy plus simulation software, dati climatici) fornite dal dipartimento di energia americano (U. S. DOE) .

Esse consistono in rielaborazione di dati medi statistici, la cui fonte è l'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

Per questa località è possibile solamente una valutazione dei modelli di stima della radiazione diffusa sul piano orizzontale.

- Torino (LAT 45,06° N LONG 7,7°E)

Il clima è continentale con inverni freddi e piovosi ed estati mediamente calde ma con precipitazioni frequenti.

Torino è posta a 239 m sul livello del mare ed è circondata dalle Alpi le quali però essendo a distanze dell'ordine dei 50 km poco influiscono sulla stima della radiazione.

Le informazioni disponibili per l'intero anno solare sono :

- Radiazione extraterrestre orizzontale (calcolata attraverso relazioni astronomico geometriche sulla posizione terra-sole)
 - Radiazione globale e diffusa sull'orizzontale.
 - Temperatura

La fonte dei dati di radiazione per Torino sono le stesse utilizzate per l'analisi fatta per Roma ossia le serie storiche del programma (Energy plus simulation software, dati climatici).

Per questa località è possibile solamente una valutazione dei modelli di stima della radiazione diffusa sul piano orizzontale.

- Golden (Colorado, USA) (LAT 39,74 N LONG 105,18 W)

Il clima è continentale secco con inverni freddi e precipitazioni limitate, estati torride senza precipitazioni.

Golden è su di un altipiano posto a 1829 m sul livello del mare l'elevata quota impedisce l'arrivo di perturbazioni.

A livello orografico vi sono rilievi di scarsa entità in direzione ovest.

Per questa località vi sono molti dati disponibili per l'intero anno solare:

- Radiazione extraterrestre, globale, diffusa sull'orizzontale.
- Temperatura
- Radiazione globale su pareti verticali rivolte nei quattro punti cardinali e relativa ad un piano inclinato di 40° rivolto a sud.
 - Albedo

I dati sono stati ricavati dal database del Solar Research laboratory BMS ;(I dati sono stati ricavati dal database del Solar Research laboratory BMS ;(ora NREL, National Research Energy Laboratory), ossia l'agenzia di ricerca e rilevamento statunitense per l'energia.

La disponibilità di dati sperimentali rende possibile operare un confronto sia per i modelli di stima della radiazione sull'orizzontale che dei modelli di stima sul piano inclinato.

Si presta particolare attenzione al modello di Erbs per la previsione della radiazione diffusa orizzontale in quanto indicato nella normativa europea ENISO 15927-1 :2004.

5.2. Analisi dei dati e valutazione dei modelli di stima della radiazione sul piano orizzontale

Le località di riferimento per valutazione delle prestazioni dei modelli di stima della radiazione sul piano orizzontale sono Roma, Golden, Torino.

In prima analisi si effettuò un confronto grafico sulle prestazioni dei modelli nelle diverse località valutando l'indice di nitidezza del cielo k_d rispetto all'indice di luminosità k_t per le varie località :

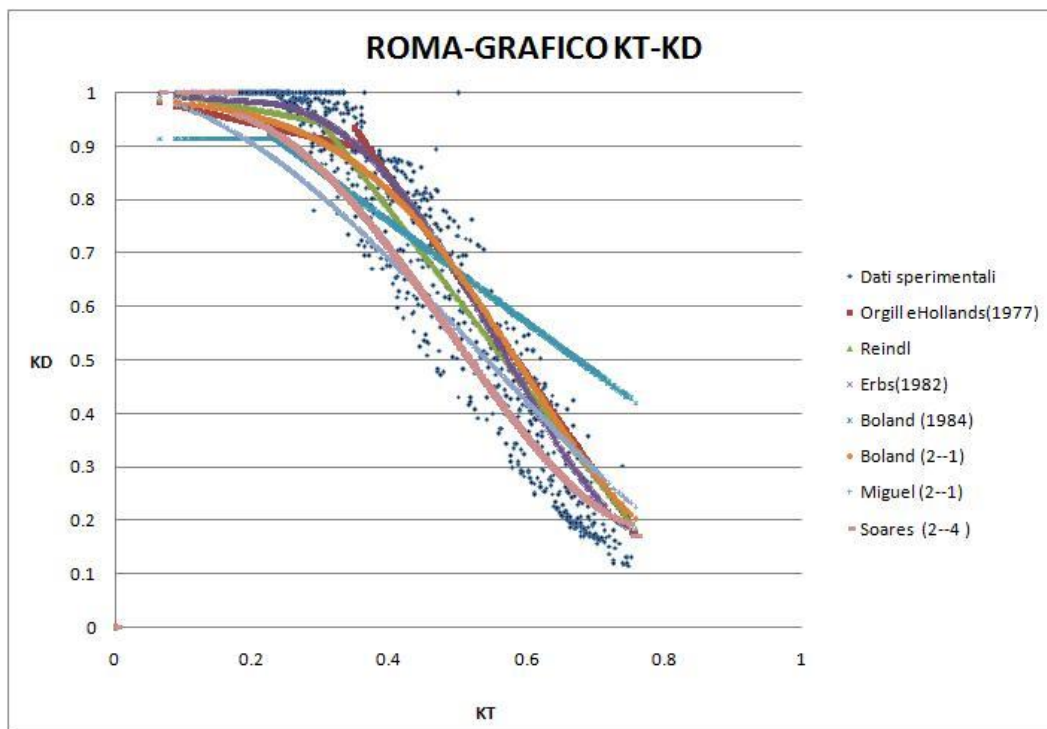


Fig 5.1 Frazione diffusa K_d in funzione dell'indice di luminosità del cielo K_t riferito a Roma

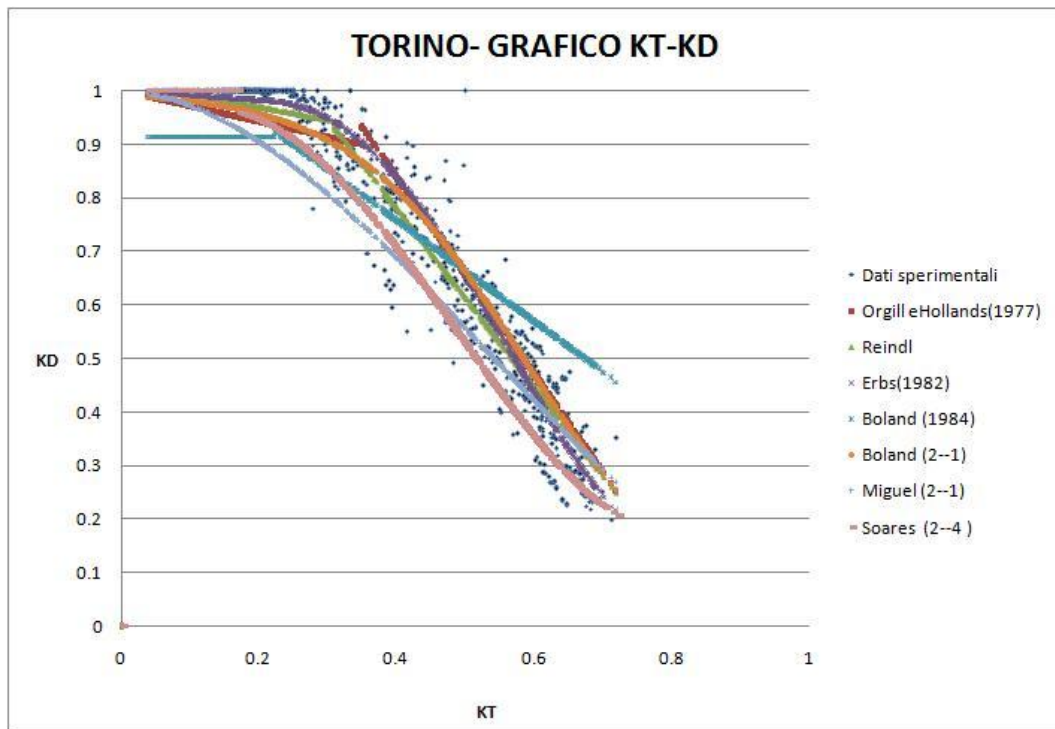


Fig 5.2 Frazione diffusa K_d in funzione dell'indice di luminosità del cielo K_t riferito a Torino

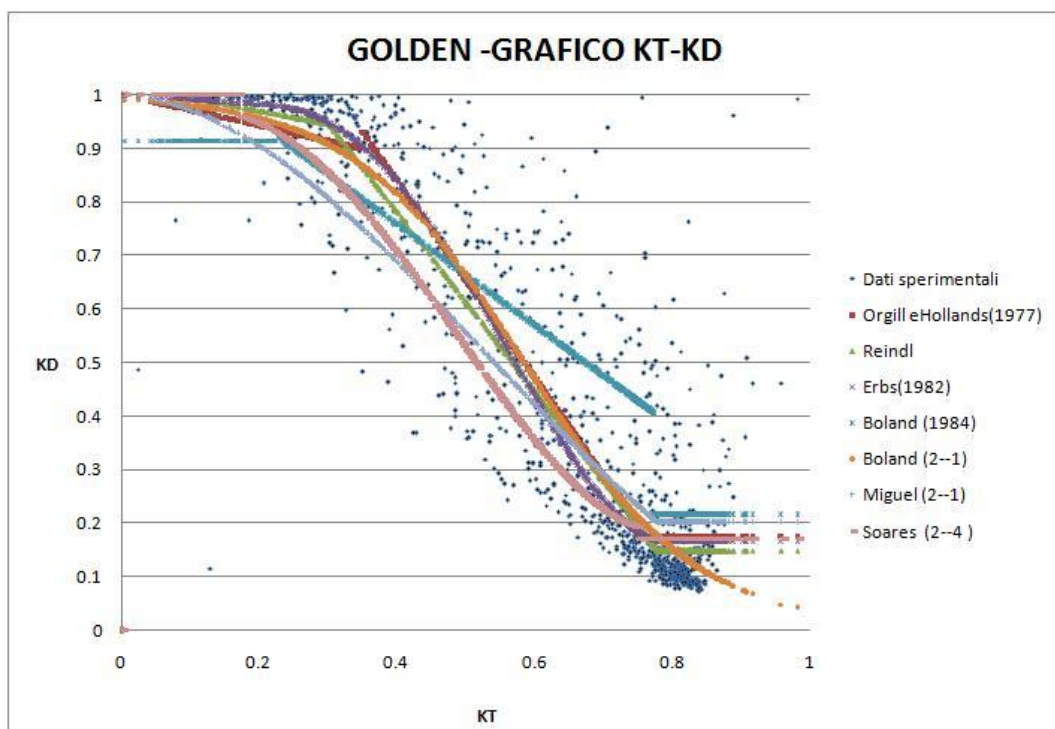


Fig 5.3 Frazione diffusa K_d in funzione dell'indice di luminosità del cielo K_t riferito a Golden

CAPITOLO 5

Dall'analisi dei dati delle tre località in esame si notano alcuni comportamenti comuni, quali una generale sottostima della frazione diffusa nei cieli coperti (per valori ridotti di K_t) ed una sovrastima per i cieli sereni (valori elevati di K_t), il ciò risulta più accentuato per Golden e meno per Torino.

Questo perché Golden è situato su di un altipiano con cieli estremamente tersi e liberi da polveri, in condizioni di cielo sereno la frazione diffusa risulta quindi ridotta rispetto alla prevista, mentre a Torino le giornate non sono mai completamente limpide ed anche in condizioni di cielo sereno la frazione diffusa è lievemente superiore alle previsioni.

La sola analisi grafica d'insieme fornisce una visione del comportamento in termini globali a cui va affiancata una valutazione del comportamento per ogni singola località.

In particolare nei paragrafi successivi si procederà a riportare i risultati circa la frazione diffusa, l'errore percentuale con la relativa distribuzione in frequenza, l'errore medio percentuale MBE %, lo scarto quadratico medio percentuale (RMSE %) per ogni località su base annuale.

Si prenderanno in considerazione due giornate tipo : una invernale (21 Gennaio) ed una estiva (21 luglio) le quali cadono esattamente 31 giorni dopo l'inizio della stagione invernale e estiva.

Questa analisi permetterà di classificare i modelli in base alle prestazioni e di individuare il migliore ed il peggiore.

5.2.1. Analisi dei dati di Roma

Si analizzino i grafici di confronto fra i dati disponibili per Roma e i corrispondenti ottenuti tramite i modelli di previsione per le due giornate tipo considerate.

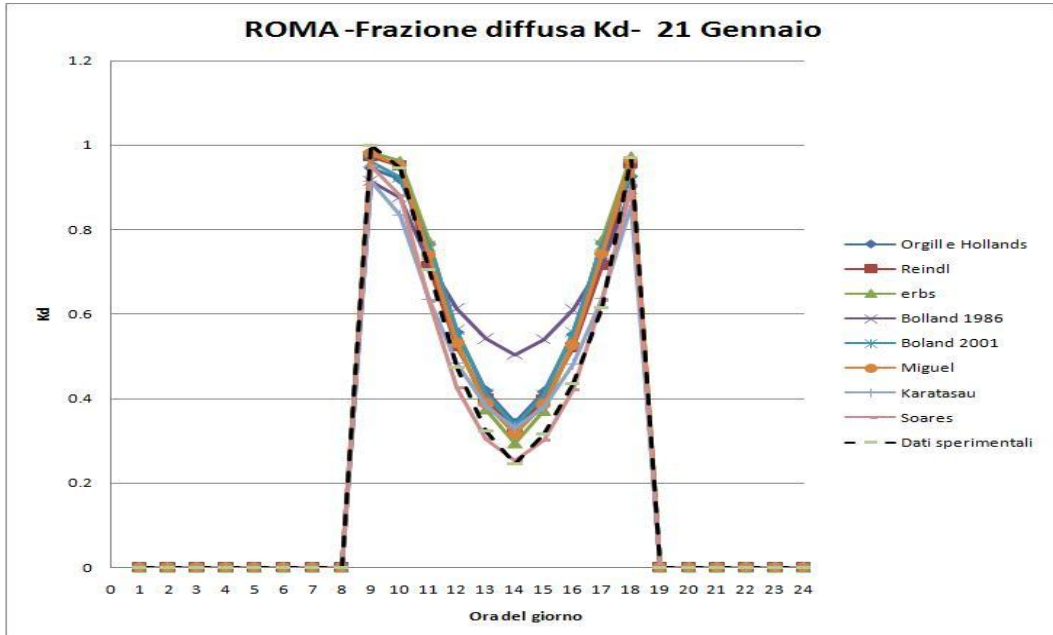


Fig 5.4 Confronto fra i dati sperimentali e quelli forniti dai modelli di previsione riferiti a Roma al 21 Gennaio

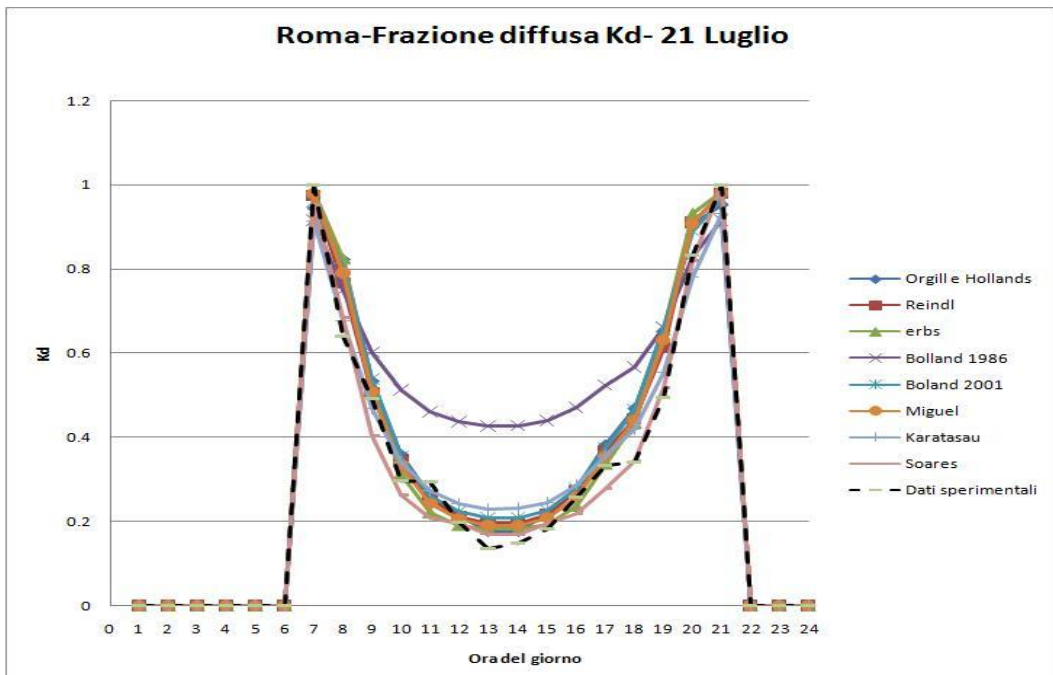


Fig 5.5 Confronto fra i dati sperimentali e quelli forniti dai modelli di previsione riferiti a Roma al 21 Luglio

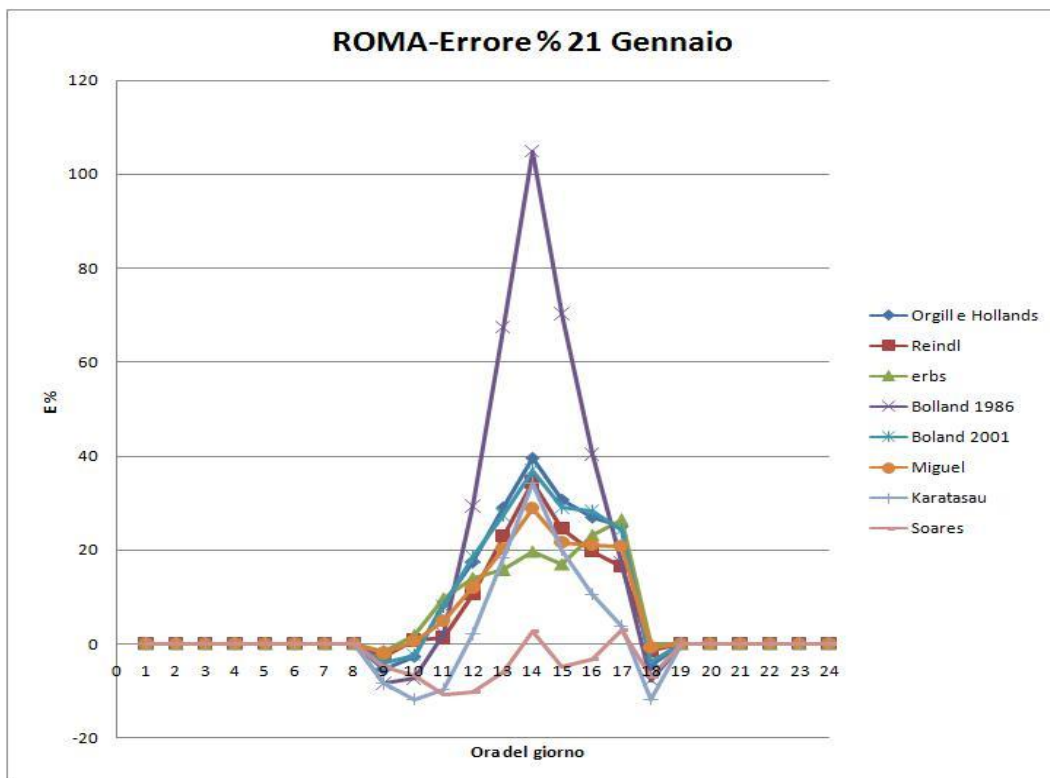


Fig 5.6 Errore percentuale riferito ai dati di Roma al 21 Gennaio

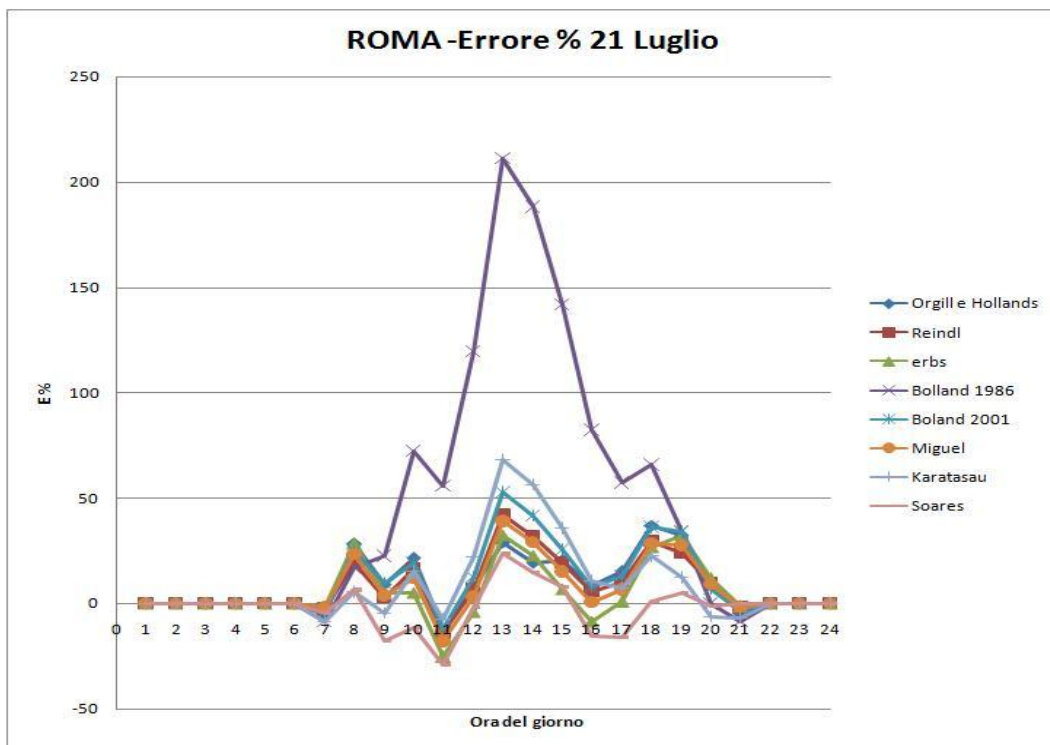


Fig 5.7 Errore percentuale riferito ai dati di Roma al 21 Luglio

Innanzitutto si nota che il modello di Bolland (1986) è il peggiore in assoluto, esso sovrastima di molto la radiazione diffusa, in maniera più accentuata in estate rispetto all'inverno.

In generale si può notare un comportamento comune dei modelli il cui andamento degli errori ha una variabilità superiore in estate, dove si hanno gli errori più rilevanti con un picco di sovrastima nel primo pomeriggio, mentre in inverno si hanno errori minori in valore assoluto e una distribuzione più omogenea che tende a sovrastimare la radiazione rispetto ai valori di riferimento.

Dall'analisi dei grafici si evince che il modello meno influenzato dalla stagionalità che sia in estate che in inverno da valori assoluti dell'errore inferiori è il modello di Erbs, detta superiorità è confermata inoltre anche dal confronto grafico con gli altri modelli analizzati.

Una ulteriore conferma della bontà del modello di Erbs sta nella distribuzione in frequenza dell'errore percentuale dove il modello di Erbs è centrato nell'intorno dello zero.

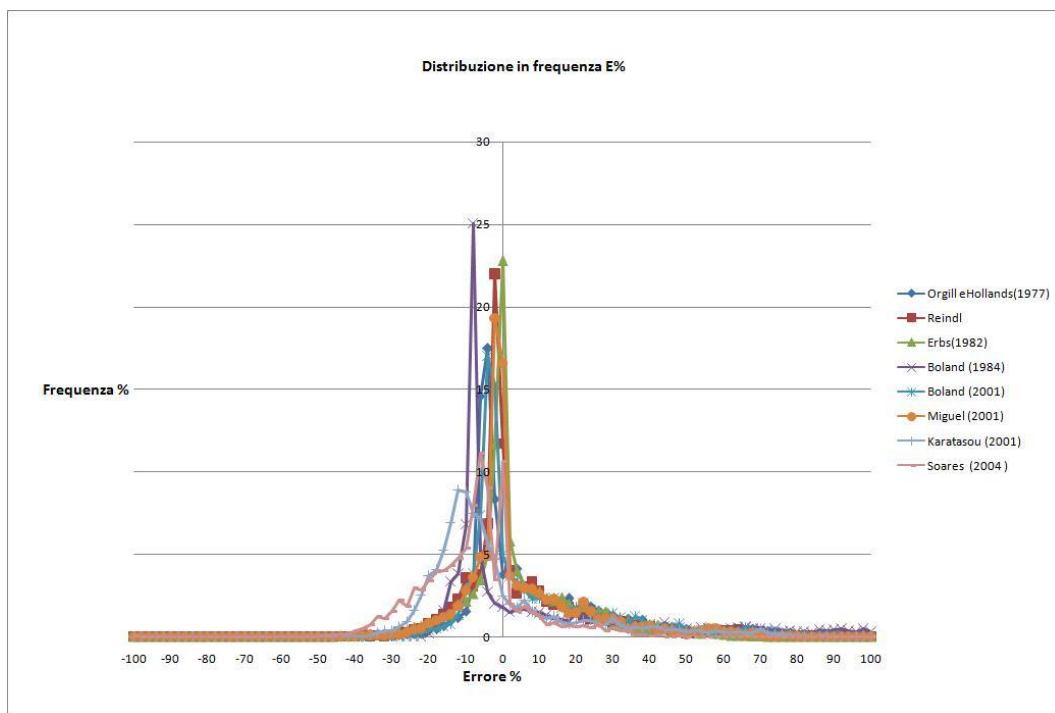


Fig 5.8 Distribuzione in frequenza dell'errore percentuale riferita ai dati di Roma

Si valuti quindi la probabilità P% che un generico dato cada in un intervallo d'errore fissato, si imponga un errore percentuale $E\%=10\%$.

CAPITOLO 5

Detta probabilità corrisponde all'area sottesa dalla curva di distribuzione degli errori per l'intervallo d'errore considerato.

Si riportano in tabella i valori ricavati per Roma :

Tabella 5.2 Probabilità percentuale P % riferito a Roma

P% (E%=10%)							
Orgill eHollands (1977)	Reindl (1990)	Erbs(1982)	Boland (1984)	Boland (2001)	Miguel (2001)	Karatasou (2001)	Soares (2004)
61.10	60.42	60.95	42.82	60.57	61.89	34.92	49.11

Come ulteriore conferma delle considerazioni appena fatte osservando i grafici si procederà alla valutazione di alcuni parametri statistici, le cui definizioni sono riportate di seguito :

$$\text{Errore medio (MBE\%)} \quad MBE\% = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)}{N X_m} 100 \quad (6.1)$$

$$\text{Scarto quadratico medio (RMSE\%)} \quad RMSE\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{N}} \frac{100}{X_m} \quad (6.2)$$

Per ulteriori approfondimenti circa la definizione di detti parametri si rimanda all'appendice 1.

Si riportano i risultati ottenuti nelle tabelle a seguire.

Tabella 5.3 Errore medio percentuale riferito a Roma

MBE %-Errore medio percentuale							
Orgill e Hollands (1977)	Reindl (1990)	Erbs (1982)	Boland (1984)	Boland (2001)	Miguel (2001)	Karatasou (2001)	Soares (2004)
0.91	0.70	0.69	3.02	0.84	0.66	1.73	1.46

Tabella 5.4 Scarto quadratico medio percentuale riferito a Roma

RMSE-Scarto quadratico medio percentuale							
Orgill eHollands (1977)	Reindl (1990)	Erbs (1982)	Boland (1984)	Boland (2001)	Miguel (2001)	Karatasou (2001)	Soares (2004)
11.54	0.16	0.20	0.35	0.24	0.18	0.08	0.05

Dalla valutazione dell'errore medio e dello scarto quadratico medio si evince che il modello di Erbs risulta essere il migliore fra gli analizzati.

5.2.2. Analisi dei dati di Torino

Si analizzino i grafici di confronto fra i dati disponibili per Torino e i corrispondenti ottenuti tramite i modelli di previsione per le due giornate tipo considerate.

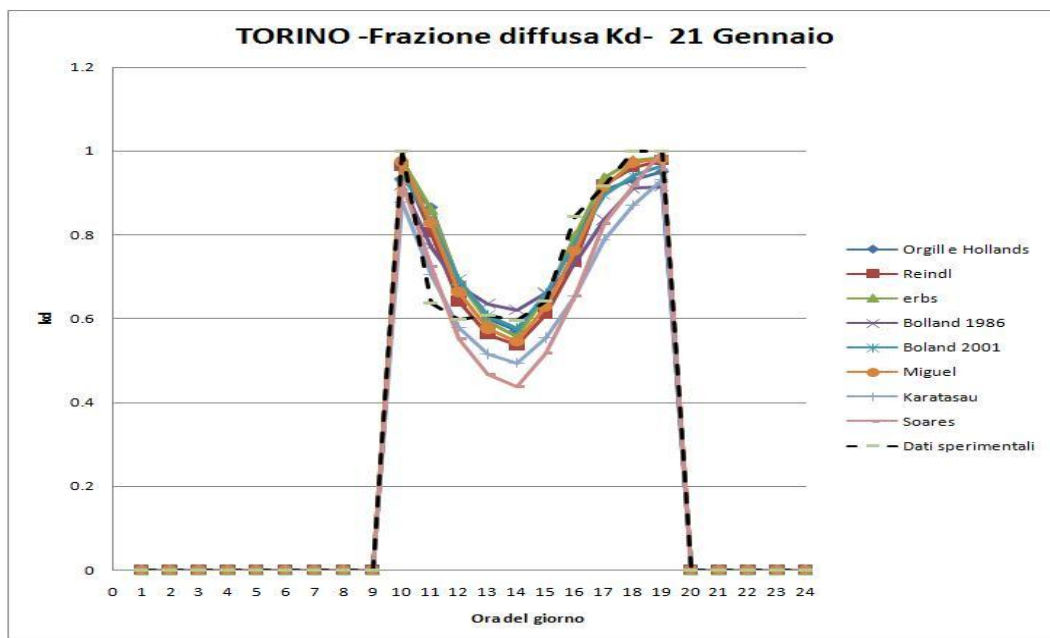


Fig 5.9 Confronto fra i dati sperimentali e quelli forniti dai modelli di previsione riferiti a Torino al 21 Gennaio

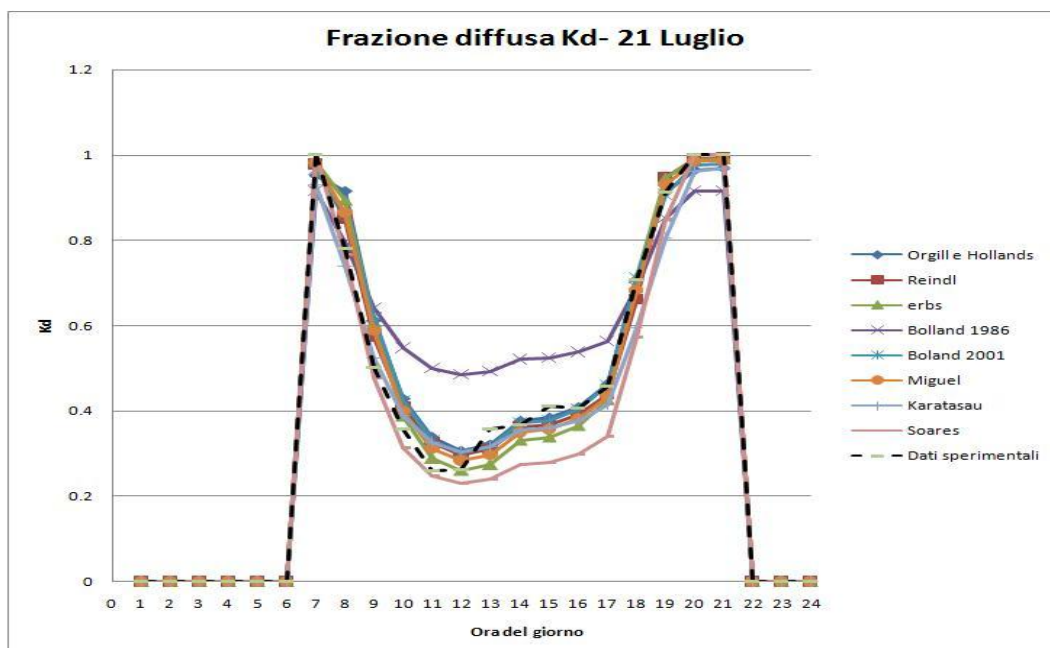


Fig 5.10 Confronto fra i dati sperimentali e quelli forniti dai modelli di previsione riferiti a Torino al 21 Luglio

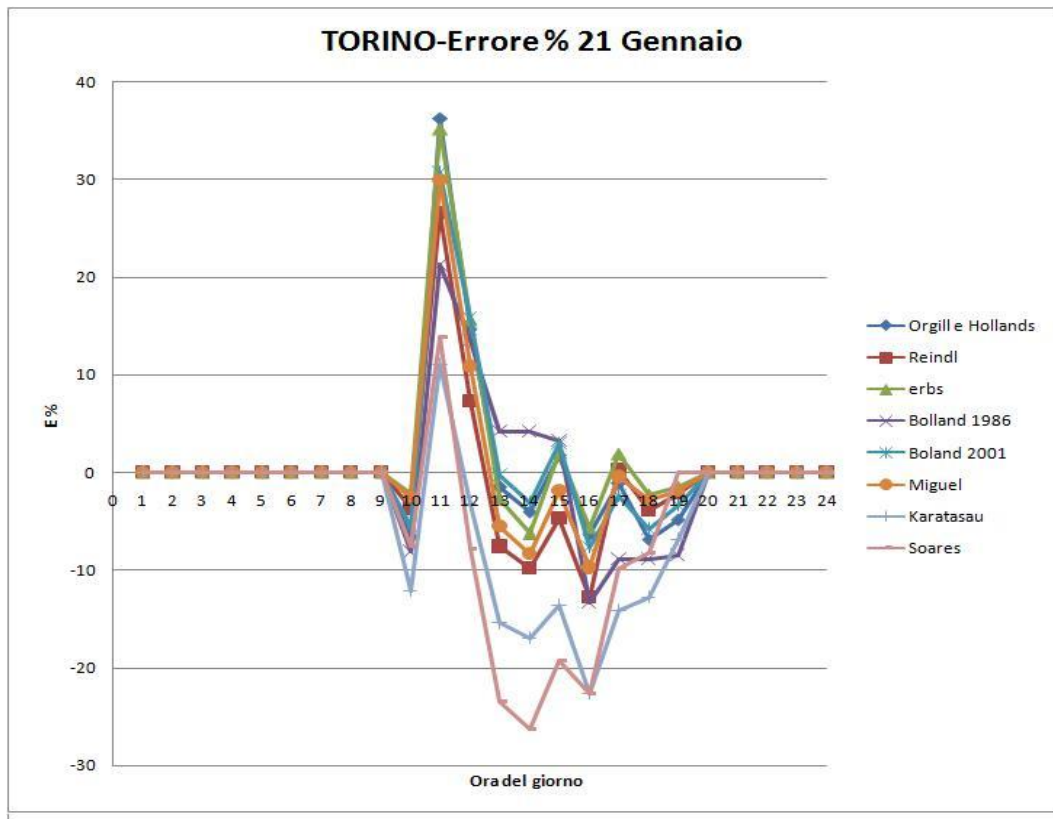


Fig 5.11 Errore percentuale riferito ai dati di Torino al 21 Gennaio

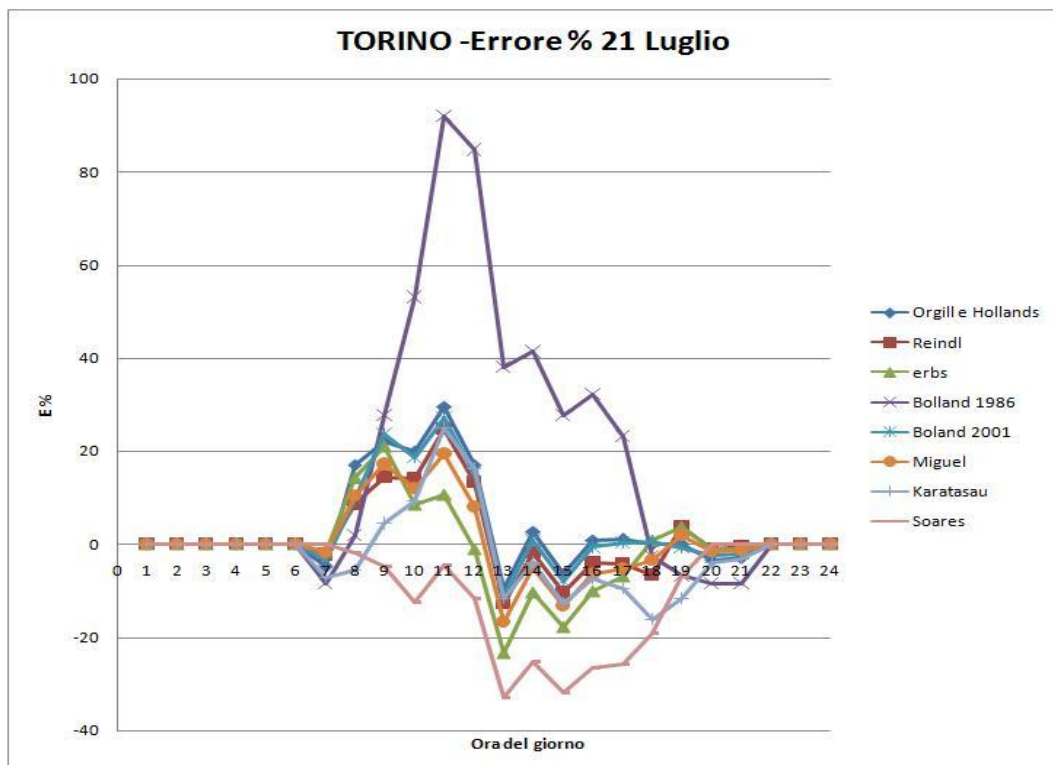


Fig 5.12 Errore percentuale riferito ai dati di Torino al 21 Luglio

CAPITOLO 5

I dati ottenuti per Torino ci mostrano una sensibile differenza nella distribuzione degli errori.

Sia nel campione estivo che invernale l'andamento dell'errore assume una configurazione diversa rispetto a quanto ottenuto per Roma.

Nella giornata invernale vi è una notevole diminuzione dell'errore per il metodo di Bolland mentre nella stagione estiva ritorna ad avere un errore consistente nelle ore centrali della giornata.

In generale si può notare un miglioramento delle prestazioni in tutti i modelli, situazione che viene confermata anche dall'analisi della distribuzione in frequenza degli errori dove per tutti i modelli le frequenze massime sono più elevate rispetto ai valori rilevati per Roma.

Si noti inoltre come il modello di Erbs abbia valori più elevati rispetto agli altri e posti in prossimità dello zero.

Questo ci dice che il modello ben si adatta al clima di Torino.

Si riporta per completezza la distribuzione in frequenza dell'errore percentuale.

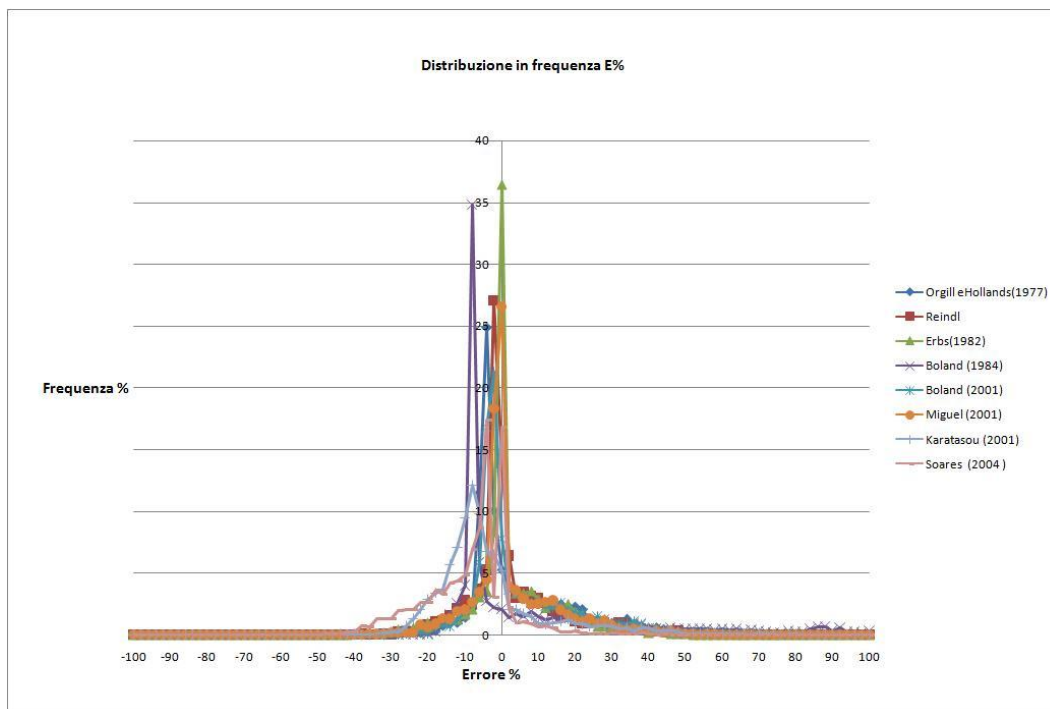


Fig 5.13 Distribuzione in frequenza dell'errore percentuale riferita ai dati di Torino

Nelle tabelle sottostanti si riportano i dati relativi alla P% che un generico valore cada nell'intervallo d'errore percentuale $E\%=10\%$, valutando inoltre l'errore medio e lo scarto quadratico medio :

Tabella 5.5 Probabilità percentuale P % riferito a Torino

P% (E%=10%)							
Orgill eHollands (1977)	Reindl (1990)	Erbs (1982)	Boland (1984)	Boland (2001)	Miguel (2001)	Karatasou (2001)	Soares (2004)
67.06	68.23	67.69	54.41	66.95	68.47	47.67	58.08

Tabella 5.6 Errore medio percentuale riferito a Torino

MBE %-Errore medio percentuale							
Orgill eHollands (1977)	Reindl (1990)	Erbs (1982)	Boland (1984)	Boland (2001)	Miguel (2001)	Karatasou (2001)	Soares (2004)
0.64	0.44	0.48	2.23	0.55	0.42	1.23	1.12

Dalla valutazione dell'errore medio e dello scarto quadratico medio si evince che vi sono dei modelli che si comportano meglio degli altri, questi sono i modelli di Erbs (1982), Reidl (1990), Bolland(1984), Miguel (2001).

Tabella 5.7 Scarto quadratico medio percentuale riferito a Torino

RMSE%-Scarto quadratico medio percentuale							
Orgill eHollands (1977)	Reindl (1990)	Erbs(1982)	Boland (1984)	Boland (2001)	Miguel (2001)	Karatasou (2001)	Soares (2004)
9.38	0.04	0.07	0.002	0.06	0.007	0.19	0.22

5.2.3. Analisi dei dati di Golden (Colorado, USA)

Per Golden è possibile sia l'analisi delle prestazioni dei modelli su superficie orizzontale che inclinata.

L'analisi delle prestazioni dei modelli per la previsione della radiazione su superfici inclinate verrà trattata nel prossimo paragrafo mentre in questo si tratterà l'analisi dei dati su piano orizzontale.

Questo verrà fatto seguendo di pari passo l'analisi già svolta per Roma e Torino che consta della valutazione del comportamento in una giornata estiva e in una invernale e della distribuzione in frequenza degli errori nonché della valutazione dei parametri statistici standard MBE% e RMSE %.

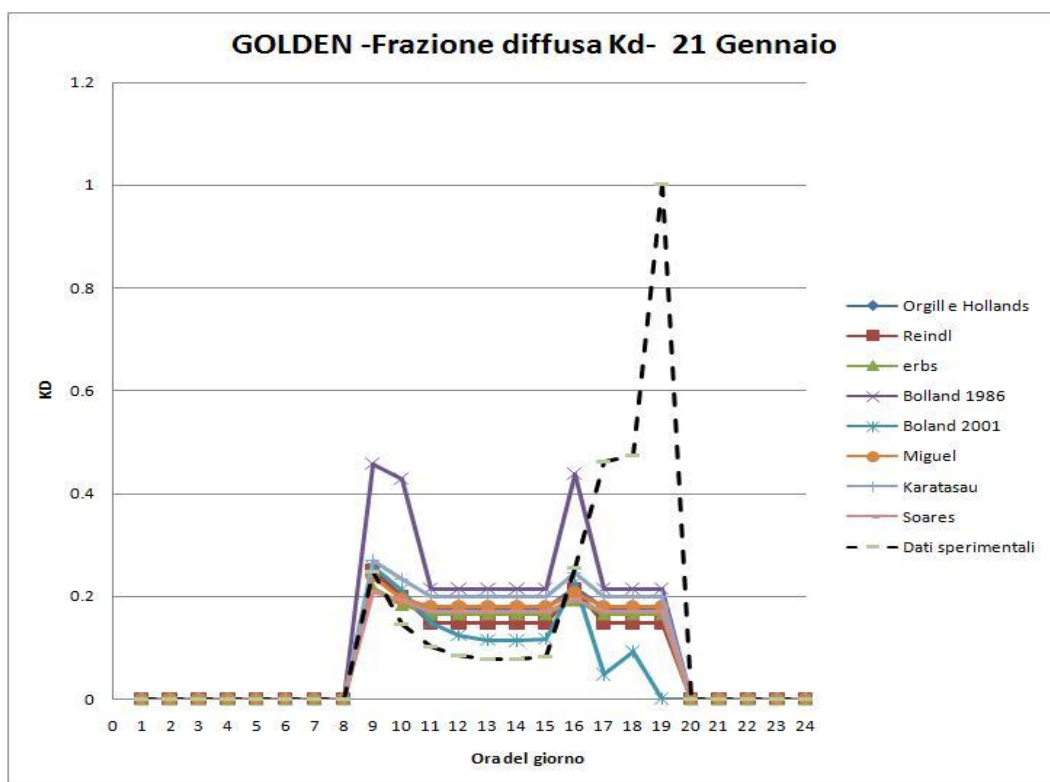


Fig 5.14 Confronto fra i dati sperimentali e quelli forniti dai modelli di previsione riferiti a Golden il 21 Gennaio

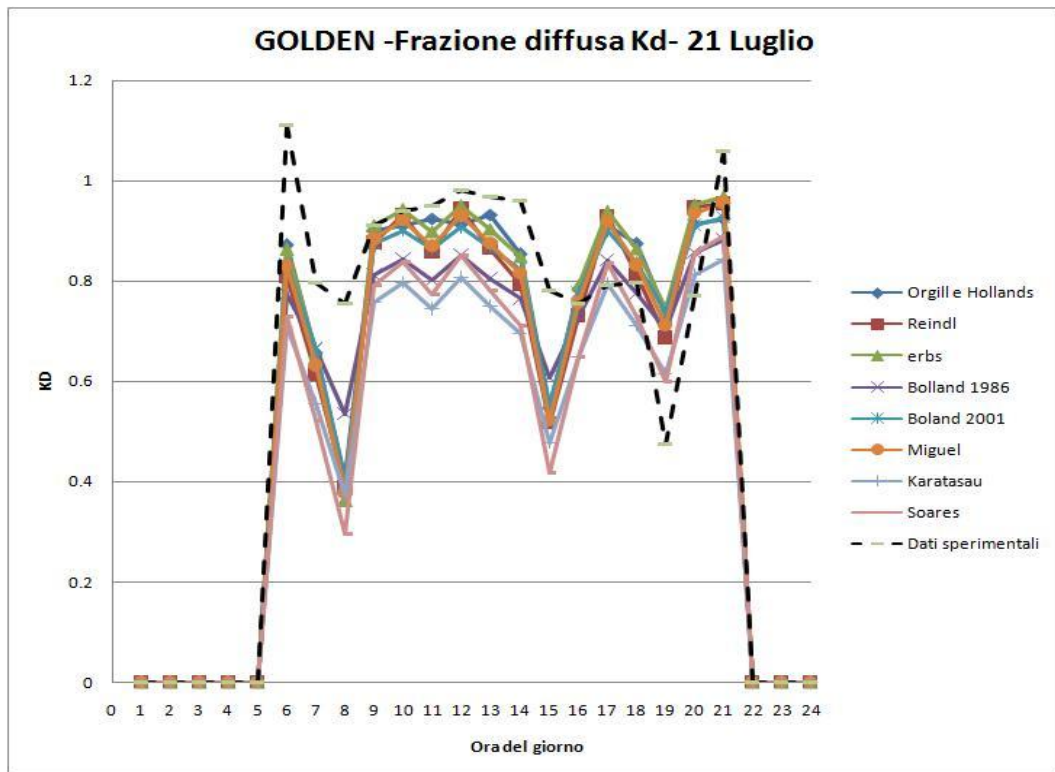


Fig 5.15 Confronto fra i dati sperimentali e quelli forniti dai modelli di previsione riferiti a Golden al 21 Luglio

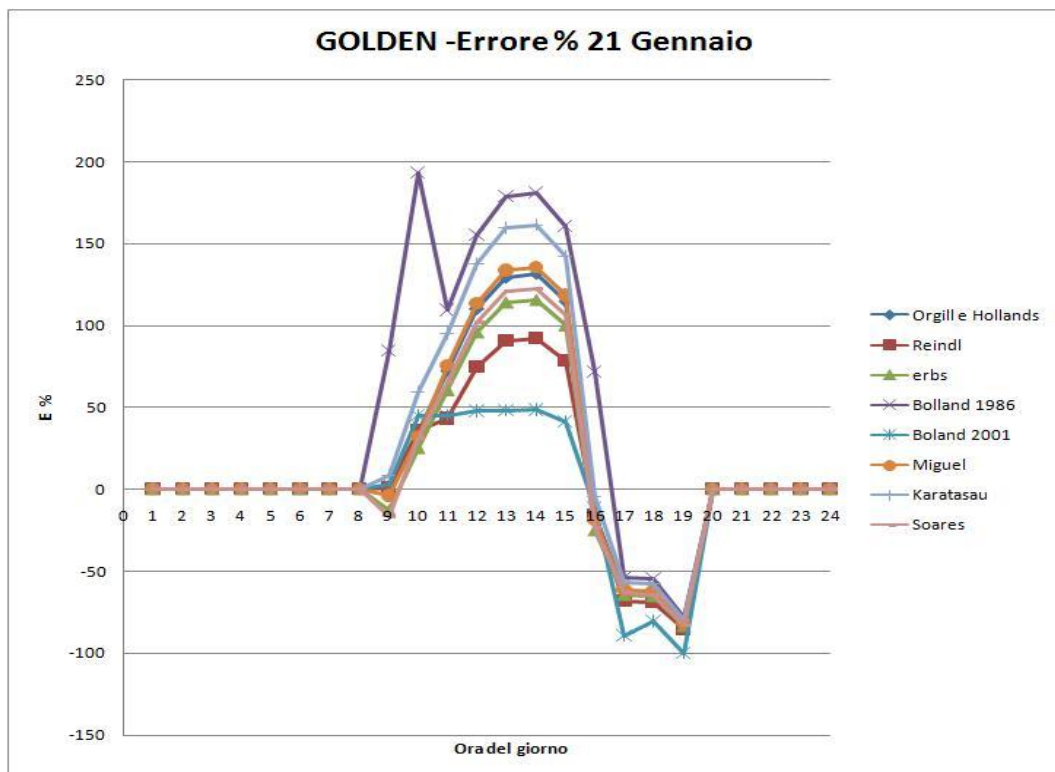


Fig 5.16 Errore percentuale riferito ai dati di Golden al 21 Gennaio

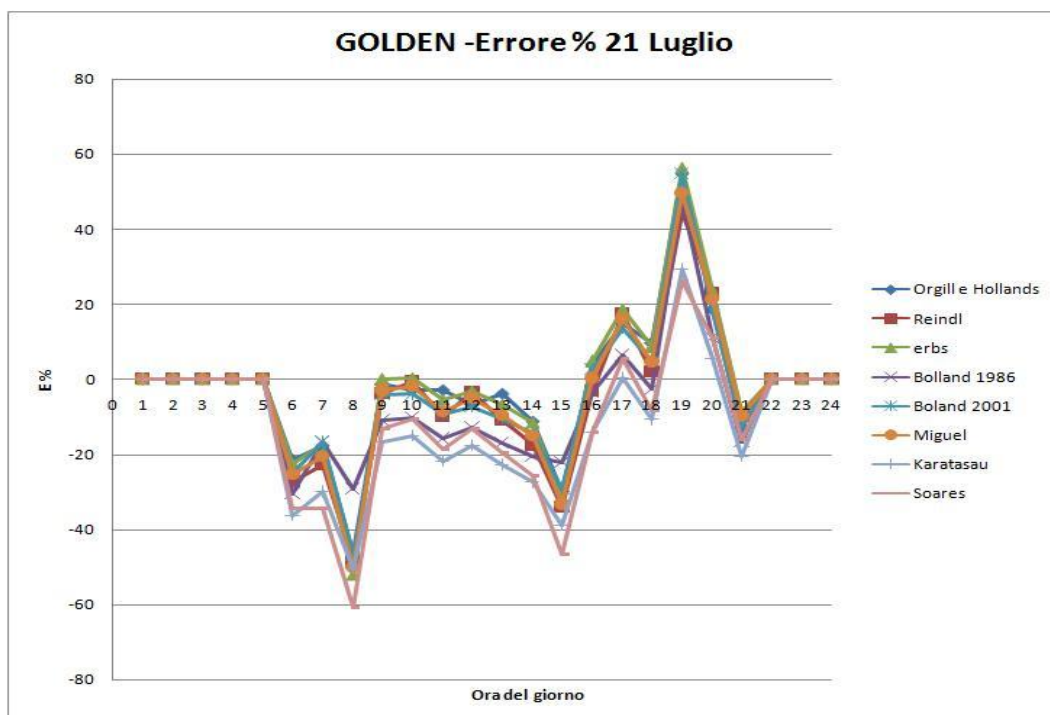


Fig 5.17 Errore percentuale riferito ai dati di Golden al 21 Luglio

Il comportamento dei modelli per Golden è differente sia qualitativamente che quantitativamente rispetto alle altre località analizzate, mentre per Torino sia la giornata invernale che l'estiva erano caratterizzate da una sovrastima e poi da un andamento fluttuante sullo zero qui si ha un comportamento diverso.

In inverno al mattino c'è una sovrastima netta e al pomeriggio una sottostima marcata.

In estate ad un'iniziale sottostima mattutina segue una fase di errore prossimo allo zero verso mezzogiorno e una sovrastima pomeridiana della radiazione.

Per Golden si hanno le peggiori prestazioni in assoluto questo si evince sia dall'analisi dei grafici che dalla valutazione dei parametri statistici standard :

Tabella 5.8 Errore medio percentuale riferito a Golden

MBE %-Errore medio percentuale							
Orgill eHollands (1977)	Reindl (1990)	Erbs(1982)	Boland (1984)	Boland (2001)	Miguel (2001)	Karatasou (2001)	Soares (2004)
9.32	9.16	9.32	11.56	9.39	9.23	9.88	9.97

Tabella 5.9 Scarto quadratico medio percentuale riferito a Golden

RMSE-Scarto quadratico medio percentuale							
Orgill eHollands (1977)	Reindl (1990)	Erbs(1982)	Boland (1984)	Boland (2001)	Miguel (2001)	Karatasou (2001)	Soares (2004)
41.36	0.003	0.003	0.19	0.04	0.007	0.10	0.04

Si confrontino a scopo di verifica del comportamento nelle diverse località in esame i parametri statistici standard per il modello di Erbs (1982).

Questo si consideri come modello di riferimento date le sue buone prestazioni generali.

Tabella 5.10 Confronto dei parametri statistici standard per le le varie località

MODELLO DI ERBS	MBE%	RMSE %
ROMA	0.70	0.20
TORINO	0.48	0.07
GOLDEN	9.32	0.003

Dalla tabella si conferma le basse prestazioni di Golden rispetto alle altre località

Infatti si noti l'elevato valore dell'errore medio MBE%.

Inoltre il basso valore dello scarto quadratico medio RMSE % ci dice che vi è una parziale compensazione degli errori .

CAPITOLO 5

Si riporta la distribuzione in frequenza dell'errore percentuale :

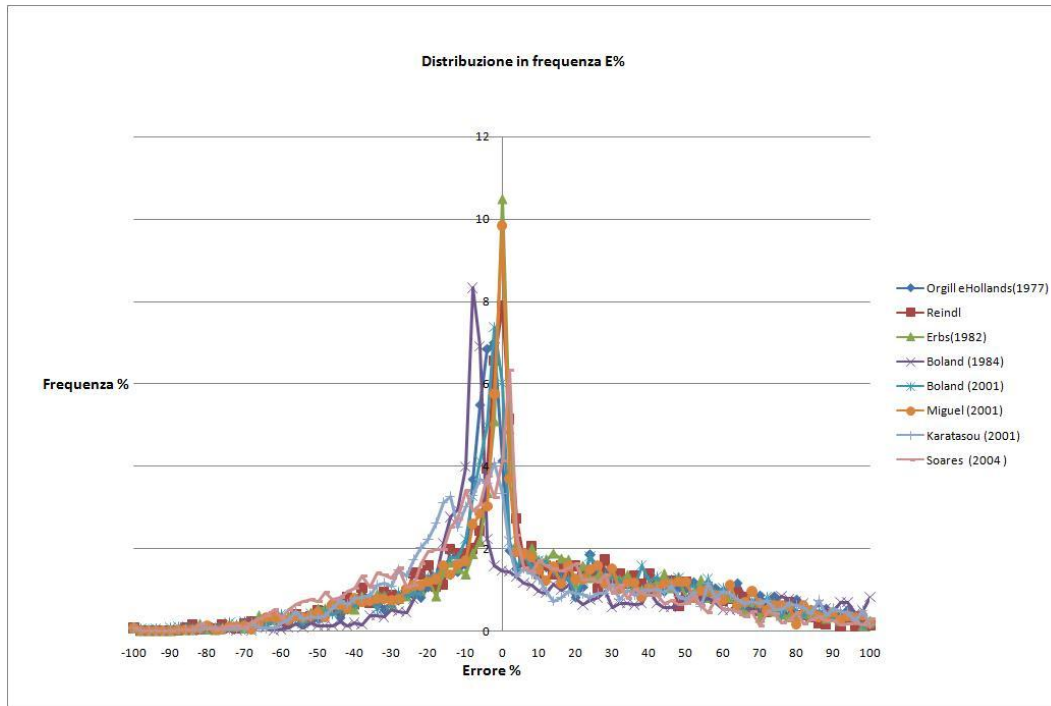


Fig 5.18 Distribuzione in frequenza dell'errore percentuale riferita ai dati di Golden

Si valuti quindi la probabilità P% che un generico valore cada nell'intervallo fissato, per Golden come area sottesa dalla curva é delimitata dall'errore percentuale imposto E %=10%.

Tabella 5.11 Probabilità percentuale P % riferito a Golden

P% (E%=10%)							
Orgill eHollands (1977)	Reindl (1990)	Erbs (1982)	Boland (1984)	Boland (2001)	Miguel (2001)	Karatasou (2001)	Soares (2004)
33.86	34.39	33.84	25.52	32.82	33.29	24.18	28.68

5.3 Analisi dei modelli per la stima della radiazione su superfici inclinate

Grazie alla disponibilità dei dati rilevati a Golden è possibile eseguire la verifica delle prestazioni dei modelli di previsione della radiazione su piano inclinato.

I dati disponibili sono relativi alla radiazione globale per pareti verticali orientate in direzione dei quattro punti cardinali e per un piano inclinato di 40° orientato verso sud.

Sarà necessario confrontare i risultati di tutte le direzioni in modo da vedere l'incidenza dell'orientazione della superficie sui risultati, si terrà inoltre conto della stagionalità.

Si deve inoltre precisare che mentre per Torino e Roma nel calcolo della radiazione riflessa dal terreno si è imposto un coefficiente di riflettanza $\rho = 0,2$ costante, per Golden si sono usati valori rilevati sperimentalmente.

Si riporta di seguito l'analisi dei risultati ottenuti nelle due giornate tipo considerate per tutte le orientazioni, detta analisi consiste nel confronto grafico della stima della radiazione globale e dei relativi errori, di cui si riporterà inoltre la distribuzione in frequenza.

5.3.1. Parete verticale orientata verso nord

Si riportano di seguito le stime di radiazione i relativi errori e la distribuzione in frequenza associati alla parete verticale rivolta verso nord.

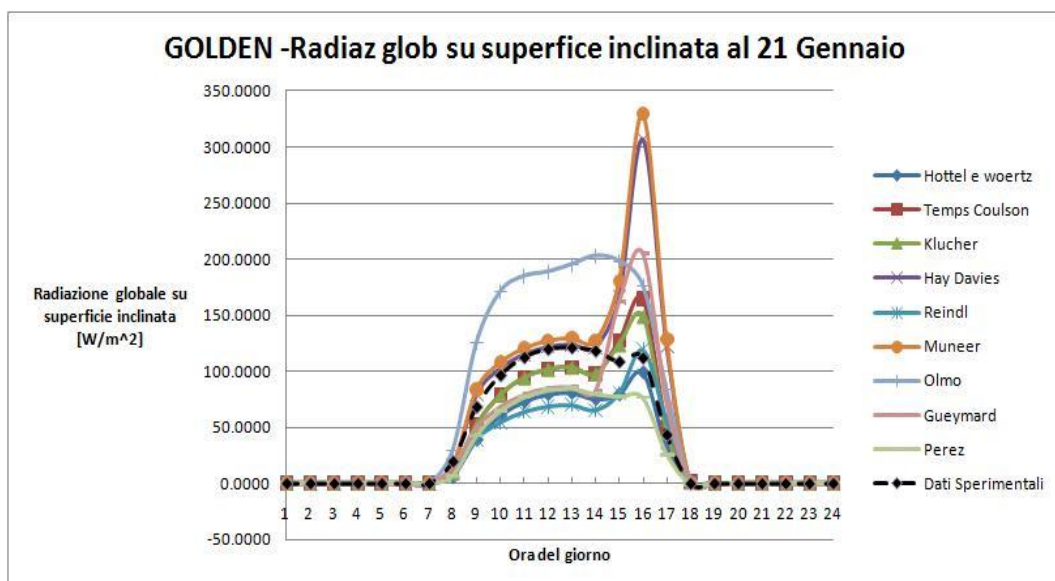


Fig 5.19 Confronto fra i dati sperimentali di Golden al 21 Gennaio con quelli forniti dai modelli di previsione, il tutto riferito ad una parete verticale orientata verso nord

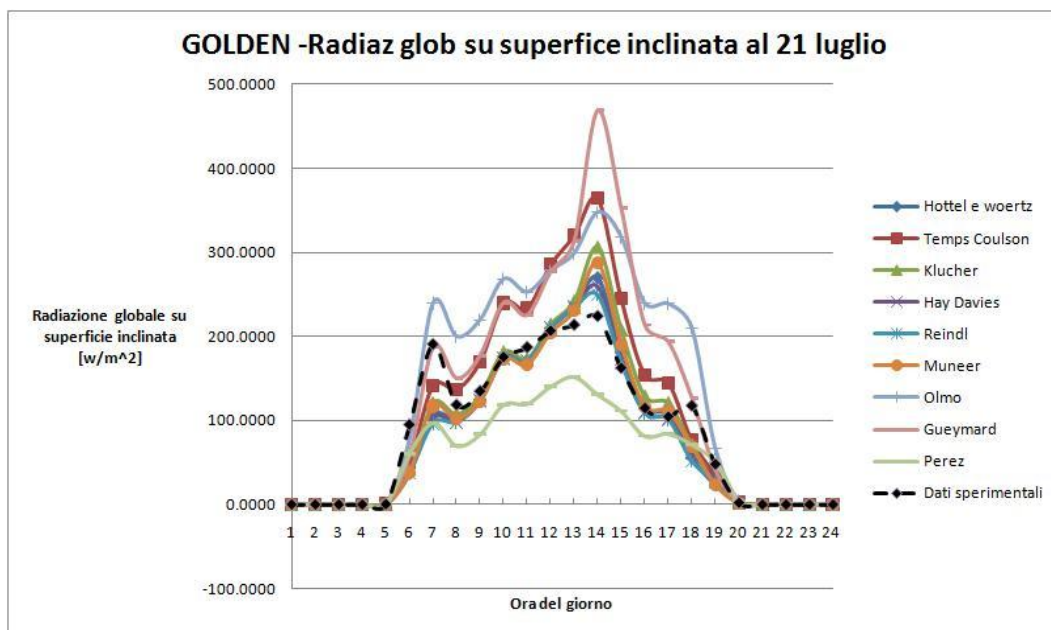


Fig 5.20 Confronto fra i dati sperimentali di Golden al 21 Luglio con quelli forniti dai modelli di previsione, il tutto riferito ad una parete verticale orientata verso nord

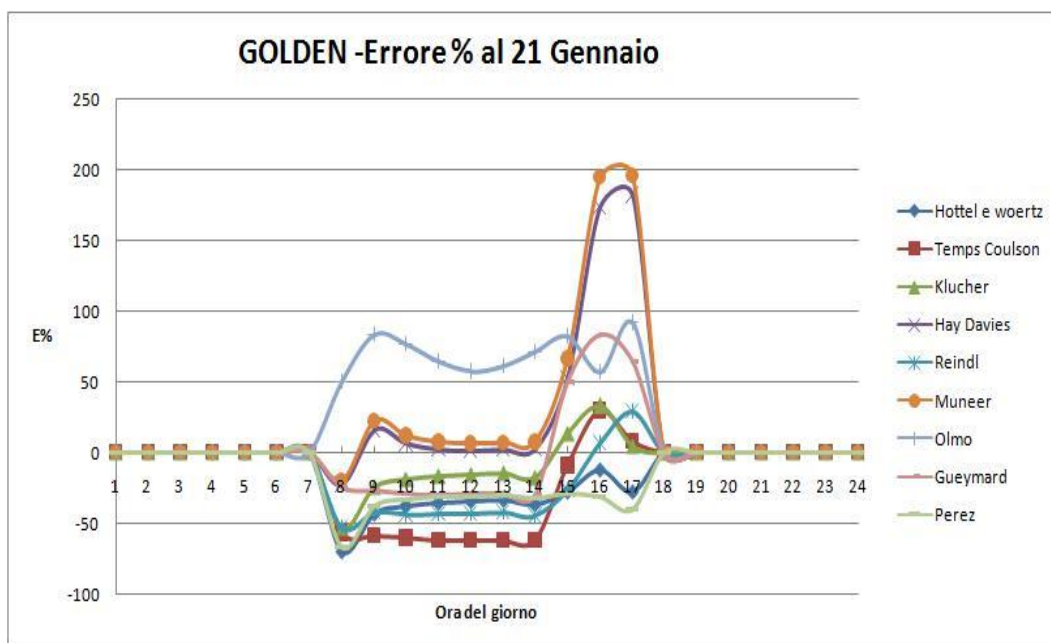


Fig 5.21 Errore percentuale sulla stima della radiazione globale su una superficie verticale rivolta a nord, considerando come località Golden al 21 Gennaio

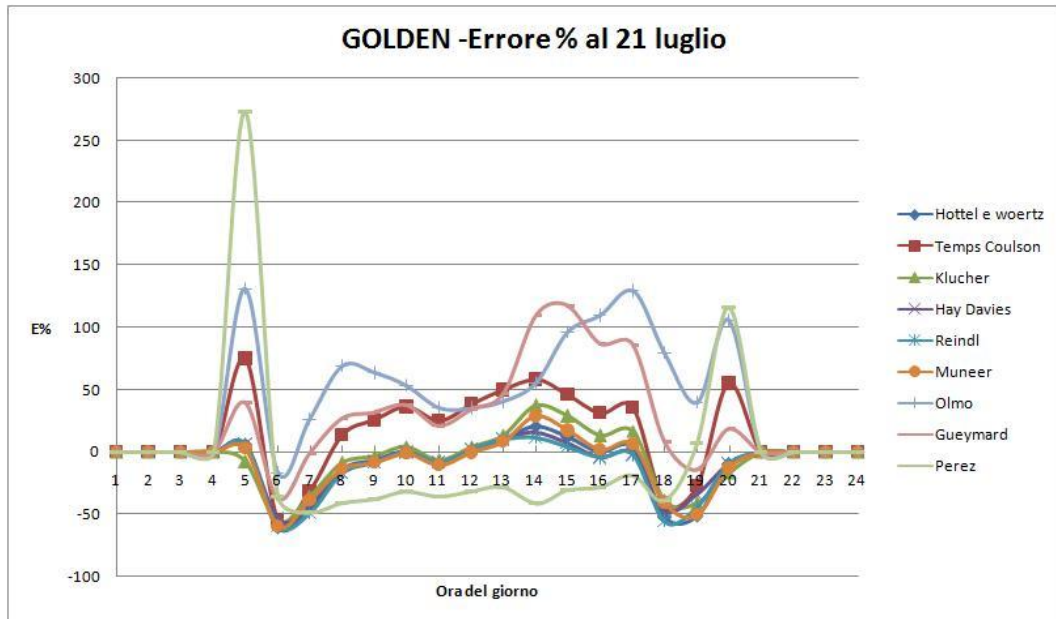


Fig 5.22 Errore percentuale sulla stima della radiazione globale su una superficie verticale rivolta a nord, considerando come località Golden al 21 Gennaio

Dall'osservazione dei grafici si può osservare che nella giornata invernale vi è la tendenza ad una sottostima della radiazione nelle ore mattutine mentre una tendenza ad una accentuata sovrastima verso il tramonto.

Per la giornata estiva si osserva una stabilità nella parte centrale della giornata con valori oscillanti sullo zero e una sottostima della radiazione in corrispondenza d'alba e tramonto.

Si noti inoltre come il modello di Perez per la parete rivolta a nord sottostimi la radiazione indipendentemente dalla stagione.

CAPITOLO 5

Si riporta la distribuzione in frequenza degli errori :

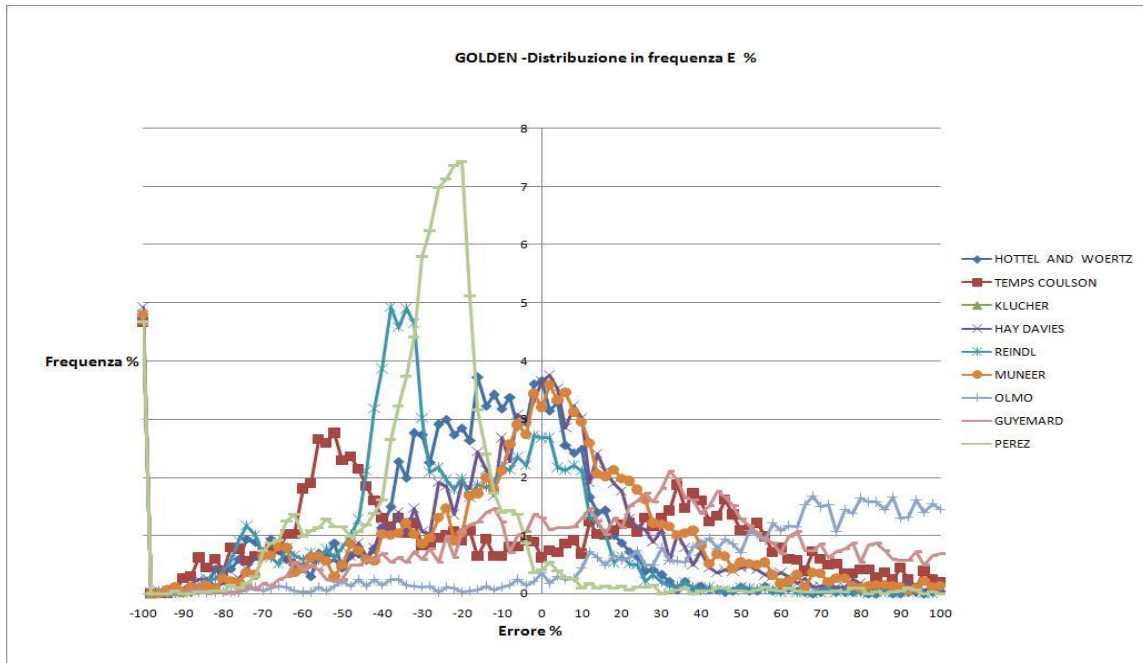


Fig 5.23 Distribuzione in frequenza dell'errore percentuale riferita ai dati di Golden per una parete verticale rivolta a nord

5.3.2. Parete verticale orientata verso sud

Si riportano di seguito le stime di radiazione i relativi errori e la distribuzione in frequenza associati alla parete verticale rivolta verso nord.

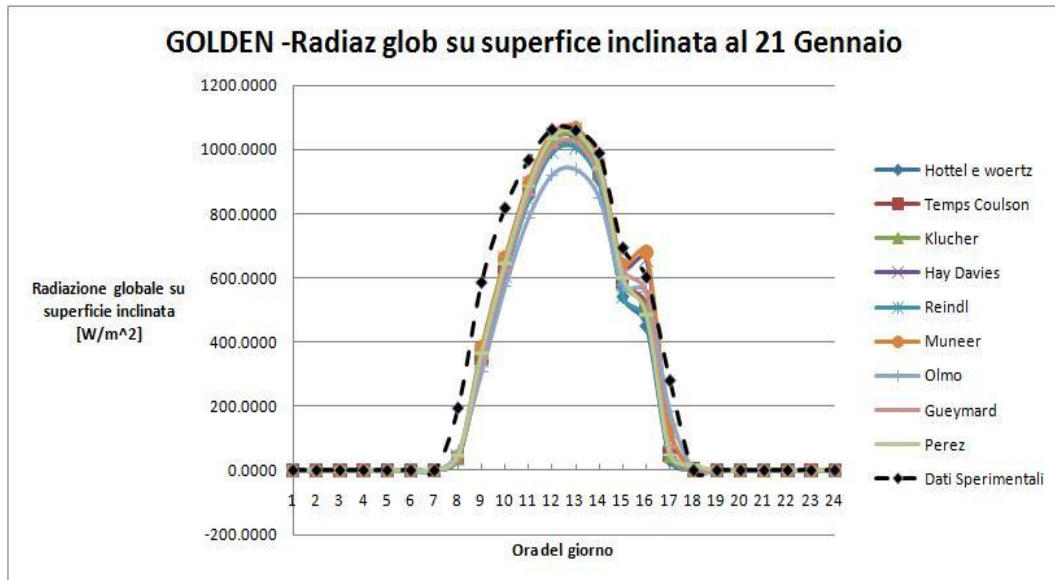


Fig 5.24 Confronto fra i dati sperimentali di Golden al 21 Gennaio con quelli forniti dai modelli di previsione, il tutto riferito ad una parete verticale orientata verso sud

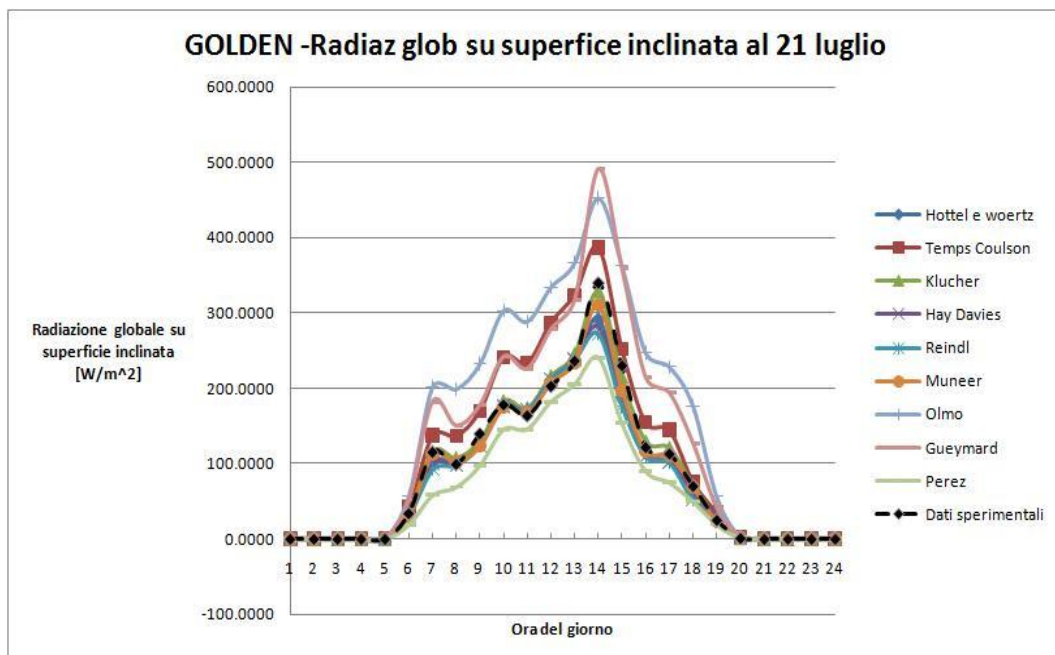


Fig 5.25 Errore percentuale sulla stima della radiazione globale su una superficie verticale rivolta a sud, considerando come località Golden al 21 Gennaio

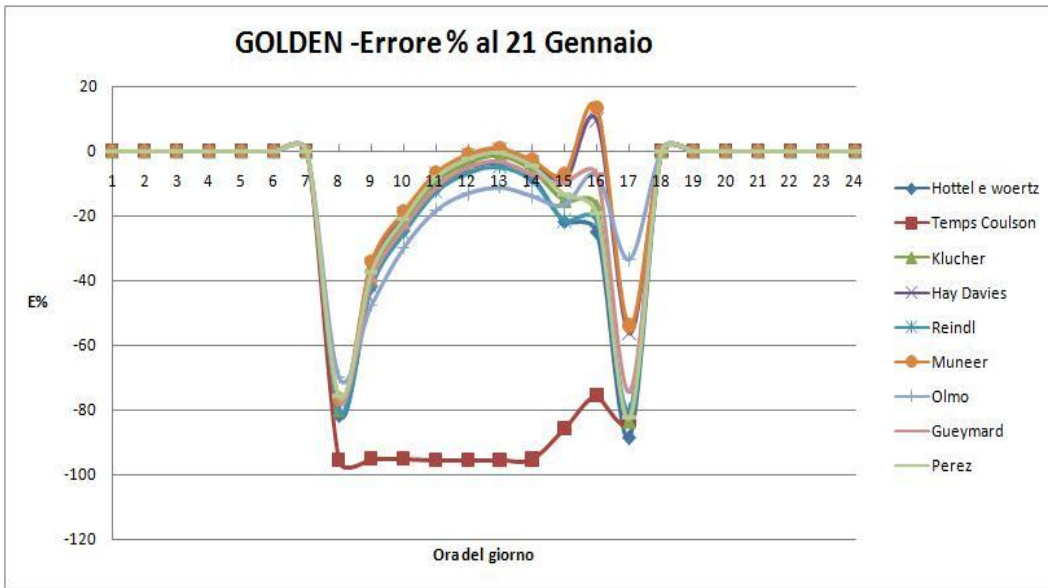


Fig 5.26 Errore percentuale sulla stima della radiazione globale su una superficie verticale rivolta a sud, considerando come località Golden al 21 Gennaio

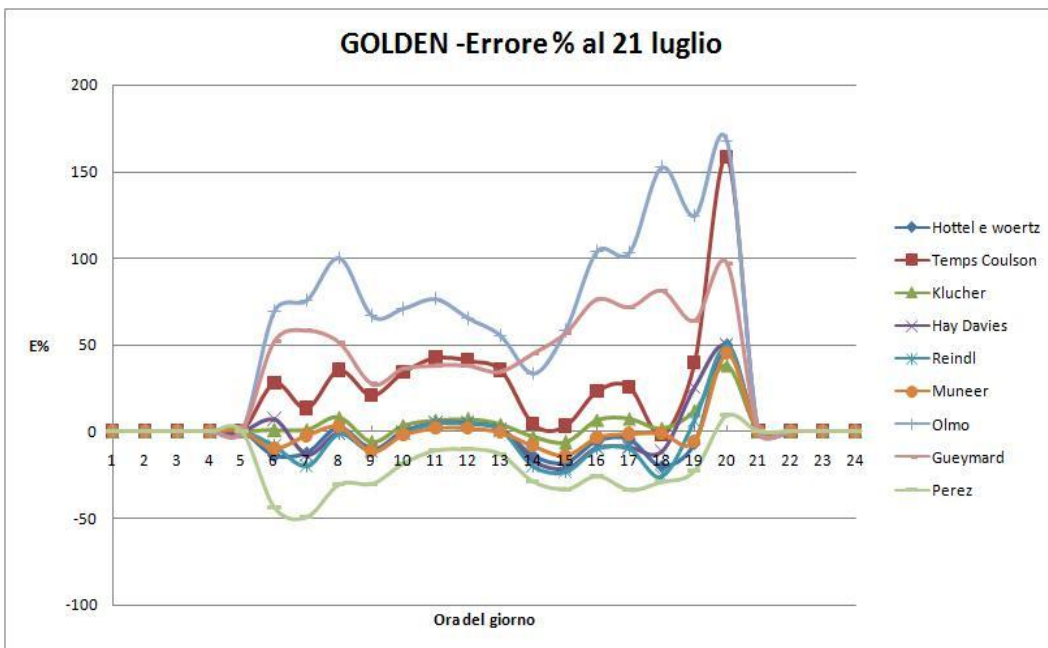


Fig 5.27 Errore percentuale sulla stima della radiazione globale su una superficie verticale rivolta a sud, considerando come località Golden al 21 Luglio

Da una prima indagine visiva dei risultati ottenuti per la parete verticale rivolta a sud si nota come nelle giornate invernali i modelli che danno più errori sia il modello di Temps Coulson che fornisce un errore stabile per tutto il giorno il ciò fa pensare ad un errore sistematico.

Nella giornata estiva inoltre spiccano i comportamenti dei modelli di Olmo e Gueymard anch'essi forniscono una generale sovrastima della radiazione.

In linea generale si può affermare che l'andamento invernale presenta dei picchi in corrispondenza d'alba e tramonto mentre in estate i valori sono involuppati in una fascia di ampiezza 15 % con valori tendenti a zero nelle ore centrali della giornata e con una leggera sovrastima in prossimità del tramonto.

Si riporta la distribuzione in frequenza degli errori :

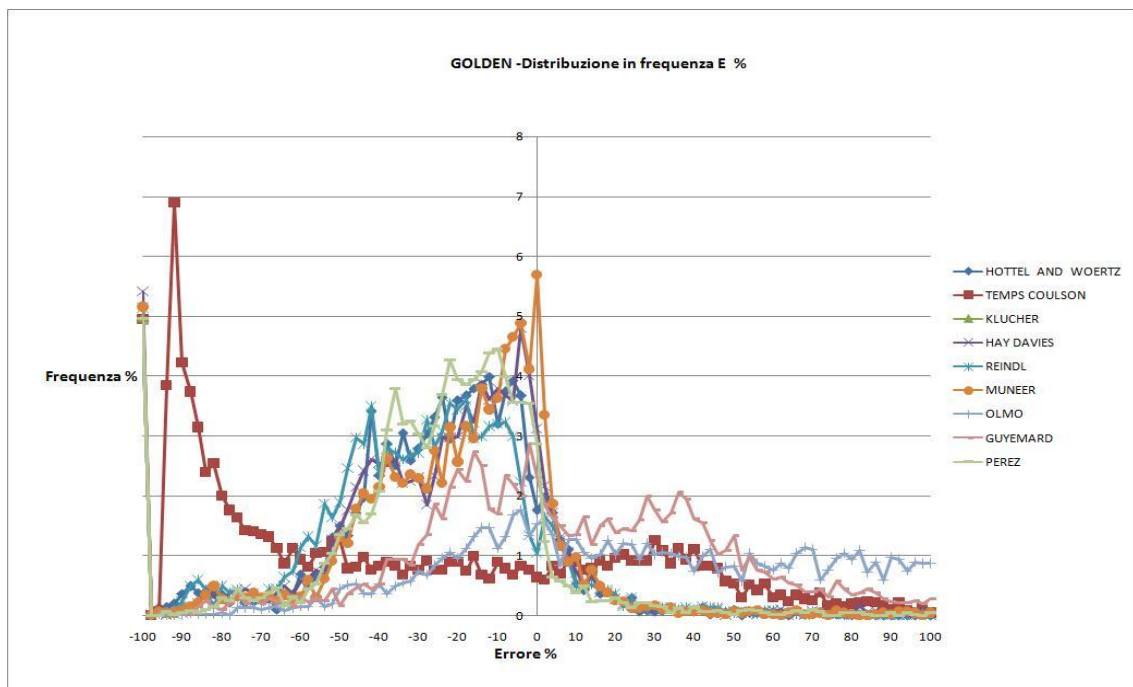


Fig 5.28 Distribuzione in frequenza dell'errore percentuale riferita ai dati di Golden per una parete verticale rivolta a sud

5.3.3. Parete verticale orientata verso est.

Si riportano di seguito le stime di radiazione i relativi errori e la distribuzione in frequenza associati alla parete verticale rivolta verso est.

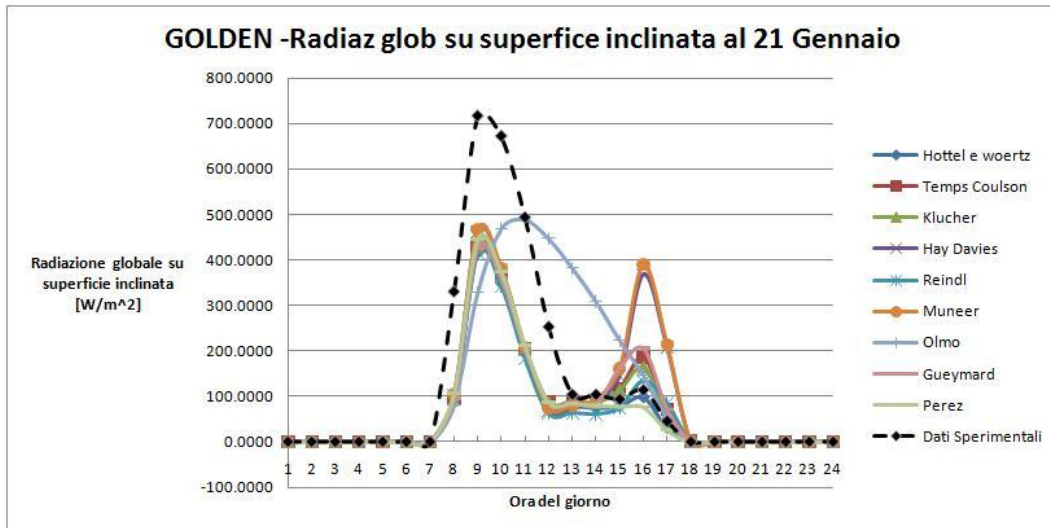


Fig 5.29 Confronto fra i dati sperimentali di Golden al 21 Gennaio con quelli forniti dai modelli di previsione, il tutto riferito ad una parete verticale orientata verso est

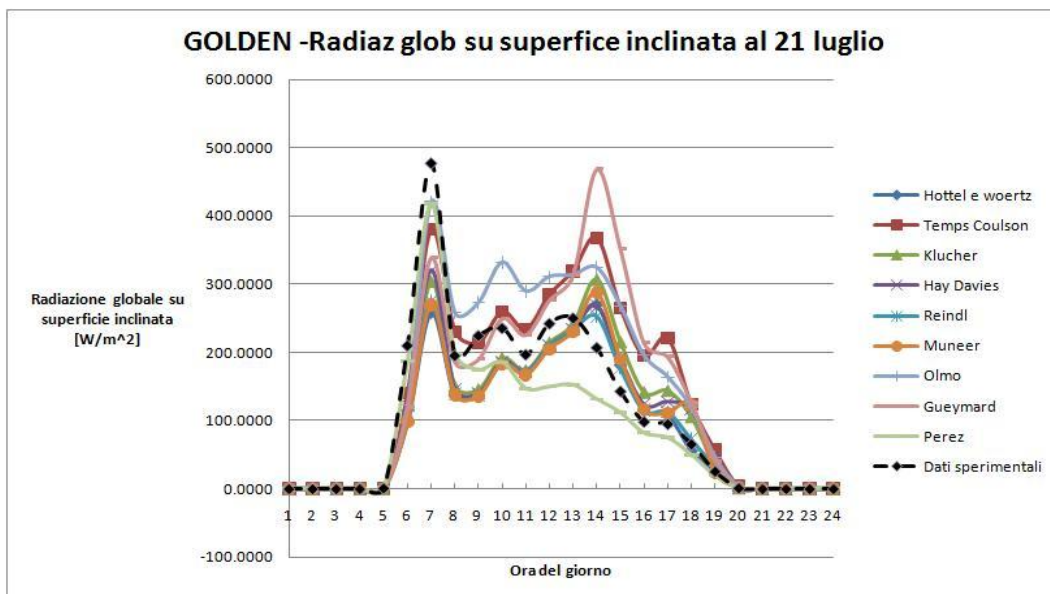


Fig 5.30 Confronto fra i dati sperimentali di Golden al 21 Luglio con quelli forniti dai modelli di previsione, il tutto riferito ad una parete verticale orientata verso est

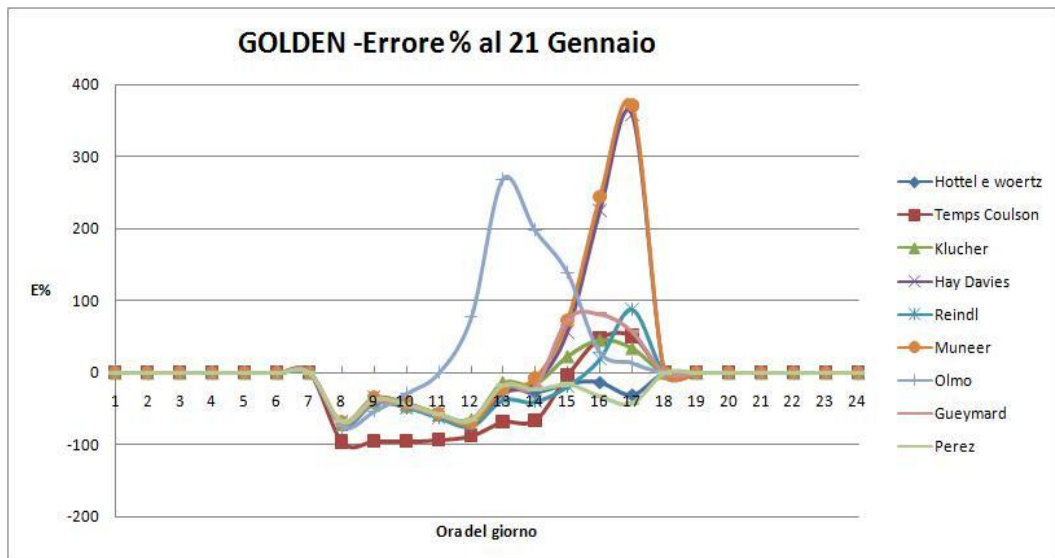


Fig 5.31 Errore percentuale sulla stima della radiazione globale su una superficie verticale rivolta ad est, considerando come località Golden al 21 Gennaio

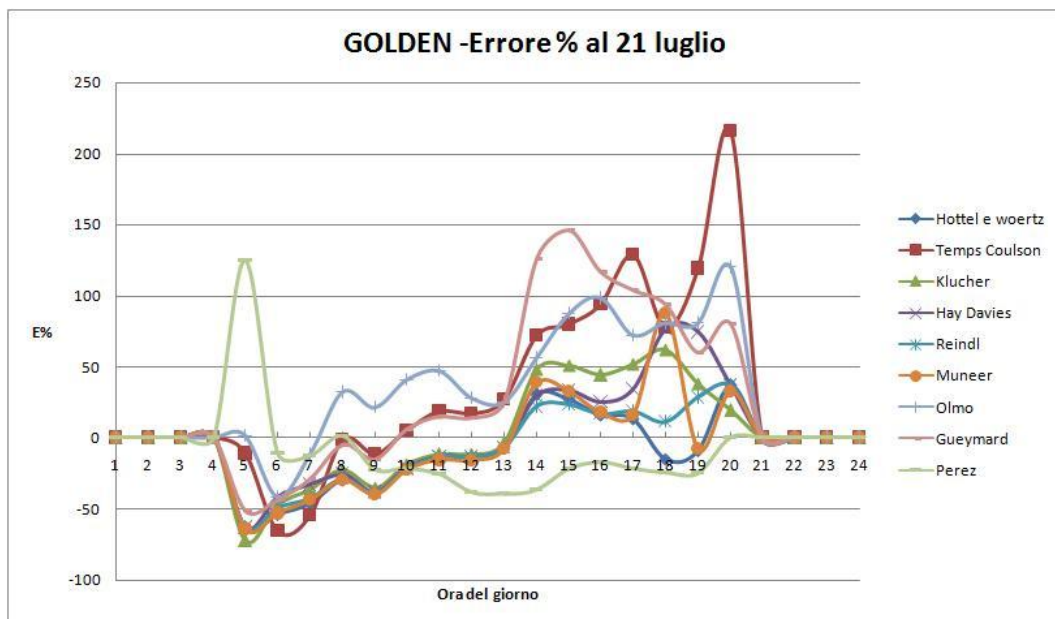


Fig 5.32 Errore percentuale sulla stima della radiazione globale su una superficie verticale rivolta ad est, considerando come località Golden al 21 Luglio

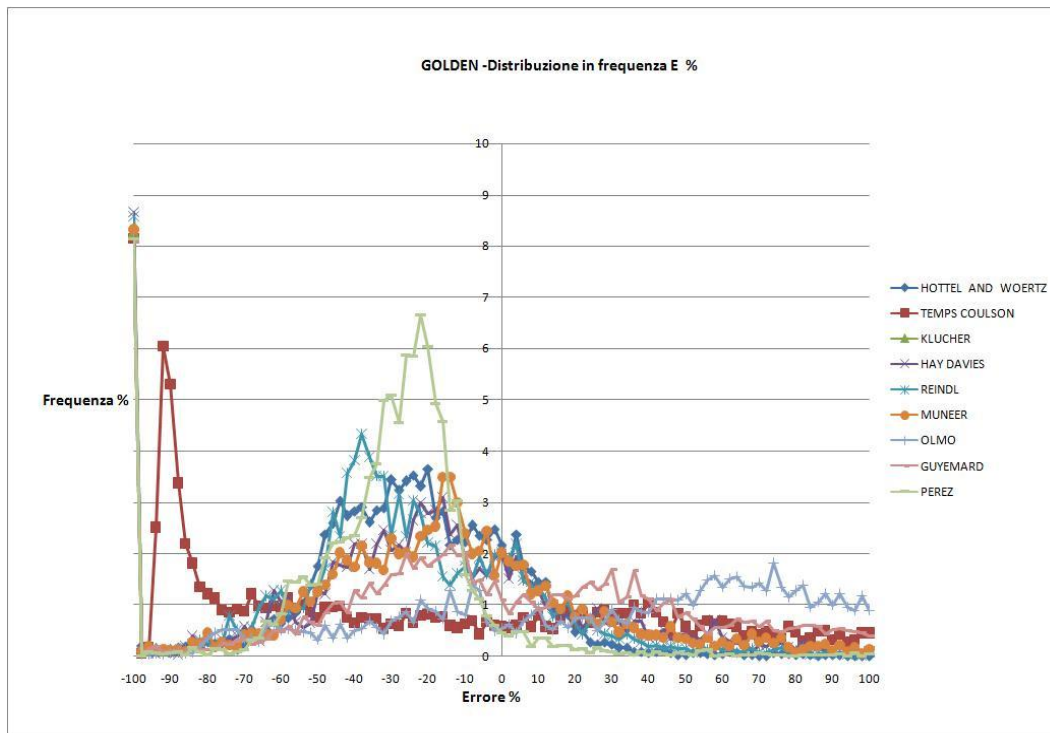


Fig 5.33 Distribuzione in frequenza dell'errore percentuale riferita ai dati di Golden per una parete verticale rivolta verso est

Per la parete verticale rivolta verso est si possono notare differenze rispetto al comportamento dei modelli nelle altre orientazioni.

In particolare nella giornata invernale tendenzialmente si ha una sottostima della radiazione nelle ore mattutine un breve intervallo in cui l'errore tende a zero e una sovrastima pomeridiana.

Nelle ore mattutine della giornata estiva, si sottostima la radiazione viceversa nelle ore pomeridiane, si noti la differenza con quanto accadeva nella parete rivolta a sud in cui è presente una sovrastima generale della radiazione in tutto l'arco della giornata.

Si noti inoltre che le prestazioni dei modelli sono molto variabili : i modelli di Muneer ed Hay Davies ad esempio sovrastimano di molto la radiazione nella seconda parte della giornata in periodo invernale mentre in estate hanno prestazioni simili agli altri modelli.

Viceversa i modelli di Temps-Coulson e Guyemard nelle ore pomeridiane estive danno errori rilevanti mentre in inverno anche se con andamenti diversi mantengono errori confrontabili con gli altri modelli.

Si noti inoltre che il modello di Perez è il migliore in tutte le condizioni ad eccezione di una sovrastima della radiazione nel periodo estivo all'alba.

6.3.4. Parete verticale orientata verso ovest

Si riportano di seguito le stime di radiazione i relativi errori e la distribuzione in frequenza associati alla parete verticale rivolta verso ovest.

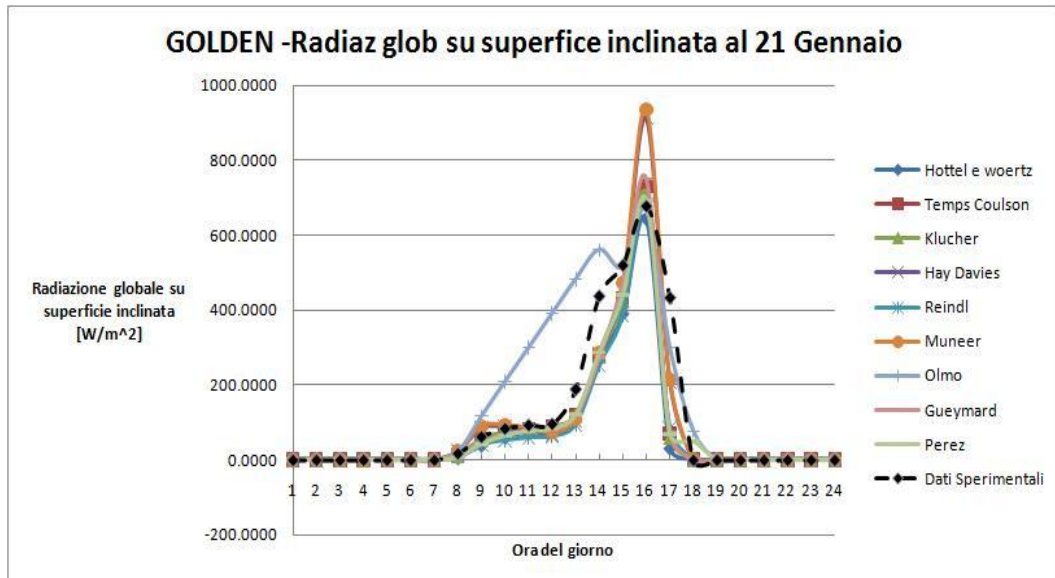


Fig 5.34 Confronto fra i dati sperimentali di Golden al 21 Gennaio con quelli forniti dai modelli di previsione, il tutto riferito ad una parete verticale orientata verso ovest

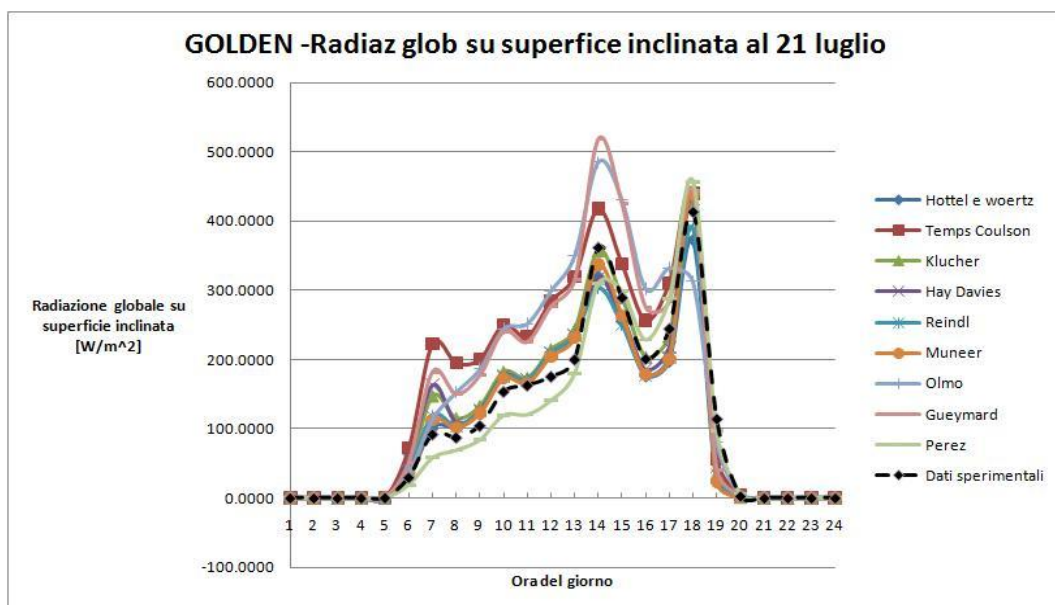


Fig 5.35 Confronto fra i dati sperimentali di Golden al 21 Luglio con quelli forniti dai modelli di previsione, il tutto riferito ad una parete verticale orientata verso ovest

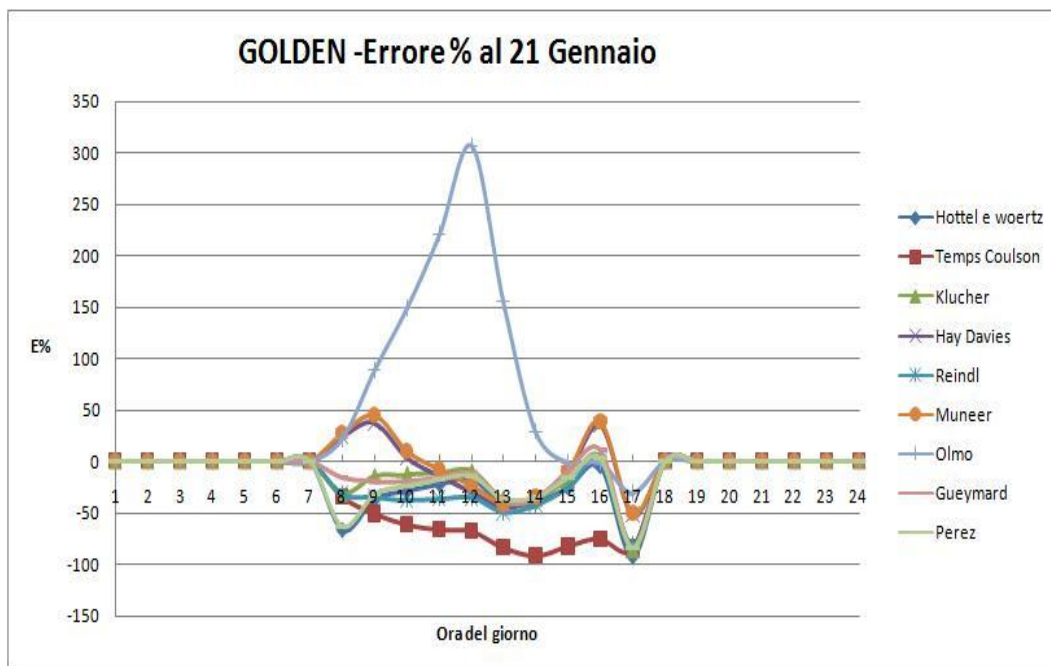


Fig 5.36 Errore percentuale sulla stima della radiazione globale su una superficie verticale rivolta ad ovest, considerando come località Golden al 21 Gennaio

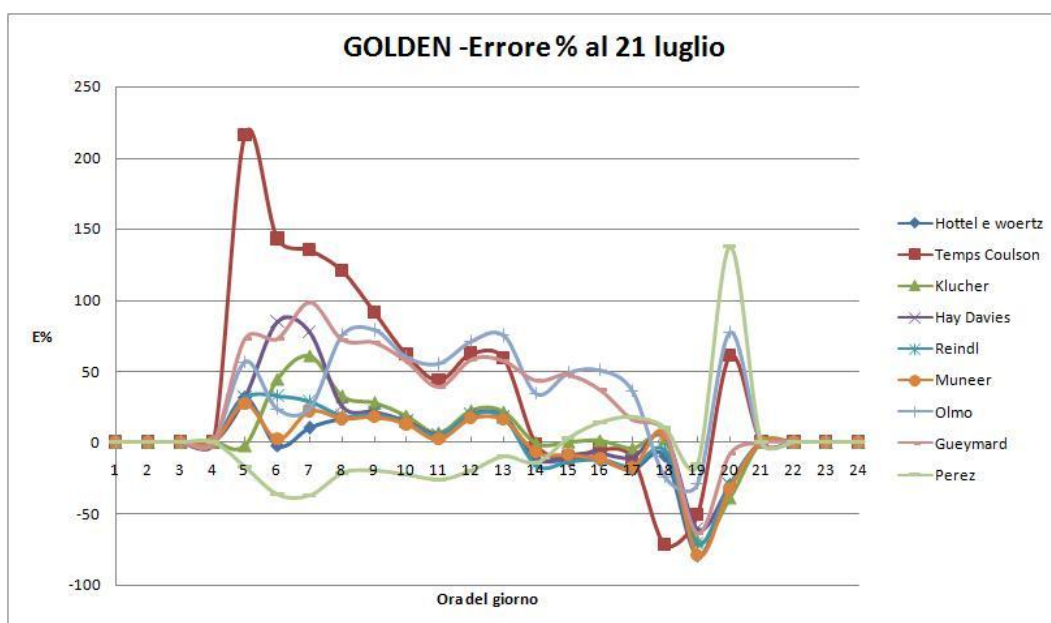


Fig 5.37 Errore percentuale sulla stima della radiazione globale su una superficie verticale rivolta ad ovest, considerando come località Golden al 21 Luglio

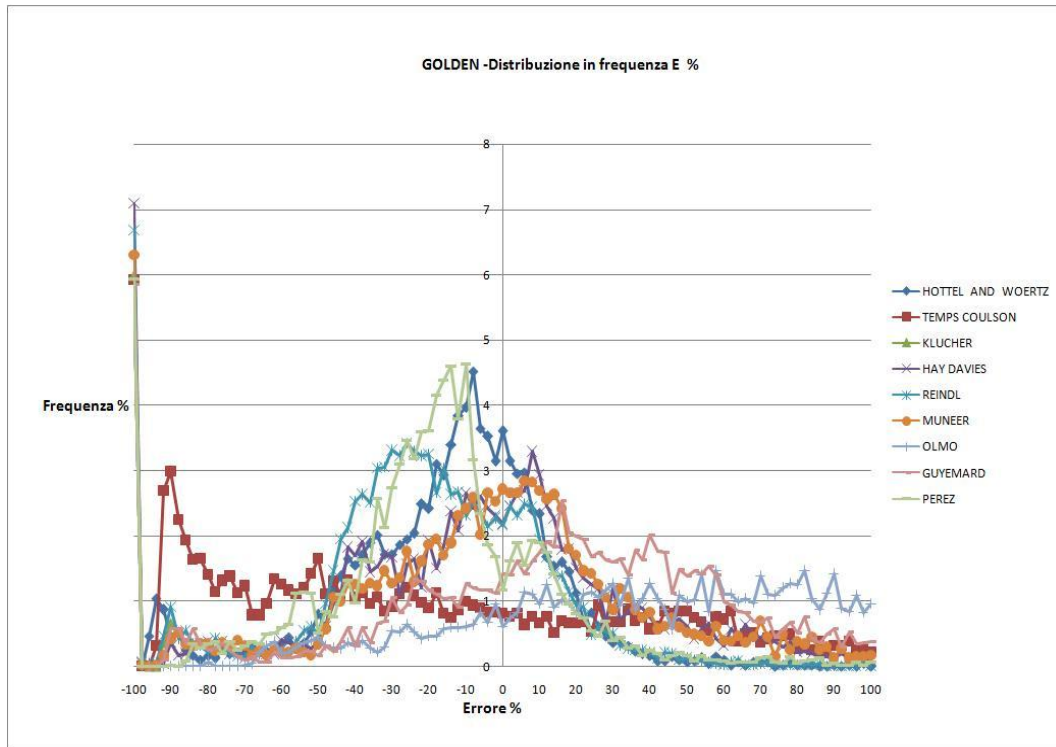


Fig 5.38 Distribuzione in frequenza dell'errore percentuale riferita ai dati di Golden per una parete verticale rivolta verso ovest

Si può affermare che per la parete rivolta verso ovest nella giornata invernale il modello di Olmo dà rilevanti errori nella parte centrale della giornata.

Nella prima parte della giornata invernale si distinguono due comportamenti particolari i modelli di Gueymard e Muneer, che sovrastimano la radiazione rispetto agli altri modelli che stimano in difetto.

Nella seconda parte della giornata i comportamenti dei modelli sono di generale sottostima della radiazione, mentre in corrispondenza del tramonto si ha un andamento fluttuante.

A tutto questo fa eccezione il metodo di Temps-Coulson che sottostima i valori di tutta la giornata.

Nella giornata estiva i comportamenti sono omogenei come tendenza e consistono in una sovrastima più accentuata per Temps-coulson, Gueymard, Hay Davies della radiazione al mattino, ad un andamento stabile nell'intorno dello zero nel primo pomeriggio ed ad una sottostima poco accentuata al tramonto.

In termini generali per la parete verticale rivolta a ovest i modelli che si comportano meglio sono : Hottel, Perez, Reindl, Muneer.

5.3.5. Parete inclinata di 40° orientata verso sud

Si riportano di seguito le stime di radiazione i relativi errori e la distribuzione in frequenza associati alla parete inclinata di 40° e rivolta verso sud.

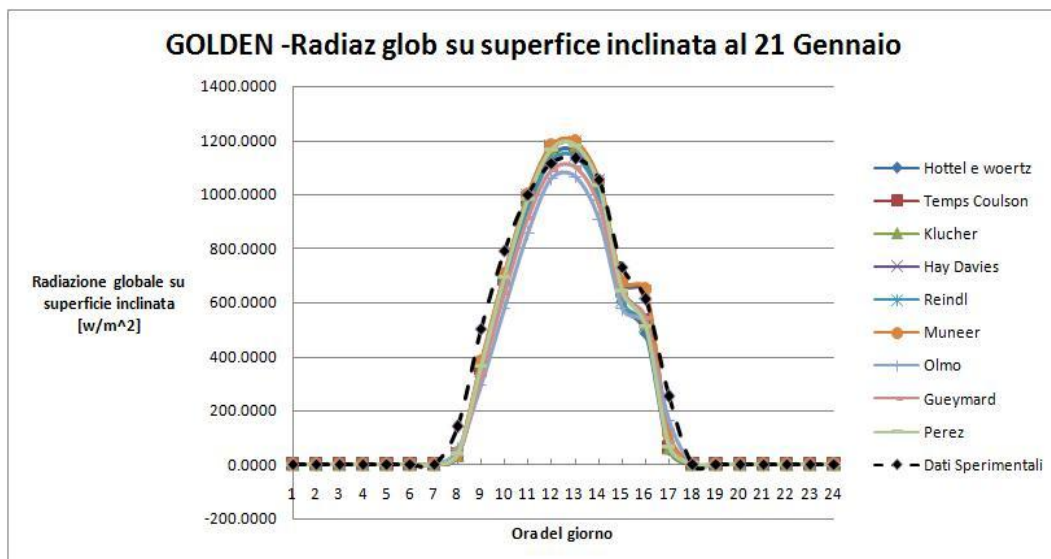


Fig 5.39 Confronto fra i dati sperimentali di Golden al 21 Gennaio con quelli forniti dai modelli di previsione, il tutto riferito ad una parete inclinata di 40° e orientata verso sud

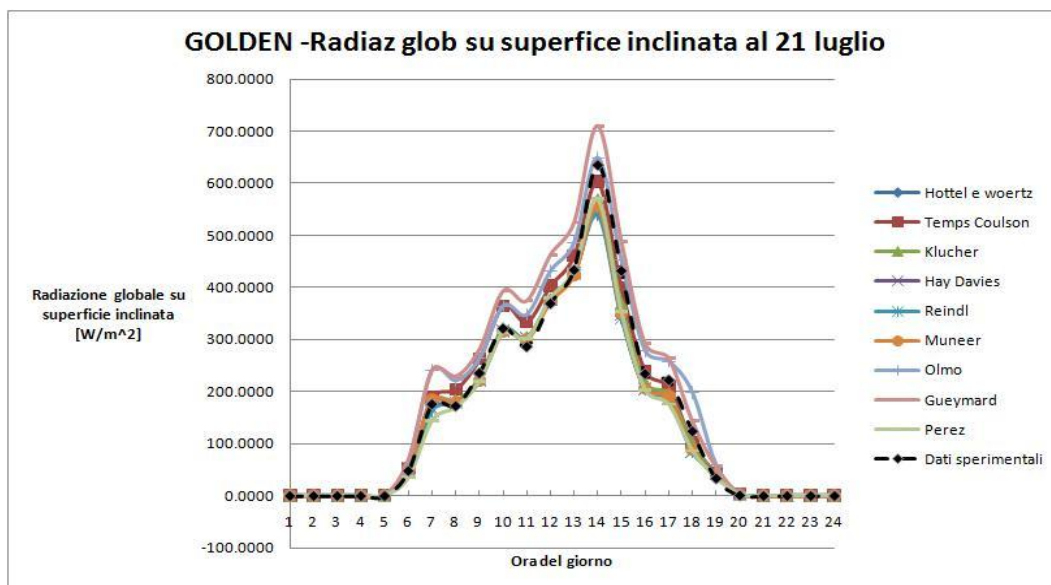


Fig 5.40 Confronto fra i dati sperimentali di Golden al 21 Luglio con quelli forniti dai modelli di previsione, il tutto riferito ad una parete inclinata di 40° e orientata verso sud

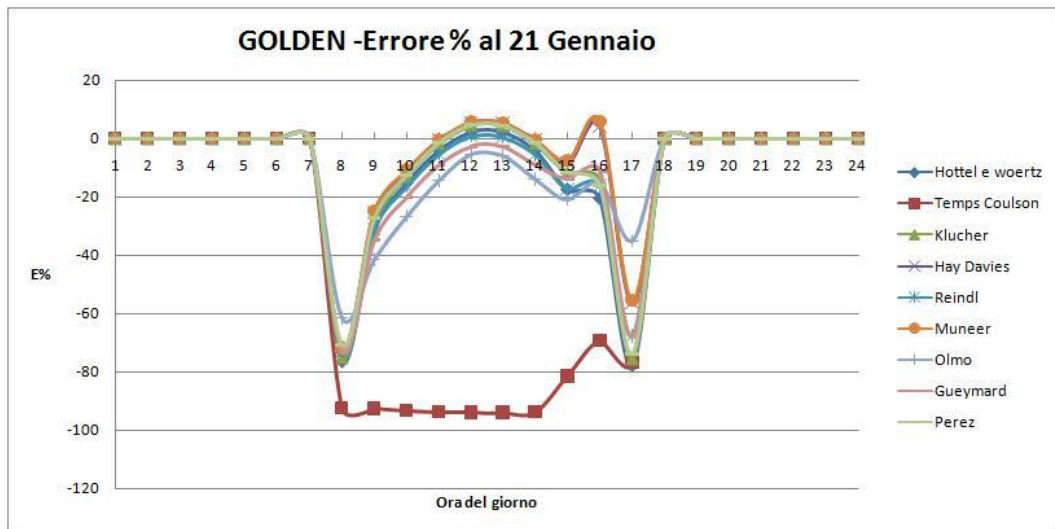


Fig 5.41 Errore percentuale sulla stima della radiazione globale su una superficie inclinata di 40° e rivolta a sud, considerando come località Golden al 21 Gennaio

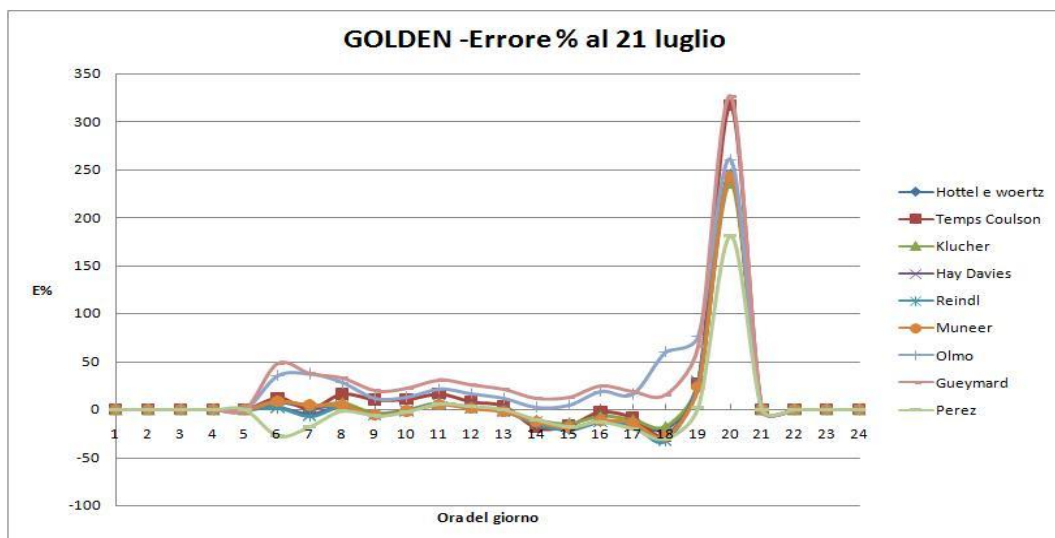


Fig 5.42 Errore percentuale sulla stima della radiazione globale su una superficie inclinata di 40° e rivolta a sud, considerando come località Golden al 21 Gennaio

La distribuzione degli errori è praticamente identica alla parete verticale rivolta a sud con un miglioramento generale delle prestazioni in valore assoluto.

L'unica differenza si trova nella giornata estiva in corrispondenza del tramonto dove si sovrastima la radiazione effettiva per tutti i modelli.

Si riporta la distribuzione in frequenza degli errori :

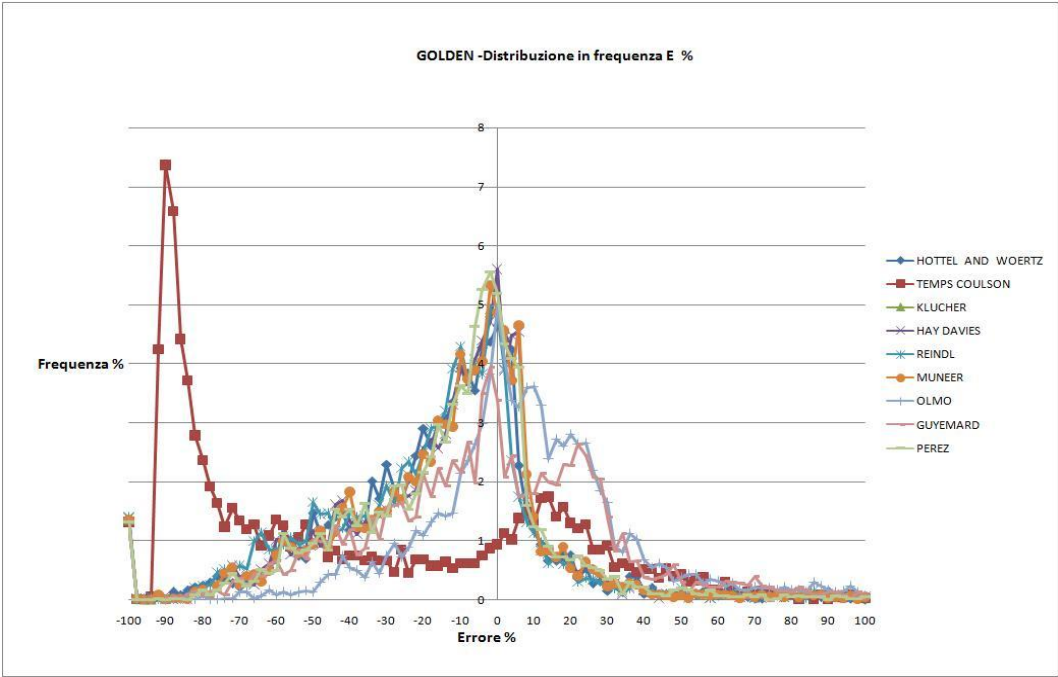


Fig 5.43 Distribuzione in frequenza dell'errore percentuale riferita ai dati di Golden per una parete inclinata di 40° rivolta verso sud

5.4. Conclusioni sul comportamento dei modelli nelle varie orientazioni.

Si traggano le dovute conclusioni circa le prestazioni dei modelli nelle varie orientazioni stilando una classifica degli stessi.

Per fare ciò si confrontino i valori dell'errore medio percentuale MBE% e dello scarto quadratico medio relativo RMSE % per le cinque orientazioni analizzate.

Tabella 5.12 Valutazione dell'errore medio percentuale dei modelli di previsione della radiazione su superfici inclinate in funzione dell'orientazione

MBE% Errore medio percentuale									
	Hottel e woertz (1942)	Temps coulson (1977)	Klucher (1979)	Hay davies (1980)	Reindl (1990)	Muneer (1997)	Olmo (1999)	Guyemard (1987)	Perez (1987)
90° nord	-17.15	-11.25	-0.31	-6.06	-26.83	1.05	86.44	41.51	-31.41
90° sud	-22.84	-68.95	-16.95	-18.96	-26.23	-16.47	11.05	-2.31	-18.09
90° est	-30.11	-58.51	-21.28	-21.87	-33.04	-19.32	8.92	-4.67	-29.83
90° ovest	-14.58	-50.55	-4.05	-4.76	-18.07	-1.73	33.97	15.72	-10.27
40° sud	1.35	-68.46	5.00	4.39	-1.38	5.02	0.24	6.56	5.26

Tabella 5.13 Valutazione dello scarto quadratico medio percentuale dei modelli di previsione della radiazione su superfici inclinate in funzione dell'orientazione

RMSE % Scarto quadratico medio percentuale									
	Hottel e woertz (1942)	Temps coulson (1977)	Klucher (1979)	Hay davies (1980)	Reindl (1990)	Muneer (1997)	Olmo (1999)	Guyemard (1987)	Perez (1987)
90° nord	36.80	61.60	38.05	40.03	44.30	41.52	113.29	90.66	45.19
90° sud	33.21	119.97	27.41	27.83	36.50	25.62	39.83	30.28	26.89
90° est	50.17	124.79	44.68	46.79	53.67	44.70	58.42	50.21	45.45
90° ovest	38.66	115.51	36.92	38.29	40.42	38.60	65.11	53.77	37.05
40° sud	14.47	106.60	15.83	16.58	13.77	17.19	18.33	15.29	15.88

CAPITOLO 5

Tabella 5.14 Valutazione della probabilità percentuale P% dei modelli di previsione della radiazione su superfici inclinate in funzione dell'orientazione

P% (E%=10%)	Hottel e Woertz (1942)	Temps coulson (1977)	Klucher (1979)	Hay davies (1980)	Reindl (1990)	Muneer (1997)	Olmo (1999)	Guyemard (1987)	Perez (1987)
90° nord	27.86	7.24	30.58	28.64	21.24	28.35	2.06	9.91	5.86
90° sud	21.47	6.75	31.51	25.42	16.15	31.06	12.67	18.01	20.45
90° est	19.31	5.39	18.35	15.15	15.96	16.66	6.87	10.78	5.71
90° ovest	29.90	7.26	29.47	23.04	21.15	23.47	7.53	12.14	17.19

Le prestazioni medie per le cinque orientazioni si possono valutare attraverso le medie dei errori medi, degli scarti quadratici e della probabilità P% per le cinque orientazioni.

Tabella 5.15 Valutazione della probabilità percentuale P% dei modelli di previsione della radiazione su superfici inclinate in funzione dell'orientazione

VALORI MEDI	Hottel e woertz(1942)	Temps coulson (1977)	Klucher (1979)	Hay davies (1980)	Reindl (1990)	Muneer (1997)	Olmo (1999)	Guyemard (1987)	Perez (1987)
MBE%	17.22	61.62	11.82	12.50	19.68	10.64	13.55	7.32	15.86
RMSE %	34.13	116.72	31.21	32.37	36.09	31.53	45.42	37.39	31.32
P%	24.64	6.66	27.48	23.06	18.63	24.89	7.28	12.71	12.30

Dall'analisi dei parametri statistici mediati possiamo affermare che i modelli di Olmo, e Temps Coulson hanno prestazioni inferiori rispetto agli altri, viceversa si comportano mediamente bene i modelli di Klucher, Muneer, si comportano mediamente meglio degli altri i restanti modelli hanno prestazioni paragonabili fra loro.

Per quel che riguarda l'orientazione le prestazioni medie sono molto varie :

- Il modello di Temps Coulson sottostima sempre di molto i valori di radiazione, esso lavora bene per superfici rivolte a nord e male nelle altre direzioni.
- Il modello di Hottel e Woertz sottostima la radiazione per le pareti verticali, l'opposto accade per la parete inclinata di 40° rivolta a sud dove vi sono le prestazioni migliori.
In direzione est si hanno le prestazioni peggiori le altre orientazioni hanno prestazioni paragonabili fra loro a conferma del fatto che si tratta di un modello che considera la radiazione diffusa come isotropica.
- Il modello di Klucher ha le prestazioni migliori per le pareti verticali in direzione nord e ovest e in direzione sud con superficie inclinata di 40° per queste inclinazioni gli errori risultano poco distanti dallo zero.
Per le direzioni est e sud si ha una generale sottostima dell'ordine del 20%.
- Per il modello di Hay Davies si hanno le prestazioni migliori nelle direzioni nord, ovest e per la superficie inclinata 40° rivolta verso sud quest'ultima rispetto alle altre due sovrastima leggermente la radiazione.
- Per le direzioni est e sud si ha un comportamento analogo al modello di Klucher con una generale sottostima dell'ordine del 20%.
- Il modello di Reindl sottostima sempre la radiazione e si comporta leggermente meglio verso ovest e bene sulla superficie inclinata di 40° rivolta a sud.
- Il modello di Muneer garantisce una buona stima nelle direzioni nord, ovest e sud per la parete inclinata di 40°, mentre per le altre direzioni si ha un generale deterioramento delle prestazioni con una sottostima della radiazione.
- Il modello di Olmo stima bene la radiazione per le pareti verticali est e sud e per la parete inclinata di 40° rivolta a sud.
Le pareti nord ed ovest presentano un deterioramento delle prestazioni.

- Il modello di Guyemard ha prestazioni pessime in direzione nord, non buone ovest, nelle altre direzioni l'errore si riduce fornendo la massima affidabilità per la parete verticale rivolta a sud.
- Il modello di Perez generalmente sottostima la radiazione, unica eccezione per la parete inclinata di 40° rivolta a sud che risulta dare fra l'altro le prestazioni migliori.
Un buon comportamento si ha anche per la parete verticale rivolta ad ovest, per le altre pareti le prestazioni sono più scarse.
Le prestazioni peggiori si presentano per la parete rivolta a nord.

5.5 Accoppiamento dei modelli di stima della radiazione sul piano orizzontale e dei modelli di valutazione della radiazione su superfici inclinate.

Le valutazioni fatte fin'ora sui modelli di stima della radiazione sul piano orizzontale e inclinato sono state fatte separatamente.

Si pone ora la questione dell'accoppiamento dei modelli e della valutazione delle prestazioni complessive.

Il ciò sarà fatto considerando gli estremi, ossia l'accoppiamento dei due migliori e dei due peggiori confrontando i grafici di errore estivi e invernali e i parametri statistici.

Le prove verranno effettuate per Golden unica località in cui si hanno dei dati di riscontro considerando come riferimento la Parete rivolta a sud inclinata di 90°.

Dagli studi emersi circa i modelli su superficie orizzontale il migliore risulta Erbs, il peggiore Bolland(1984).

Per i modelli su superficie inclinata il migliore è Klucher mentre il peggiore è Temps Coulson.

Si può quindi affermare l'accoppiamento migliore è dato dalla coppia Erbs- Klucher e la peggiore dalla coppia Bolland-Temps Coulson.

Di seguito sono riportati i grafici relativi all'errore percentuale di due giornate di riferimento una estiva e una invernale :

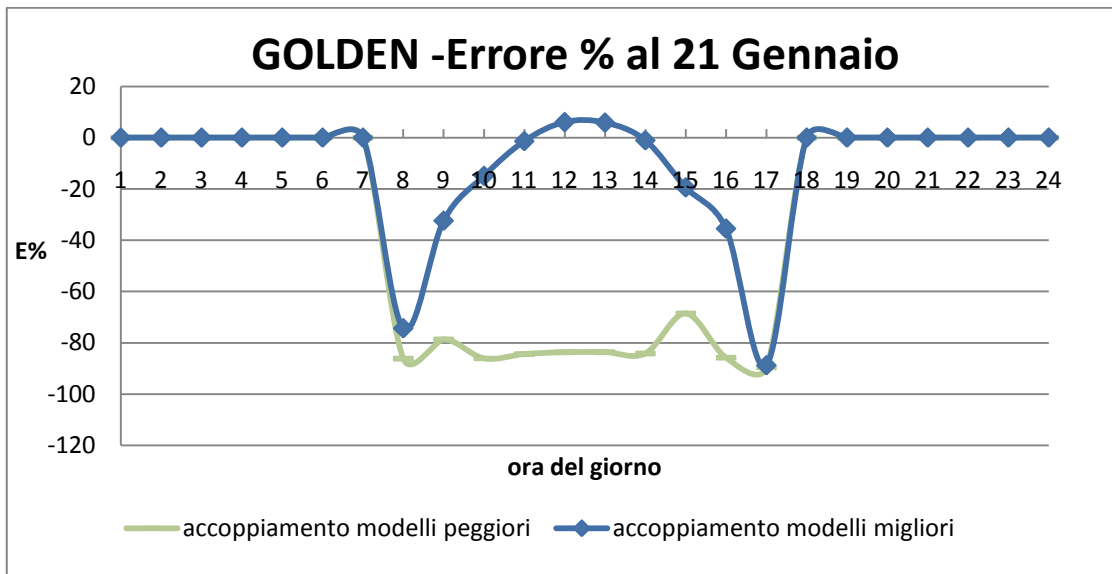


Fig 5.44 Confronto delle prestazioni degli accoppiamenti di modelli utilizzando i dati di Golden per una parete inclinata di 90° rivolta verso sud al 21 Gennaio

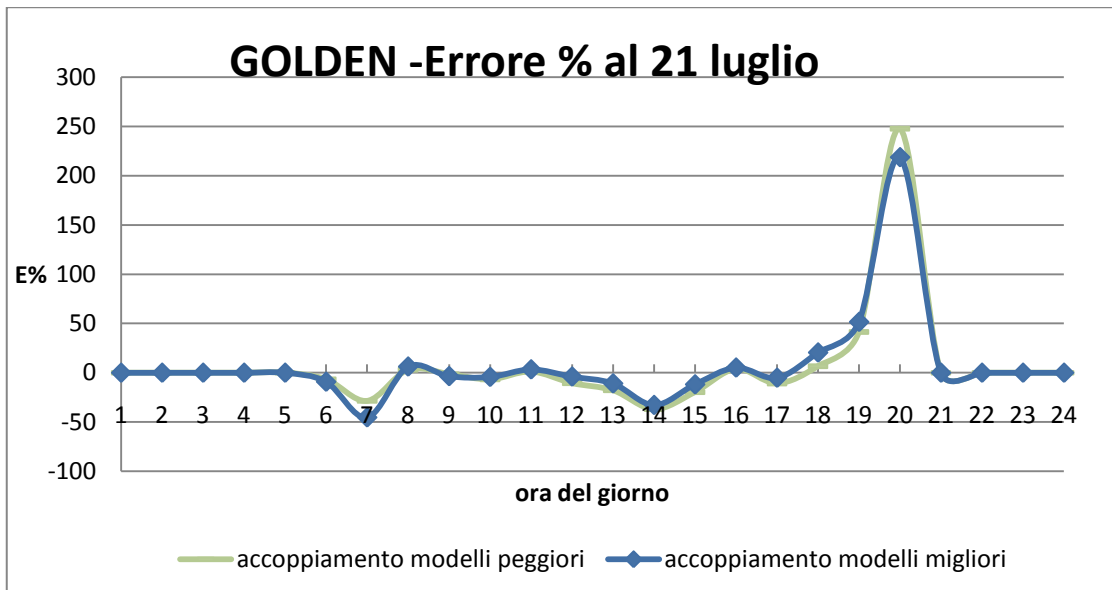


Fig 5.45 Confronto delle prestazioni degli accoppiamenti di modelli utilizzando i dati di Golden per una parete inclinata di 90° rivolta verso sud al 21 Luglio

Le differenze nell'accoppiare i modelli di miglior prestazione fra loro e confrontarli con i peggiori si vedono soprattutto nella giornata invernale mentre sono meno rilevanti nella giornata estiva.

A conferma di ciò si riportano gli errori medi e gli scarti quadratici medi degli accoppiamenti fatti.

Tabella 5.15 Valutazione dei parametri statistici relativo al migliore e peggiore accoppiamento tra modelli

	Modelli migliori	Modelli peggiori
MBE %	-13.0097	-60.7348
RMSE %	28.6016	94,63499

CAPITOLO 6

Simulazioni

6.1.Introduzione

Nei capitoli precedenti si sono esposte le basi teoriche e le formulazione dei modelli di stima della radiazione sul piano orizzontale e sul piano inclinato.

Questi modelli si possono combinare assieme ottenendo una stima della radiazione sul piano inclinato a partire dalla sola conoscenza della radiazione globale e della radiazione extraterrestre sul piano orizzontale.

La selezione di dette combinazioni da analizzare saranno fatte in base alle prestazioni dei modelli e dell'uso in letteratura tecnica e in normativa.

Si introducono le simulazioni dinamiche allo scopo di valutare l'incidenza in termini di flussi termici e fabbisogni annuali e mensili delle combinazioni di modelli su una parete di prova opaca posta in quattro orientazioni verticali e una orizzontale, il tutto riferito ai dati di Roma.

Il programma utilizzato per le simulazioni è TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation program) un software sviluppato dal Solar Energy laboratory dell'Università del Wisconsin allo scopo di effettuare delle simulazioni dinamiche di sistemi termodinamici costituiti dall'involucro e dall'impianto.

L'ambiente di lavoro del programma è costituito dal Simulation Studio, ogni elemento ed ogni funzione che si vuol rappresentare è costituito da moduli (Type), ad esempio la Type 56 rappresenta l'edificio e la Type 9 rappresenta un lettore di dati.

Le Type sono rappresentate mediante icone interconnesse da appositi collegamenti (link) attraverso i quali si forniscono i dati in ingresso e in uscita dalla Type.

Ogni Type è costruita e lavora in linguaggio FORTRAN e si basa prevalentemente per la descrizione del comportamento del componente su equazioni differenziali ed algebriche e metodi numerici.

Si darà di seguito una breve descrizione delle Type utilizzate all'interno della simulazione per poi concludere con la visione d'insieme della simulazione stessa all'interno di TRNSYS.

6.2.Descrizione delle Type utilizzate nella simulazione

Le Type utilizzate nella simulazione sono :

- Type 9a generic data file reader
- Type 25 c unformatted data printer
- Type 56 a multizone building with standard output file
-

6.2.1 Type 9a

La Type 9a è un lettore di dati generico la cui lettura è effettuata a intervalli di tempo regolari in un file d'ingresso, generalmente un file di testo opportunamente formattato.

La schermata d'impostazione della Type si presenta come in figura :

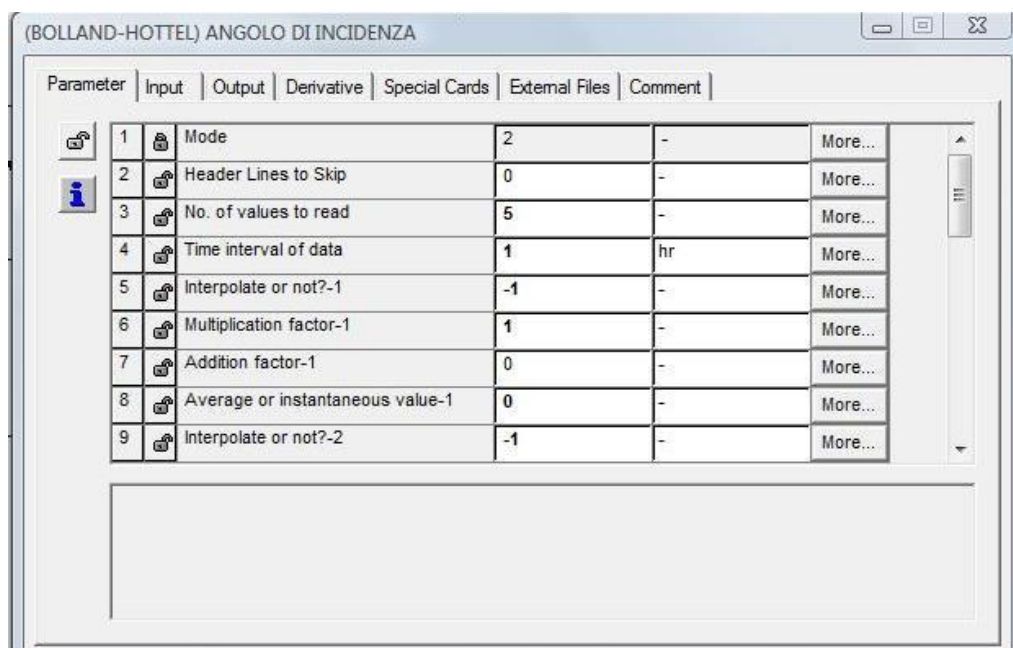


Fig 6.1 Finestra di impostazione della Type 9 a (generic data reader)

La descrizione dei parametri e della relativa impostazione sono definiti in tabella.

Tabella 6.1 Impostazioni della Type 9 a (generic data reader)

Parametro Numero	Descrizione	Note												
1	<p>Mode</p> <p>E'una funzione che permette di impostare il tempo di partenza della simulazione rispetto al file di testo.</p>	<p>Esistono sei opzioni di scelta :</p> <table border="1"> <tr> <td>MODE 1</td> <td>La prima riga di dati corrisponde al tempo d'inizio della simulazione, i valori iniziali sono i valori istantanei</td> </tr> <tr> <td>MODE 2</td> <td>La prima riga di dati corrisponde al tempo d'inizio della simulazione, i valori iniziali possono essere istantanei o mediati su un certo arco temporale</td> </tr> <tr> <td>MODE 3</td> <td>La prima riga di dati corrisponde al primo time step della simulazione, non all'inizio</td> </tr> <tr> <td>MODE</td> <td>La prima riga di dati corrisponde al tempo zero. I valori iniziali sono istantanei</td> </tr> <tr> <td>MODE 5</td> <td>La prima riga di dati corrisponde al tempo zero. i valori iniziali possono essere istantanei o mediati su un certo arco temporale</td> </tr> <tr> <td>MODE 6</td> <td>La prima riga di dati corrisponde al primo valore dell'anno, non è fornito alcun valore iniziale</td> </tr> </table>	MODE 1	La prima riga di dati corrisponde al tempo d'inizio della simulazione, i valori iniziali sono i valori istantanei	MODE 2	La prima riga di dati corrisponde al tempo d'inizio della simulazione, i valori iniziali possono essere istantanei o mediati su un certo arco temporale	MODE 3	La prima riga di dati corrisponde al primo time step della simulazione, non all'inizio	MODE	La prima riga di dati corrisponde al tempo zero. I valori iniziali sono istantanei	MODE 5	La prima riga di dati corrisponde al tempo zero. i valori iniziali possono essere istantanei o mediati su un certo arco temporale	MODE 6	La prima riga di dati corrisponde al primo valore dell'anno, non è fornito alcun valore iniziale
MODE 1	La prima riga di dati corrisponde al tempo d'inizio della simulazione, i valori iniziali sono i valori istantanei													
MODE 2	La prima riga di dati corrisponde al tempo d'inizio della simulazione, i valori iniziali possono essere istantanei o mediati su un certo arco temporale													
MODE 3	La prima riga di dati corrisponde al primo time step della simulazione, non all'inizio													
MODE	La prima riga di dati corrisponde al tempo zero. I valori iniziali sono istantanei													
MODE 5	La prima riga di dati corrisponde al tempo zero. i valori iniziali possono essere istantanei o mediati su un certo arco temporale													
MODE 6	La prima riga di dati corrisponde al primo valore dell'anno, non è fornito alcun valore iniziale													
2	Header line to skip	Numero di linee da saltare nella lettura dei dati, oltre all'intestazione se presente												
3	N° of values to read	Numero di colonne da leggere in ogni singola riga												
4	Time intervall of data	Intervallo di tempo tra un dato e il successivo												
5	Interpolate or not	<p>Esprime la possibilità di interpolare fra i dati presenti in modo da ricavare valori mediati.</p> <p>[-1] = non si interpola</p> <p>[1] = interpola</p>												

CAPITOLO 6

6	Multiplication factor	Fattore moltiplicativo che serve ad effettuare le conversioni di unità di misura fra i dati in ingresso e uscita
7	Addition factor	Valore additivo da aggiungere ai dati in ingresso per ottenere l'output desiderato
8	Average or instantaneous value	Indica la possibilità che i dati in input siano letti come valori istantanei o mediati in un determinato arco temporale ; [0] = Istantanei [1] = Mediati

I dati in input sono costituiti da un file esterno la cui posizione è specificata nel sottomenù (External File) della schermata principale della Type.

Il file dei dati in ingresso è un file di testo che corrisponde all'impostazione utilizzata nei parametri della Type.

I dati in output sono forniti in uscita per il collegamento con le altre Type della simulazione.

6.2.2 Type 25 c

La Type 25 c (unformatted data printer) è una subroutine per la stampa su file di output provenienti da altre Type.

I parametri e le relative impostazioni sono mostrati nella schermata principale della Type di seguito riportata, lasciando alla tabella seguente la spiegazione delle singole impostazioni.

Si riporta in figura la schermata di impostazione della Type.

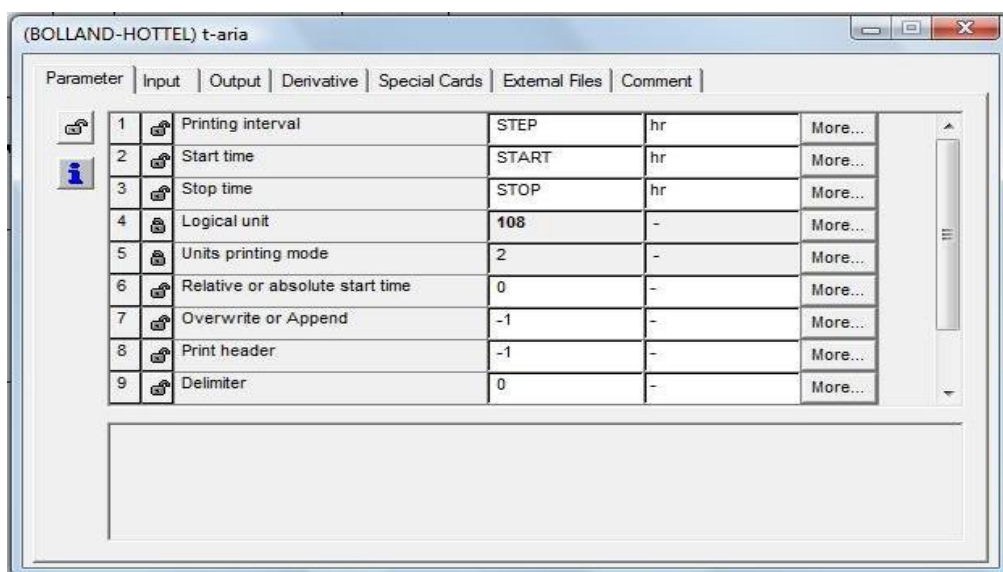


Fig 6.2 Finestra di impostazione della Type 25 c (data printer)

Il significato delle singole impostazioni è riportato in tabella.

Tabella 6.2 Impostazioni della Type 25 c (data printer)

Parametro Numero	Descrizione	Note						
1	Printing intervall	Rappresentano l'intervallo di stampa dei dati le possibilità di scelta sono : <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>STEP</td> <td>Intervallo pari allo time step della simulazione</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Intervallo orario</td> </tr> <tr> <td>-1</td> <td>Intervallo mensile</td> </tr> </table>	STEP	Intervallo pari allo time step della simulazione	1	Intervallo orario	-1	Intervallo mensile
STEP	Intervallo pari allo time step della simulazione							
1	Intervallo orario							
-1	Intervallo mensile							
2	Start time	Tempo di partenza della stampa dei dati. L'impostazione START corrisponde a imporre l'inizio della simulazione						

CAPITOLO 6

3	Stop time	Tempo di fermata della stampa dei dati. L'impostazione STOP corrisponde a imporre la stampa dei dati con la fine della simulazione						
4	Logical Unit	Parametro interno di riferimento usato internamente da TRNSYS						
5	Units printing mode	Indica la possibilità o meno della stampa sui file dei dati						
6	Relative or absolute start time	Indica se l'intervallo di stampa è assoluto o relativo all'inizio della simulazione <table border="1" data-bbox="676 792 1270 882"> <tr> <td>0</td> <td>Stampa rispetto al tempo d'inizio della simulazione</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Stampa riferimento assoluto</td> </tr> </table>	0	Stampa rispetto al tempo d'inizio della simulazione	1	Stampa riferimento assoluto		
0	Stampa rispetto al tempo d'inizio della simulazione							
1	Stampa riferimento assoluto							
7	Overwrite or Append	Indica se si intende sovrascrivere o meno i dati in uscita <table border="1" data-bbox="676 1016 1270 1084"> <tr> <td>0</td> <td>Crea un nuovo file</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Sovrascrivi</td> </tr> </table>	0	Crea un nuovo file	1	Sovrascrivi		
0	Crea un nuovo file							
1	Sovrascrivi							
8	Print header	Indica se stampare o meno le informazioni nascoste del file di input <table border="1" data-bbox="676 1205 1270 1263"> <tr> <td>-1</td> <td>Non stampa</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Stampa</td> </tr> </table>	-1	Non stampa	1	Stampa		
-1	Non stampa							
1	Stampa							
9	Delimiter	Indica il separatore delle colonne dei dati in uscita <table border="1" data-bbox="676 1393 1270 1532"> <tr> <td>0</td> <td>Etichetta</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Virgola</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Spazio</td> </tr> </table>	0	Etichetta	1	Virgola	2	Spazio
0	Etichetta							
1	Virgola							
2	Spazio							
10	Print labels	Indica se stampare o meno in output le etichette descrittive delle variabili <table border="1" data-bbox="676 1626 1270 1715"> <tr> <td>-1</td> <td>Non stampa</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Stampa</td> </tr> </table>	-1	Non stampa	1	Stampa		
-1	Non stampa							
1	Stampa							

I file di output sono salvati nel percorso indicato nel sottomenù External File della schermata principale della Type.

6.3. Costruzione dell'edificio e utilizzo della Type 56 a

È la subroutine principale che serve a simulare l'edificio, che può essere composto da una o più zone termiche.

Dato l'elevato il numero di informazioni necessarie a simulare il comportamento di un edificio è stato inserito un apposito programma ausiliario TRNBUILD in cui vi è un apposito ambiente dedicato all'immissione dei dati e alla definizione dell'edificio.

TRNBUILD genera in output un file (.Bui) che assieme ad altri file (*.bld, *.trn, *.inf) utilizzati da TRNSYS per simulare l'edificio.

6.3.1. TRNBUILD

Il primo passo per simulare il comportamento dell'edificio è quello di definire il numero di zone, nel nostro caso una sola.

Successivamente si va a definire il numero e l'orientazione delle pareti presenti nella zona all'interno della finestra Project.

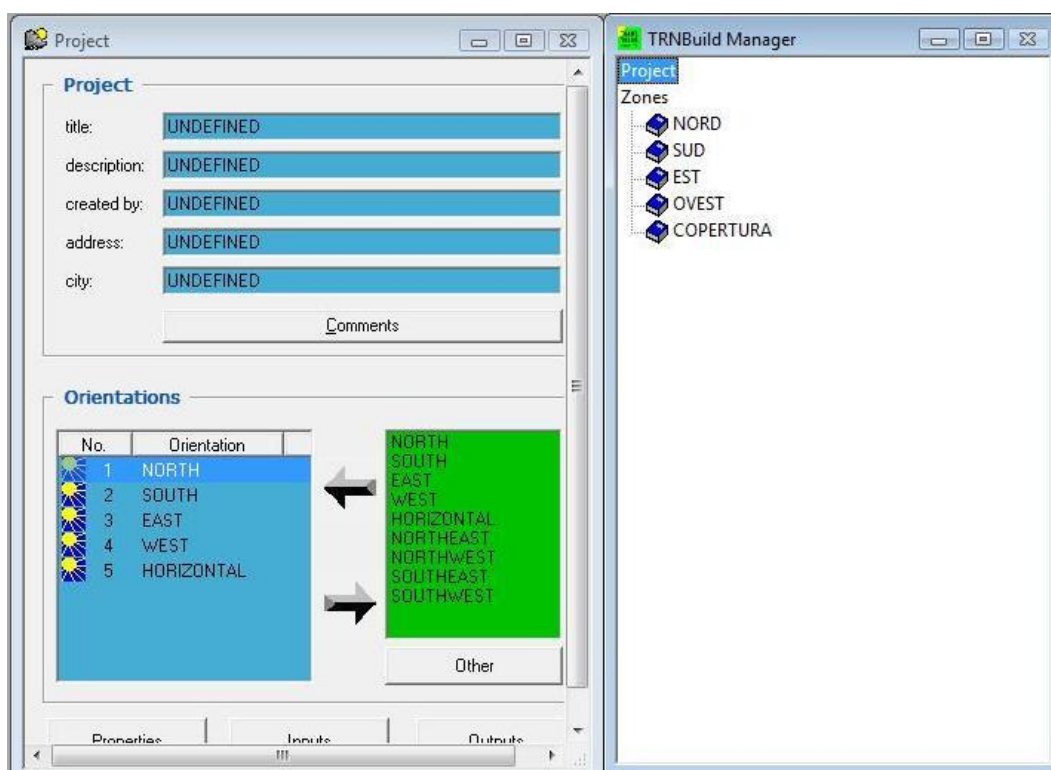


Fig 6.3 Finestra Project e TRNBUILD manager

CAPITOLO 6

Nella simulazione che andremo a impostare si avranno cinque pareti con orientazioni :Nord, Sud, Est, Ovest; Copertura orizzontale, l'aggiunta di queste viene fatta con l'utilizzo delle frecce della finestra project.

Nel menu TRNBUILD manager è possibile definire nel dettaglio le impostazioni di ogni singola parete orientata.

Per ognuna di queste è necessario impostare alcuni parametri la cui impostazione si esegue dal menu della figura sottostante.

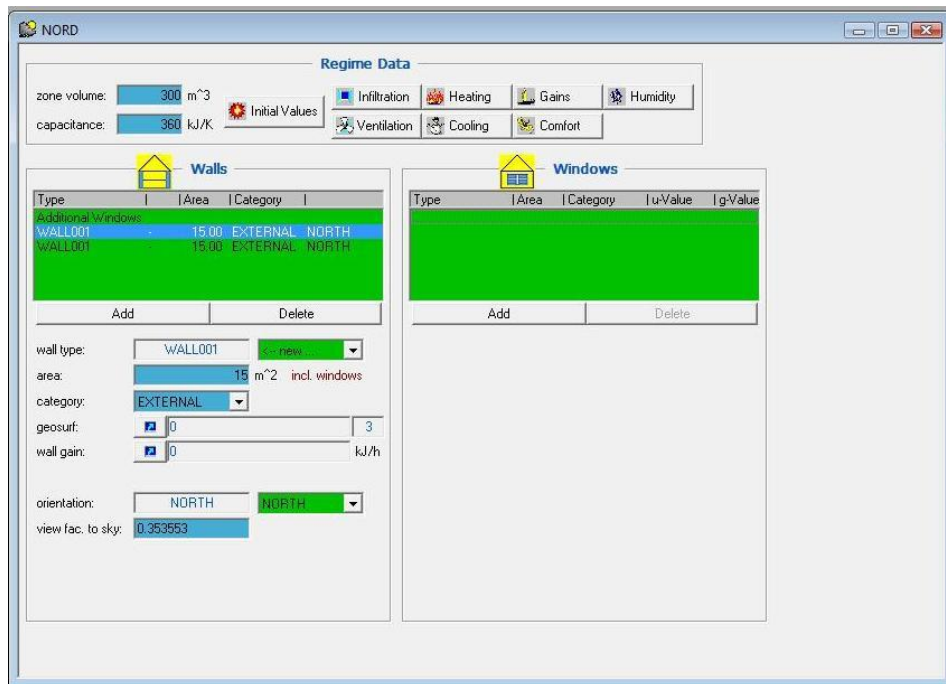


Fig 6.4 Finestra di definizione delle caratteristiche della parete nord

Si andrà a simulare una zona termica per ogni orientazione considerata, questo per evitare gli scambi infrarossi fra le pareti, quindi ogni zona avrà una sola parete disperdente.

Ogni zona termica studiata avrà le medesime dimensioni ossia un volume pari a 300 m³ comparabile ad un appartamento di 100 m² con pareti di lato 10 m e altezza 3 m.

Per ogni singola zona si devono impostare le condizioni di riscaldamento e raffrescamento che consentono di mantenere fissa la temperatura interna dell'aria durante tutto l'anno.

Inoltre è necessaria l'impostazione di alcuni parametri che descrivono le condizioni a contorno, si riporta in figura 6.5 la finestra di definizione di detti parametri lasciando la descrizione delle caratteristiche alla tabella 6.4.



Fig 6.5 Finestra di definizione dei parametri della parete

Si riporta in tabella il significato dei singoli parametri e i valori impostati per la simulazione :

Tabella 6.4 Impostazione dei parametri descrittivi delle condizioni a contorno della parete

Initial Value	Valori iniziali di temperatura iniziale e umidità relativa, nel nostro caso 20°C, 50%
Infiltration	Nessuna infiltrazione impostata
Ventilation	Nessuna ventilazione impostata
Heating	Condizione in condizioni invernali. Si sono imposte le condizioni di set point sulla temperatura interna dell'aria. Dette condizioni sono una temperatura estiva di 26°C per i mesi di giugno luglio agosto ed una temperatura invernale di 20°C per i restanti mesi. Dette temperature sono costanti, senza variazione d'umidità dell'aria immessa e con impianto a potenza illimitata.
Cooling	Condizioni estive. Si sono imposte le condizioni di set point sulla temperatura interna dell'aria. Dette condizioni sono una temperatura estiva di 26°C per i mesi di giugno luglio agosto ed una temperatura invernale di 20°C per i restanti mesi. Dette temperature sono costanti, senza variazione d'umidità dell'aria immessa e con impianto a potenza illimitata.
Gains	Apporti interni non presenti
Comfort	Condizioni di confort non considerate
Humidity	Modello di umidità semplificato (non è stato considerato il bilancio latente ma solamente quello sensibile)

È necessario inoltre definire la parete da utilizzare e ricorrere alla creazione di una corrispondente alle caratteristiche di uso comune.

Il primo passo è la definizione degli strati della parete mediante il Layer Type Manager visibile in figura.

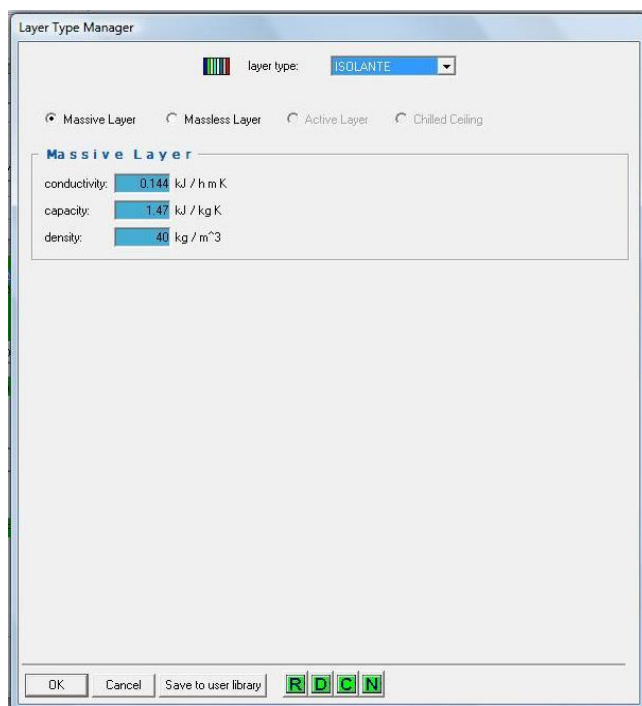


Fig 6.6 Layer Type manager

Si sono impostati due strati uno di laterizio di spessore 20 cm, l'altro di isolante di spessore 5 cm.

Lo strato può essere massivo o puramente resistivo se è il primo caso come nel presente lavoro, si forniranno quindi la conduttività termica, la densità e la capacità termica.

Si riportano i dati relativi alle caratteristiche fisiche degli strati impostati.

Tabella 6.5 Caratteristiche fisiche degli strati della parete

CARATTERISTICHE FISICHE DEGLI STRATI	CONDUTTIVITA' $\left[\frac{W}{m K}\right]$	DENSITA' $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	CAPACITA' TERMICA $\left[\frac{kJ}{kg K}\right]$
LATTERIZIO	0.25	850	0.84
ISOLANTE	0.04	40	0.144

Si proceda quindi all'assemblaggio degli strati costituenti la parete.

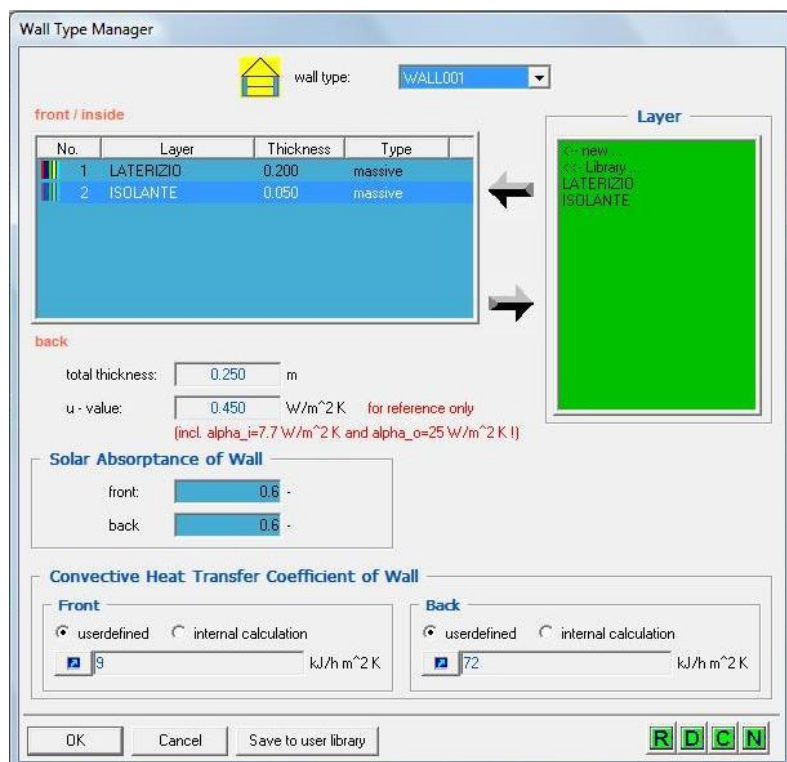


Fig 6.7 Wall Type manager

Nel nostro caso i due strati uno di laterizio da costruzione e uno di isolante sono posti il primo verso l'ambiente interno il secondo verso l'esterno e vanno inseriti partendo dal lato interno secondo quanto riportato in figura :

Per i valore dei coefficienti convettivi sono stati utilizzati valori standard secondo quanto previsto dalla norma ENISO 6946 :2007 , si ricorda inoltre che ci interessa particolarmente il coefficiente di assorbimento esterno in quanto soggetto alla radiazione solare, per questo si è scelto un valore medio pari a 0.6, corrispondente ad una parete medio scura.

Si riporta uno specchietto riassuntivo circa le impostazioni dettate dalla norma, in cui si distingue chiaramente la differenza fra parete verticale e orizzontale in termini di coefficiente convettivo interno.

CAPITOLO 6

Tabella 6.6 Coefficienti secondo la norma ENISO 6946 :2007

VALORI DEI COEFFICIENTI CONVETTIVI SECONDO LA NORMA ENISO 6946 :2007		
$\left[\frac{W}{m^2K} \right]$	INTERNO	ESTERNO
PARETE ORIZZONTALE	5	20
PARETE VERTICALE	2.5	20

6.3.2.Ulteriori impostazioni nella Type 56 a

Sono necessarie ulteriori informazioni per completare la definizione della parete nel TRNBUILD manager esse sono riportate in tabella.

Tabella 6.7 Ulteriori parametri di definizione del comportamento della parete

Area della superficie							
Categoria di parete	Interna, esterna, adiacente, con condizioni al contorno fisse definite dall'utente.						
Geosurf	Fattore di distribuzione della radiazione entrante ossia la frazione di radiazione diretta entrante sulla incidente.						
Guadagni	Tengono conto delle fonti di calore interne alla zona termica quali la presenza di persone ed apparecchiature. Nel caso in questione non vi sono guadagni nelle zone termiche analizzate.						
Orientazione	Orientazione della parete						
Fattore di vista	<p>Indica la porzione della volta celeste visibile dalla superficie e risulta :</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>Per le superfici non esposte</td> </tr> <tr> <td>0,5</td> <td>Per le pareti verticali</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Pareti orizzontali</td> </tr> </tbody> </table> <p>Nel caso in questione si è adottato 0.353553. Questo si deve al fatto di aver impiegato la Tsky derivata da Energyplus che dispone di misure del flusso infrarosso sull'orizzontale, è un modello più dettagliato di quello di TRNSYS. Il riferimento per detta considerazione è : "ANALISI COMPARATIVA DEI CODICI DI SIMULAZIONE DINAMICA DEGLI EDIFICI : UN CONFRONTO TRA TRNSYS E ENERRGYPLUS " (2010,Gasparella, Pernigotto)</p>	0	Per le superfici non esposte	0,5	Per le pareti verticali	1	Pareti orizzontali
0	Per le superfici non esposte						
0,5	Per le pareti verticali						
1	Pareti orizzontali						

Si riporta inoltre la finestra di definizione dei parametri nel programma.

Fig 6.8 Finestra di definizione dei parametri della parete

Una volta definito l'edificio in TRNBUILD si descrivono i parametri e le impostazioni della Type 56 a che permettono la gestione dell'edificio in ambiente TRNSYS.

I parametri da impostare sono riportati in tabella :

Tabella 6.8 Definizione dei parametri della Type 56 a

<p>Star network calculation switch</p>	<p>Indica quando lo switch per il calcolo del reticolato a stella deve essere calcolato.</p> <table border="1" data-bbox="639 1267 1315 1352"> <tr> <td>0</td> <td>Inizio simulazione</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Ogni time step</td> </tr> </table> <p>In genere si utilizza zero tranne nel caso in cui il coefficiente convettivo interno sia variabile. Il reticolato a stella approssima il calcolo degli scambi radioattivi fra le pareti interne alla zona e del flusso convettivo delle superfici interne verso l'ambiente interno. Detta procedura è stata proposta da Seem e rappresenta un modello di rete elettrica equivalente. Questo metodo utilizza una temperatura fittizia T_{Star} per valutare il flusso convettivo tra la superficie del muro e il nodo fittizio, inoltre essa è utilizzata per valutare il flusso radiante tra le pareti (e le eventuali finestre) e il già citato nodo.</p>	0	Inizio simulazione	1	Ogni time step
0	Inizio simulazione				
1	Ogni time step				
<p>Weighting factor for</p>	<p>Temperatura operativa è una media pesata tra la</p>				

<p>operative temperature</p>	<p>temperatura media dell'aria T_{air} e la temperatura media radiante T_{surf}, espressa secondo la relazione: $T_{op} = A_{op} * T_{air} + (1 - A_{op}) * T_{surf}$</p> <p>Dove A_{op} è il fattore di peso per la temperatura operativa.</p> <p>Nel nostro caso si è scelto 0.3 secondo la norma UNI EN ISO 13790 :2008</p>
------------------------------	---

6.4. Collegamento tra le Type's

Si proceda ora alla descrizione dei collegamenti tra le Type presenti all'interno del modello costruito in TRNSYS rappresentato in figura.

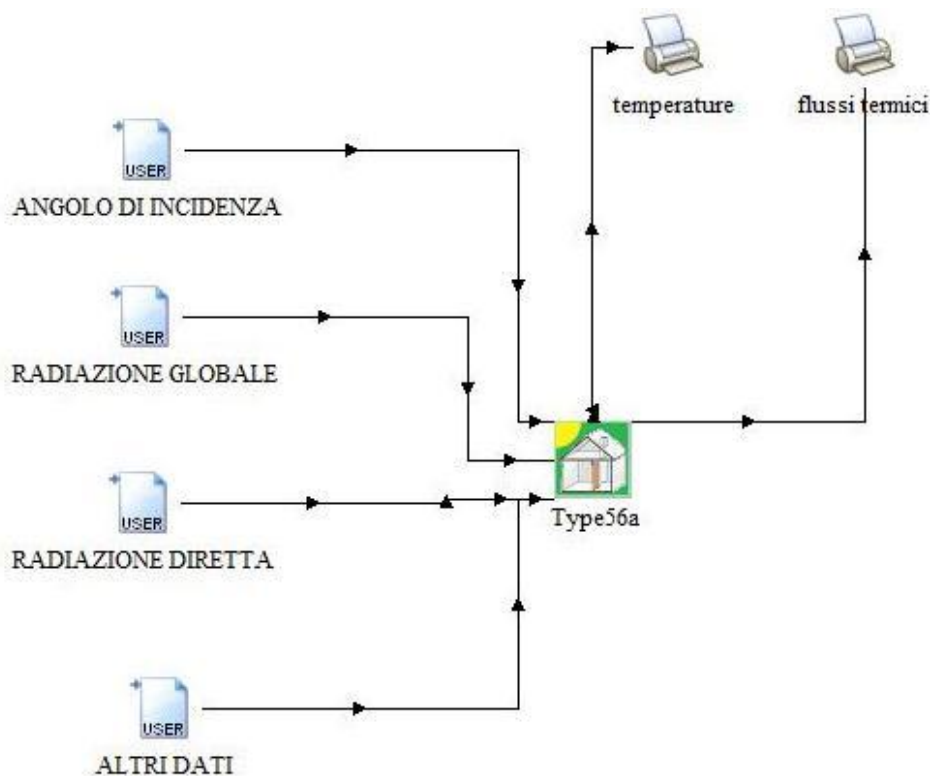


Fig 6.9 Schema di collegamento tra le Types in ambiente TRNsys

Si riportano in forma tabellare i collegamenti tra le grandezze in input e output presenti tra le Type.

Tabella 6.9 Collegamenti tra le Type

Type 56 a	Type 9 a (angoli di incidenza)	Descrizione
AI_NORTH	Output 1	Angoli di incidenza parete nord
AI_SOUTH	Output 2	Angoli di incidenza parete sud
AI_EAST	Output 3	Angoli di incidenza parete est
AI_WEST	Output 4	Angoli di incidenza parete ovest
AI_HORIZZONTAL	Output 5	Angoli di incidenza parete di copertura orizzontale
	Type 9 a (altri dati)	
TAMB	Output 1	Temperatura ambiente esterno
RELHUMAMB	Output 2	Umidità relativa ambiente esterno
TSKY	Output 3	Temperatura della volta celeste
SETPOINT	Output 4	Temperatura di set point
	Type 9 a (radiazione globale)	
IT_NORTH	Output 1	Radiazione globale superficie nord
IT_SOUTH	Output 2	Radiazione globale superficie sud
IT_EAST	Output 3	Radiazione globale superficie est
IT_WEST	Output 4	Radiazione globale superficie ovest
IT_HORIZZONTAL	Output 5	Radiazione globale superficie di copertura orizzontale
	Type 9 a (radiazione diretta)	
IB_NORTH	Output 1	Radiazione diretta superficie nord
IB_SOUTH	Output 2	Radiazione diretta superficie sud
IB_EAST	Output 3	Radiazione diretta superficie est
IB_WEST	Output 4	Radiazione diretta superficie ovest
IB_HORIZZONTAL	Output 5	Radiazione diretta superficie di copertura orizzontale
	Type 25 c (temperature)	
TSI_N	TSI_3	Temperatura superficie interna parete nord
TSI_S	TSI_1	Temperatura superficie interna parete sud
TSI_E	TSI_5	Temperatura superficie interna parete est
TSI_W	TSI_7	Temperatura superficie interna parete ovest

CAPITOLO 6

TSI_C	TSI_9	Temperatura superficie interna parete di copertura orizzontale
TSO_N	TSO_3	Temperatura superficie esterna parete nord
TSO_S	TSO_1	Temperatura superficie esterna parete sud
TSO_E	TSO_5	Temperatura superficie esterna parete est
TSO_W	TSO_7	Temperatura superficie esterna parete ovest
TSO_C	TSO_9	Temperatura superficie esterna parete di copertura orizzontale
	Type 25 c (flussi termici)	
QSENS_NORD	Q_sens_N	Flusso termico sensibile parete nord
QSENS_SUD	Q_sens_S	Flusso termico sensibile parete sud
QSENS_EST	Q_sens_E	Flusso termico sensibile parete est
QSENS_OVEST	Q_sens_W	Flusso termico sensibile parete ovest
QSENS_COPERTURA	Q_sens_COP	Flusso termico sensibile parete copertura orizzontale

CAPITOLO 7 :

Analisi dei risultati della simulazione dinamica dell'edificio

7.1.Introduzione

Nel precedente capitolo si è valutato il comportamento sia dei modelli di previsione della radiazione diretta e diffusa su superficie orizzontale che inclinata.

Si sono scelti alcuni di questi in entrambe le categorie, i criteri di scelta sono sia prestazionali che legati alla presenza dei medesimi in normativa e loro implementazione nei codici di simulazione dinamica.

Si sono create quindi le combinazioni dei modelli scelti mediante l'inserimento in ingresso ai modelli di previsione su superfici inclinate del corrispondente output dei modelli di previsione sul piano orizzontale.

La procedura applicata ad ogni combinazione è descritta dallo schema in figura :

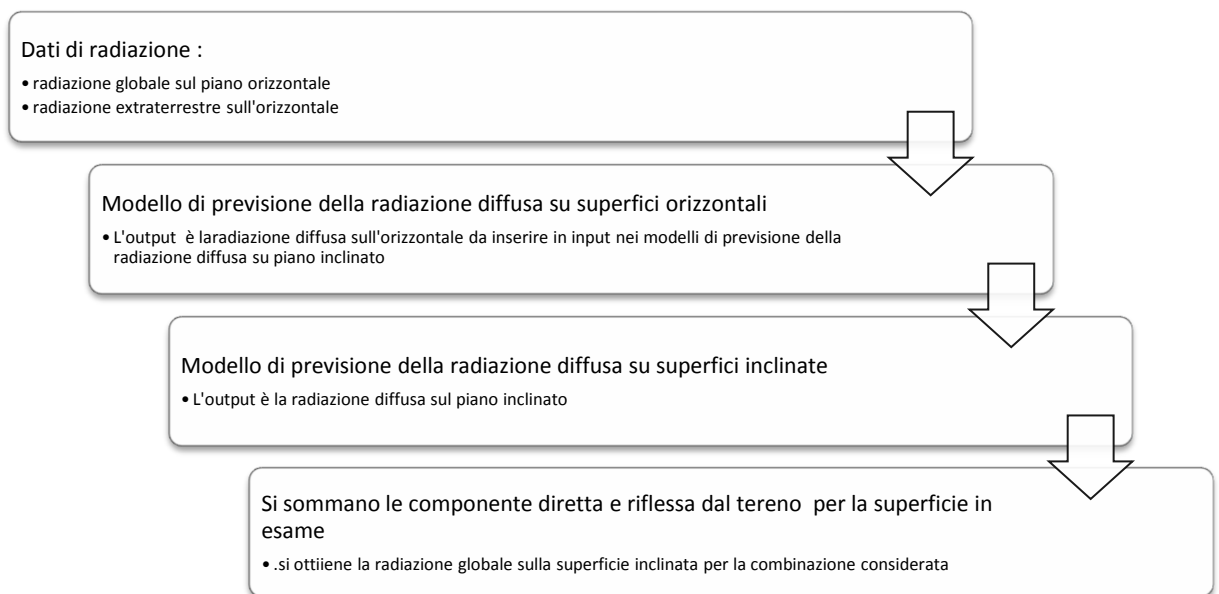


Fig 7.1 Creazione delle combinazioni di modelli di previsione

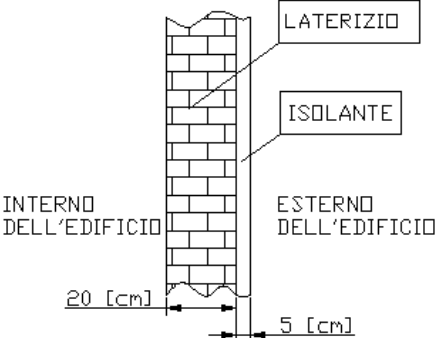
CAPITOLO 7

Lo scopo della simulazione è di verificare l'incidenza in termini di integrale dei flussi entranti/uscenti di dette combinazioni sull'involucro edilizio studiato, costruito secondo le procedure esposte nel Capitolo 6.

La località analizzata nel presente studio è Roma.

Si riporta una tabella riassuntiva delle caratteristiche delle pareti di prova :

Tabella 7.1 caratteristiche e proprietà delle pareti

<p>Composizione della parete considerata</p>	<p>La parete è composta di due strati uno di laterizio verso l'interno dell'edificio ed uno strato isolante verso l'esterno.</p> <p>COMPOSIZIONE DELLA PARETE</p>  <p>Il diagramma illustra la sezione trasversale di una parete. A sinistra, l'etichetta 'INTERNO DELL'EDIFICIO' indica la parte interna. A destra, 'ESTERNO DELL'EDIFICIO' indica la parte esterna. La parete è composta da due strati: uno strato di laterizio (mattoni) con una spessore di 20 [cm] che si affaccia verso l'interno, e uno strato di isolante con una spessore di 5 [cm] che si affaccia verso l'esterno. Le etichette 'LATERIZIO' e 'ISOLANTE' sono collegate ai rispettivi strati da linee guida.</p>																
<p>Caratteristiche degli strati componenti la parete</p>	<p>Strato di isolante :</p> <table border="1" data-bbox="603 1283 1141 1514"> <tr> <td>conduttività termica</td> <td>0.04 $\left[\frac{W}{m K}\right]$</td> </tr> <tr> <td>Capacità termica</td> <td>0.144 $\left[\frac{kJ}{kg K}\right]$</td> </tr> <tr> <td>Densità</td> <td>40 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$</td> </tr> <tr> <td>Spessore</td> <td>50 [mm]</td> </tr> </table> <p>Strato di laterizio :</p> <table border="1" data-bbox="603 1644 1160 1874"> <tr> <td>conduttività termica</td> <td>0.25 $\left[\frac{W}{m K}\right]$</td> </tr> <tr> <td>Capacità termica</td> <td>0.84 $\left[\frac{kJ}{kg K}\right]$</td> </tr> <tr> <td>Densità</td> <td>850 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$</td> </tr> <tr> <td>Spessore</td> <td>200 [mm]</td> </tr> </table>	conduttività termica	0.04 $\left[\frac{W}{m K}\right]$	Capacità termica	0.144 $\left[\frac{kJ}{kg K}\right]$	Densità	40 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	Spessore	50 [mm]	conduttività termica	0.25 $\left[\frac{W}{m K}\right]$	Capacità termica	0.84 $\left[\frac{kJ}{kg K}\right]$	Densità	850 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	Spessore	200 [mm]
conduttività termica	0.04 $\left[\frac{W}{m K}\right]$																
Capacità termica	0.144 $\left[\frac{kJ}{kg K}\right]$																
Densità	40 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$																
Spessore	50 [mm]																
conduttività termica	0.25 $\left[\frac{W}{m K}\right]$																
Capacità termica	0.84 $\left[\frac{kJ}{kg K}\right]$																
Densità	850 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$																
Spessore	200 [mm]																

Sono inoltre da riportare alcune condizioni a contorno imposte all'edificio :

- Temperatura di set point dell'ambiente interno :
 - 26°C stagione estiva (da giugno –settembre)
 - 20°C stagione invernale (rimanenti mesi)

- Umidità relativa: valore costante pari al 50%

I modelli di previsione scelti per la creazione delle combinazioni sono riportati in tabella 7.2 :

Tabella 7.2 Modelli di previsione scelti per la creazione delle combinazioni

MODELLI DI PREVISIONE DELLA FRAZIONE DIRETTA E DIFFUSA SU SUPERFICI ORIZZONTALI	MODELLI DI PREVISIONE DELLA FRAZIONE DIRETTA E DIFFUSA SU SUPERFICI ORIZZONTALI
Boland (2001)	Hottel e Woertz (1942)
Erbs (1982)	Klutchcher (1979)
Miguel (2001)	Muneer (1997)
Orgill eHollands(1977)	Perez (1987)
Reindl(1990)	Reindl (1990)

Risultano quindi 25 combinazioni da studiare per le quali saranno effettuate le corrispondenti 25 simulazioni i cui risultati saranno analizzati in termini di fabbisogni annuali, mensili e il flusso (orario) di due giornate tipo, una estiva ed una invernale.

Per lo studio dell'incidenza delle combinazioni si prenderà come riferimento la combinazione Erbs-Perez, in quanto entrambi i modelli sono presenti in normativa.

Si ricordino inoltre i risultati ottenuti nella verifica delle prestazioni degli accoppiamenti fra i modelli, dai quali risultano le ottime Erbs- Klucher che forniva il profilo di radiazione più simile ai dati sperimentali.

Di fatto questo accoppiamento costituisce un ulteriore riferimento per la lettura dei diagrammi di variazione percentuale.

7.2. Incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici annuali

L'analisi degli scambi energetici comprende la valutazione dei fabbisogni in condizioni invernali e raffrescamento e la valutazione dell'energia specifica scambiata dalla parete nell'arco dell'anno.

I fabbisogni sono espressi in valore assoluto in quanto rappresentano l'energia fornita alla singola parete per il raffrescamento e il riscaldamento dell'ambiente per mantenere le condizioni di set point.

Sia per l'analisi dei fabbisogni annuali che per l'analisi dei flussi di energia si riportano i risultati della combinazione di metodi che costituisce il riferimento normativo ossia dell'accoppiamento Erbs-Perez.

Tabella 7.3 Fabbisogni annuali dell'accoppiamento Erbs-Perez per le cinque orientazioni esaminate

ACCOPIAMENTO DI RIFERIMENTO : ERBS-PEREZ	INTEGRALE DEI FLUSSI ENTRANTI/USCENTI ESPRESSI IN TERMINI SPECIFICI RISPETTO ALLA SUPERFICI DELLE PARETI	
	CONDIZIONI INVERNALI $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$	CONDIZIONI ESTIVE $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$
PARETE NORD	37.27	0.31
PARETE SUD	31.96	0.64
PARETE EST	35.17	0.46
PARETE OVEST	32.74	0.83
PARETE COPERTURA ORIZZONTALE	38.87	0.48

Tabella 7.4 Energia unitaria scambiata dalle pareti dell'edificio relativa all'accoppiamento Erbs-Perez

ERBS-PEREZ	ENERGIA UNITARIA SCAMBIATA ANNUALMENTE $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$
PARETE NORD	-36.96
PARETE SUD	-31.32
PARETE EST	-34.72
PARETE OVEST	-31.91
PARETE COPERTURA ORIZZONTALE	-0.038

Si analizzi lo scostamento percentuale di tutte le combinazioni di modelli rispetto all'accoppiamento di riferimento (Erbs-Perez).

7.2.1. Parete nord

Si riportano di seguito le variazioni percentuali dei fabbisogni annuali in condizioni estive e riscaldamento e dell'energia scambiata annualmente per la parete verticale rivolta verso nord.

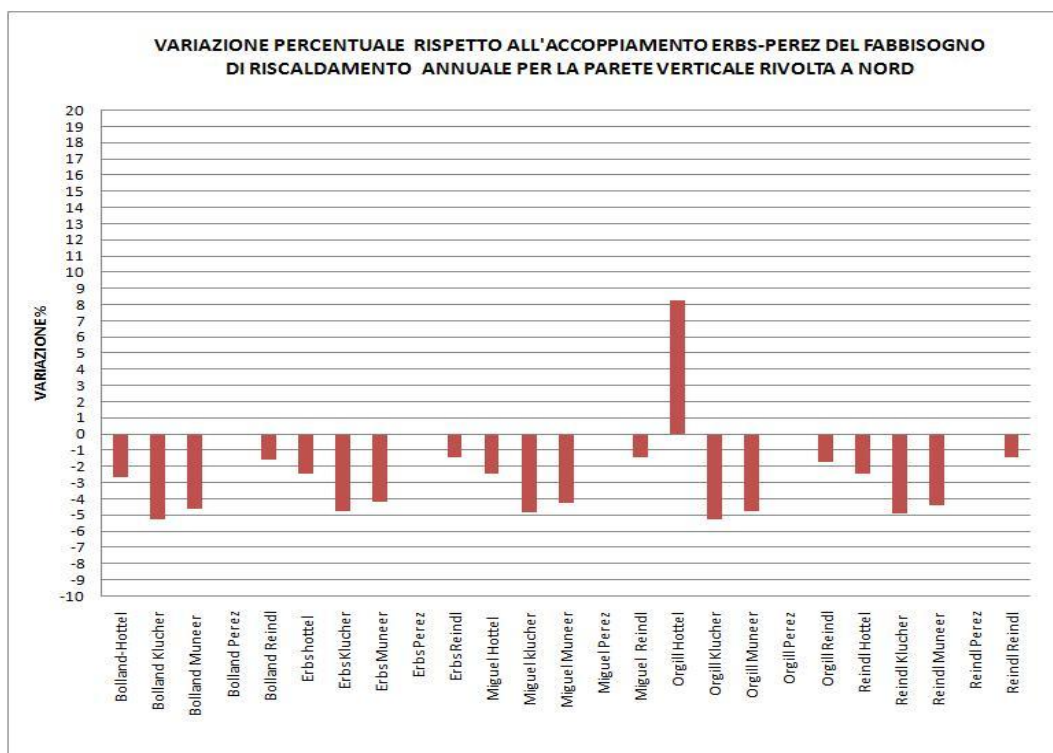


Fig 7.2 Variazione percentuale del integrale dei flussi uscenti in condizione invernale per la parete nord

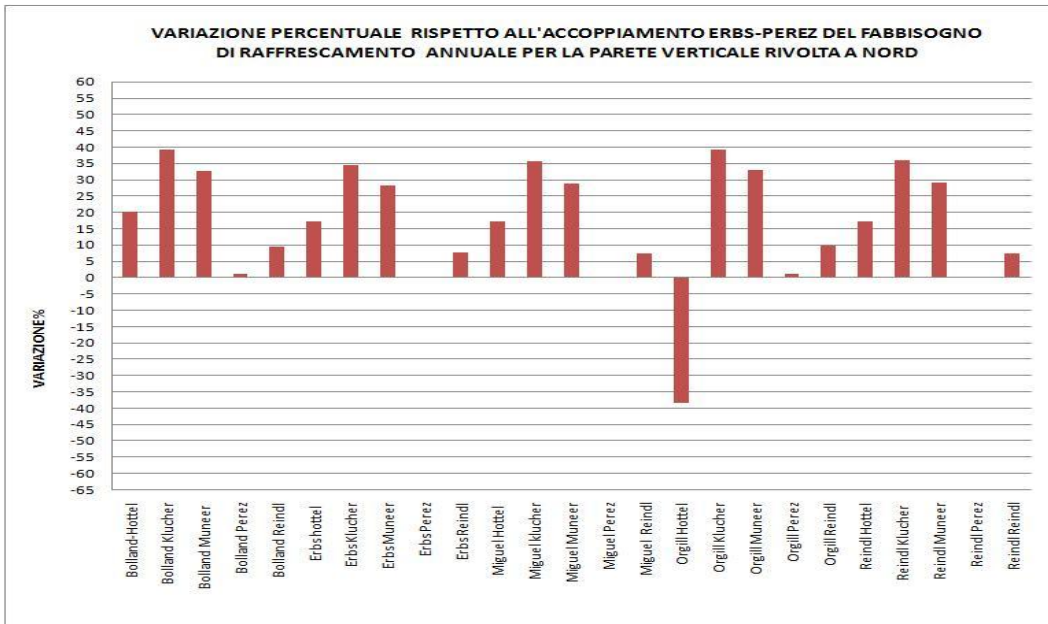


Fig 7.3 Variazione percentuale dell' integrale dei flussi entranti in condizioni estive per la parete nord

7.2.2.Parete sud

Si riportano di seguito le variazioni percentuali dei fabbisogni annuali in condizioni estive e riscaldamento e dell'energia scambiata annualmente per la parete verticale rivolta verso sud.

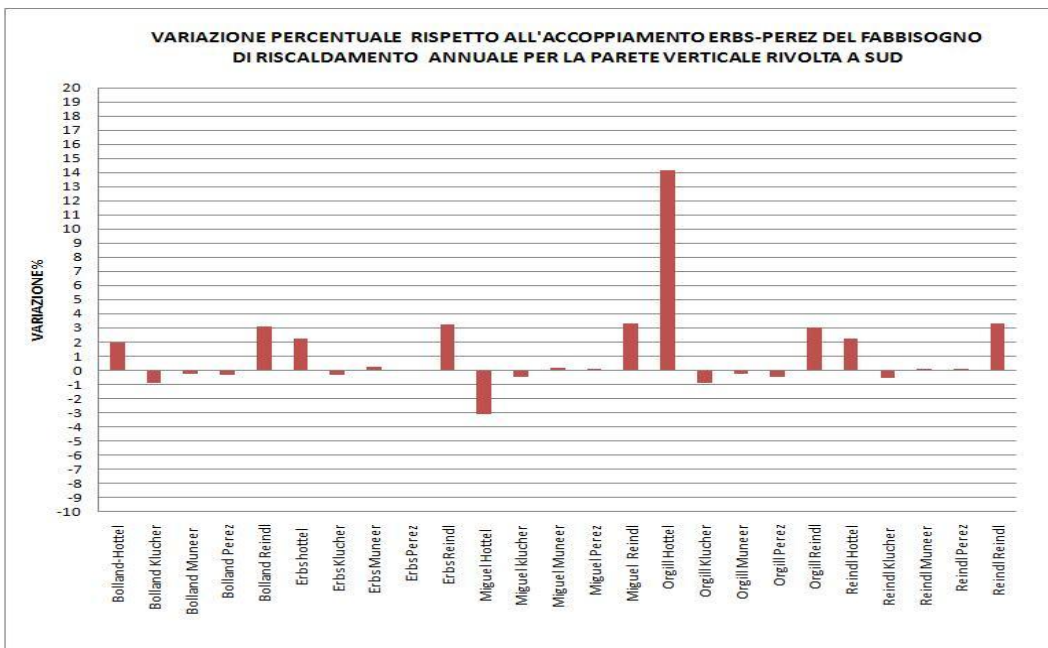


Fig 7.4 Variazione percentuale dell' integrale dei flussi uscenti in condizioni invernali per la parete sud

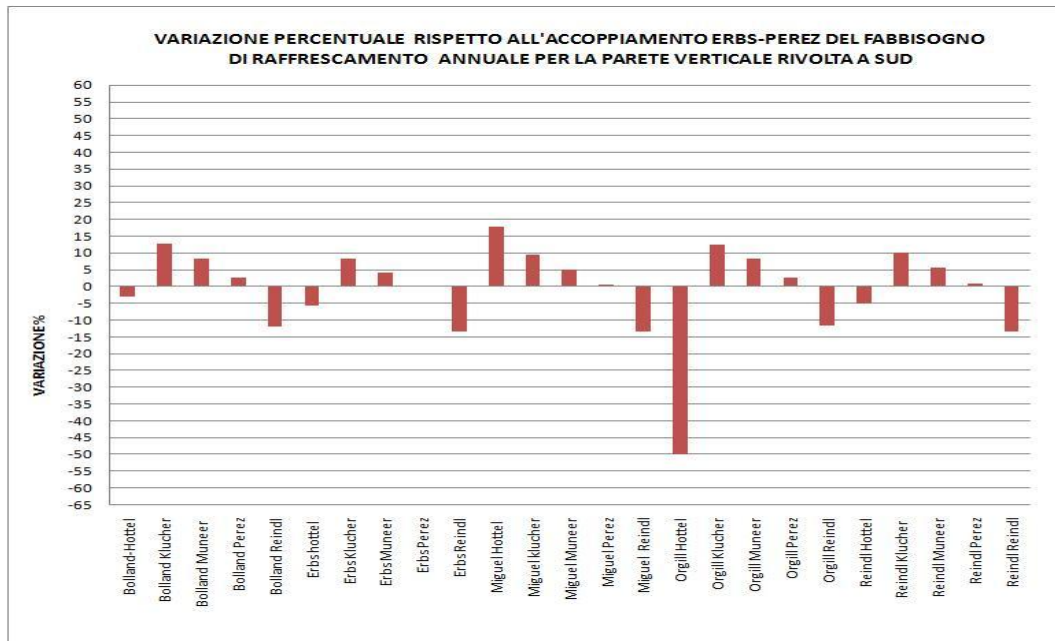


Fig 7.5 Variazione percentuale dell' integrale dei flussi entranti in condizioni estive per la parete sud

7.2.3.Parete est

Si riportano di seguito le variazioni percentuali dei fabbisogni annuali in condizioni estive e riscaldamento e dell'energia scambiata annualmente per la parete verticale rivolta verso est.

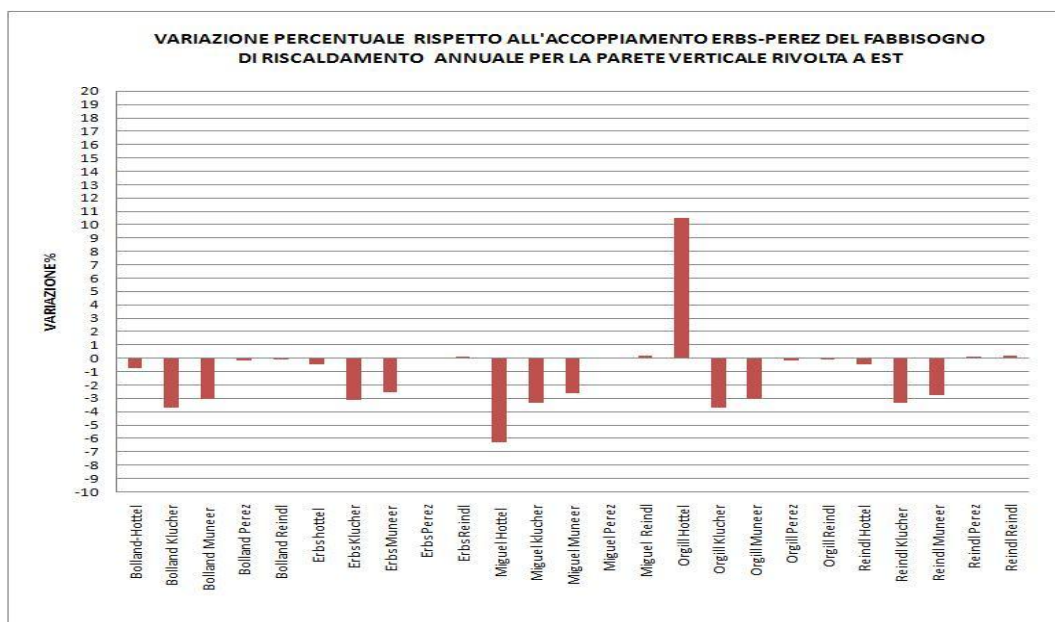


Fig 7.6 Variazione percentuale dell' integrale dei flussi uscenti in condizioni invernali per la parete est

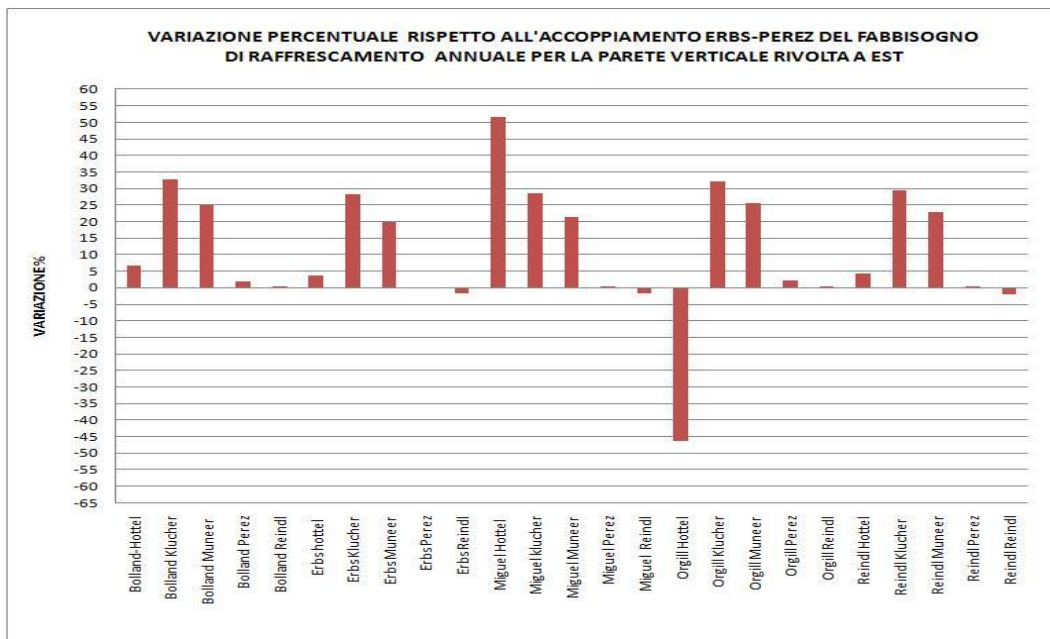


Fig 7.7 Variazione percentuale dell' integrale dei flussi entranti in condizioni estive per la parete est

7.2.4. Parete ovest

Si riportano di seguito le variazioni percentuali dei fabbisogni annuali in condizioni estive e riscaldamento e dell'energia scambiata annualmente per la parete verticale rivolta verso ovest.

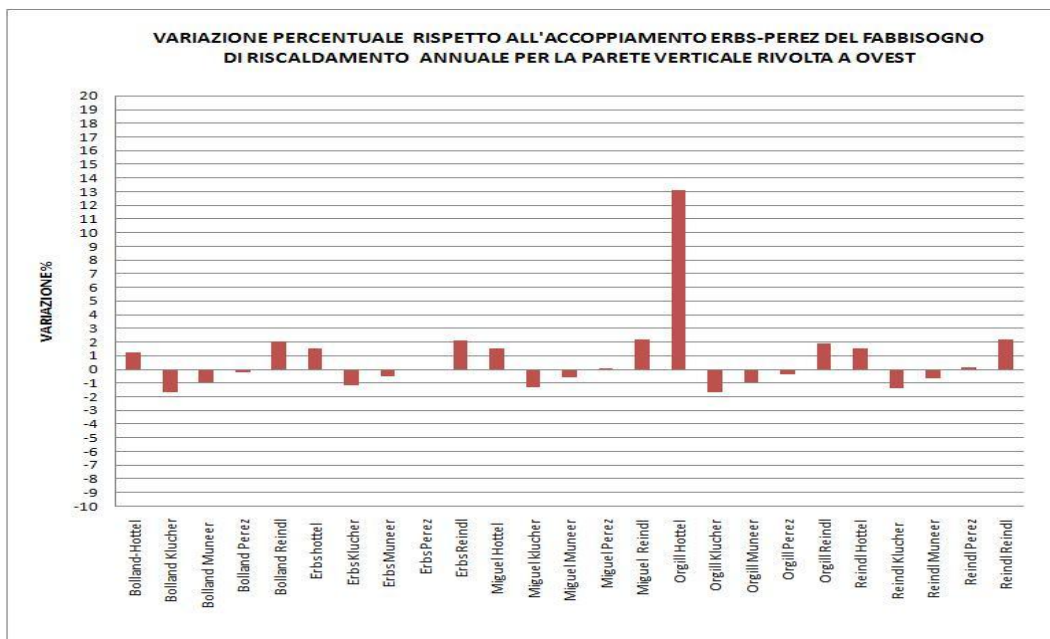


Fig 7.8 Variazione percentuale dell' integrale dei flussi uscenti in condizioni invernali per la parete ovest

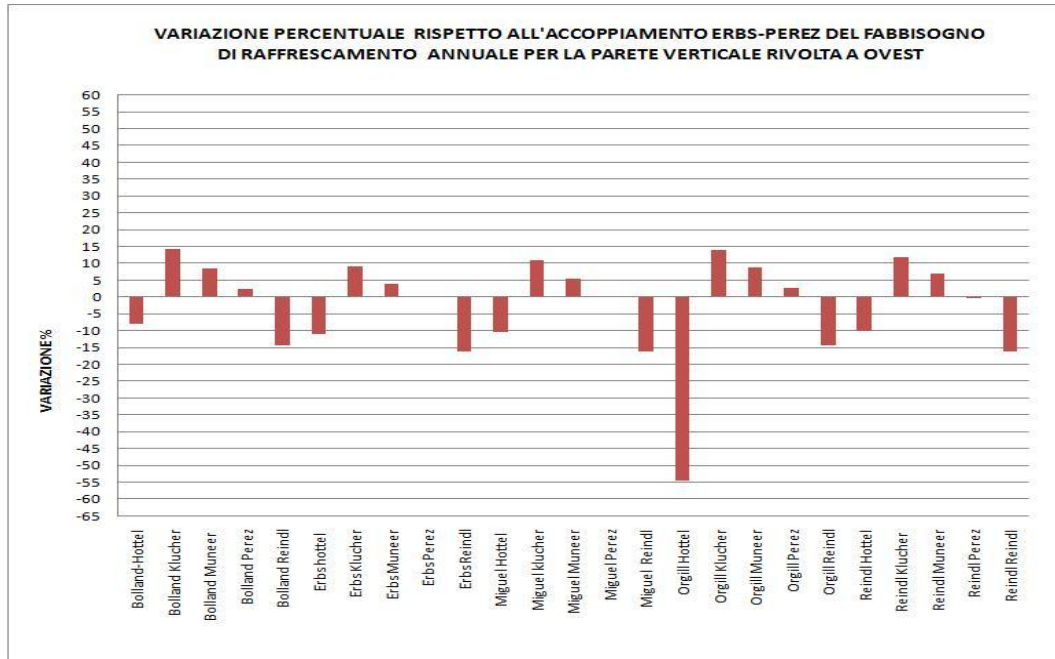


Fig 7.9 Variazione percentuale dell' integrale dei flussi entranti in condizioni estive per la parete ovest

7.2.5. Parete di copertura orizzontale

Si riportano di seguito le variazioni percentuali dei fabbisogni annuali in condizioni estive e riscaldamento e dell'energia scambiata annualmente per la parete di copertura orizzontale.

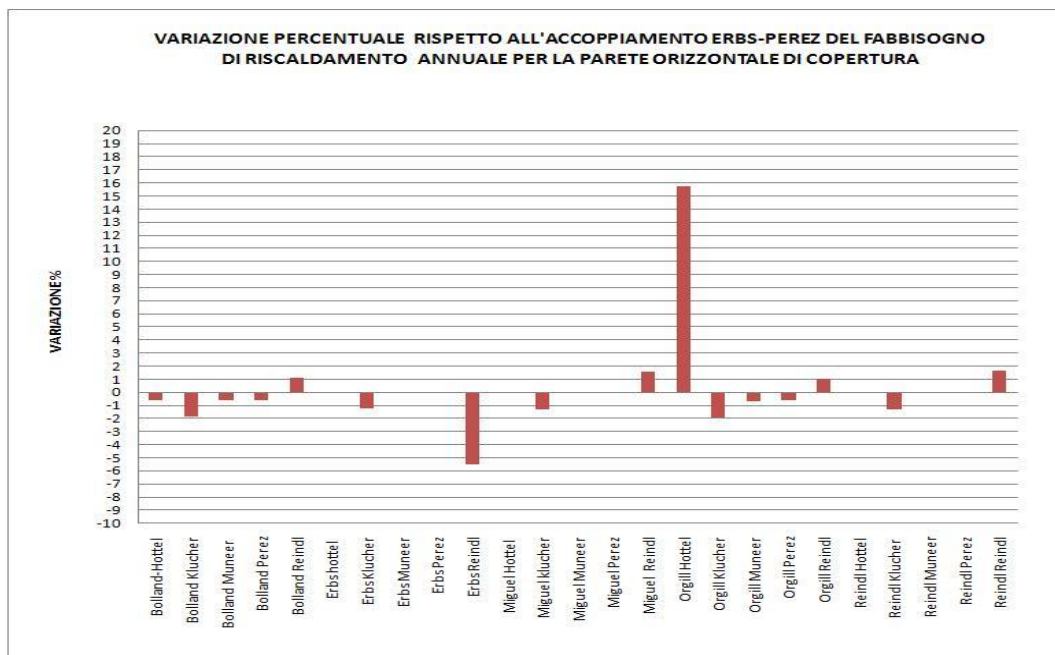


Fig 7.10 Variazione percentuale dell' integrale dei flussi uscenti in condizioni invernali per la parete di copertura orizzontale

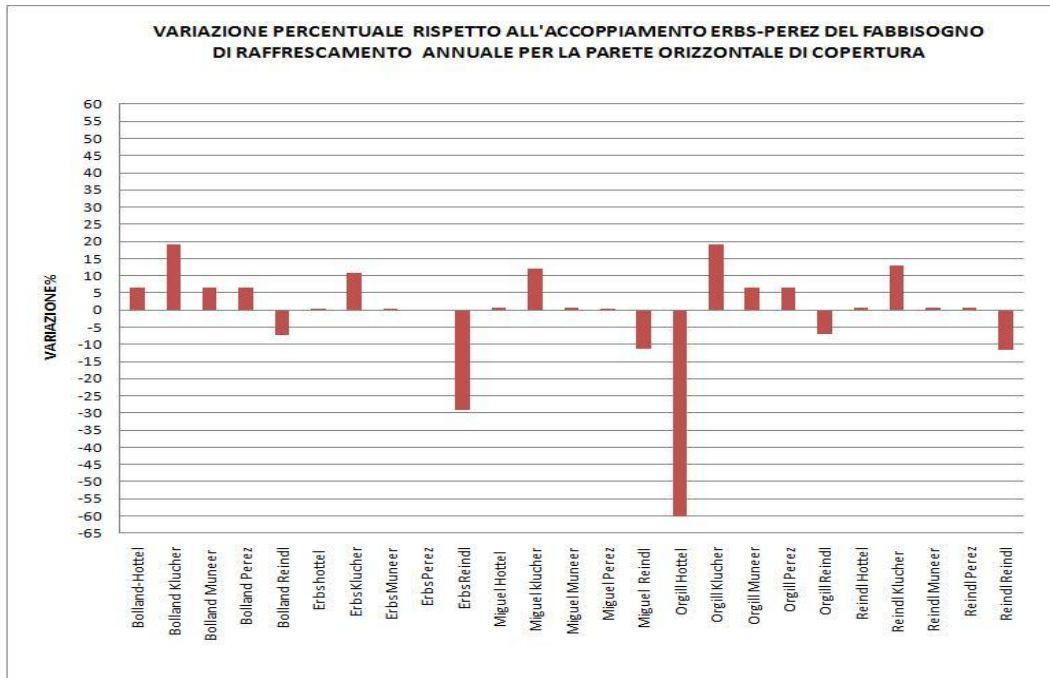


Fig 7.11 Variazione percentuale dell' integrale dei flussi entranti in condizioni estive per la parete di copertura orizzontale

7.2.6. Commenti sull'incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici annuali

Si analizzi l'influenza delle combinazioni di modelli in termini di scambi energetici per ogni singola parete analizzata, per far ciò si confronteranno i grafici delle variazioni percentuali rispetto all'accoppiamento di riferimento (Erbs-Perez).

Variazioni positive indicano che la combinazione di modelli in esame necessita di fabbisogni maggiori per mantenere l'edificio nelle condizioni imposte, e quindi anche i flussi e l'energia scambiata dalle pareti sarà superiore, il viceversa si verifica in caso di variazioni negative.

In generale dall'osservazione dei grafici riportanti le variazioni possiamo affermare che esiste una certa ciclicità nella distribuzione che risulta funzione del modello di stima della radiazione sul piano inclinato utilizzato nell'accoppiamento.

Un'altra considerazione che riveste carattere generale e che riguarda tutte le orientazioni sta nella valutazione del comportamento della coppia Orgill-Hottel che presenta scostamenti dal modello di riferimento molto elevati, nello specifico dell'ordine del 15% per il integrale dei flussi entranti/uscenti in condizioni invernali e l'energia

specificata, del 50% circa per il integrale dei flussi entranti/uscenti in condizioni estive.

Si analizza più nel dettaglio l'andamento delle variazioni rispetto al modello di riferimento per le singole orientazioni.

Per la parete nord si osserva una tendenza a variazioni negative del integrale dei flussi entranti/uscenti in condizioni invernali e dell'energia scambiata, con valori massimi intorno al 10% viceversa il integrale dei flussi entranti/uscenti in condizioni estive presenta variazioni positive, contenute in un intervallo tra il 25% e il 40%.

La parete sud presenta una generale diminuzione di tutte le variazioni, che risultano dimezzate rispetto alle corrispondenti della parete nord, al contrario lo scostamento della coppia Orgill-Hottel aumenta.

Si nota inoltre una variazione significativa del modello Orgill-Perez per quel che riguarda l'energia specifica scambiata dalla parete.

La parete est presenta una situazione paragonabile a quella vista per la parete nord mentre la parete ovest si comporta in maniera analoga alla parete sud.

In fine la parete di copertura orizzontale presenta variazioni di fabbisogni e di energia scambiata contenuti, negativi per il integrale dei flussi entranti/uscenti in condizioni invernali e lo scambio d'energia, positivi per il integrale dei flussi entranti/uscenti in condizioni estive.

7.3. Incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici mensili.

Dato l'elevato numero di combinazioni di modelli si riportano i risultati relativi ai fabbisogni in condizioni invernali, in condizioni estive e ai flussi energetici per le pareti dell'edificio studiato in forma tabellare nelle pagine successive

Tabella 7.6 Integrale mensile dei flussi entranti/uscenti per la parete sud

PARETE SUD			VALUTAZIONE DELL' INTEGRALE MENSILE DEI FLUSSI USCENTI IN CONDIZIONI INVERNALI SU UNITA' DI SUPERFICIE $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$																						
	BOLLAND -HOTTEL	BOLLAND-KLUCHER	BOLLAND -MUNEER	BOLLAND-PEREZ	BOLLAND -REINDL	ERBS-HOTTEL	ERBS-KLUCHER	ERBS -MUNEER	ERBS -PEREZ	ERBS -REINDL	MIGUEL-HOTTEL	MIGUEL-KLUCHER	MIGUEL -MUNEER	MIGUEL -PEREZ	MIGUEL -REINDL	ORGILL-HOTTEL	ORGILL-KLUCHER	ORGILL -MUNEER	ORGILL -PEREZ	ORGILL -REINDL	REINDL-HOTTEL	REINDL-KLUCHER	REINDL -MUNEER	REINDL -PEREZ	REINDL -REINDL
GEN	4.047	3.983	3.963	3.917	4.033	4.047	3.990	3.970	3.920	4.033	3.897	3.987	3.967	3.923	4.037	4.217	3.983	3.963	3.907	4.033	4.050	3.987	3.963	3.930	4.037
FEB	3.603	3.523	3.507	3.460	3.600	3.607	3.533	3.520	3.467	3.603	3.450	3.533	3.517	3.470	3.607	3.840	3.523	3.503	3.457	3.597	3.610	3.530	3.517	3.477	3.607
MAR	3.387	3.300	3.302	3.278	3.410	3.397	3.313	3.316	3.289	3.417	3.230	3.311	3.314	3.292	3.417	3.743	3.299	3.300	3.274	3.410	3.400	3.310	3.313	3.295	3.420
APR	3.145	3.070	3.096	3.118	3.192	3.153	3.086	3.110	3.130	3.196	3.010	3.082	3.108	3.130	3.198	3.563	3.069	3.094	3.116	3.189	3.154	3.080	3.107	3.131	3.199
MAG	1.476	1.407	1.458	1.513	1.542	1.488	1.426	1.472	1.524	1.547	1.364	1.420	1.470	1.522	1.548	1.916	1.409	1.459	1.513	1.541	1.486	1.418	1.469	1.522	1.549
GIU	2.380	2.291	2.365	2.456	2.466	2.398	2.317	2.384	2.470	2.475	2.248	2.309	2.382	2.466	2.475	2.887	2.292	2.366	2.457	2.465	2.393	2.306	2.381	2.464	2.475
LUG	1.093	1.006	1.075	1.145	1.195	1.117	1.037	1.100	1.163	1.208	0.985	1.026	1.093	1.157	1.206	1.591	1.009	1.077	1.147	1.196	1.106	1.020	1.089	1.154	1.205
AGO	1.039	0.959	0.990	1.039	1.108	1.056	0.981	1.013	1.056	1.119	0.936	0.975	1.008	1.051	1.118	1.477	0.958	0.989	1.038	1.106	1.051	0.971	1.005	1.048	1.118
SET	0.692	0.650	0.658	0.647	0.705	0.696	0.656	0.664	0.652	0.708	0.627	0.656	0.664	0.653	0.710	0.890	0.650	0.657	0.646	0.704	0.699	0.656	0.665	0.655	0.712
OTT	3.393	3.310	3.309	3.261	3.400	3.397	3.321	3.318	3.269	3.400	3.229	3.319	3.316	3.272	3.403	3.677	3.309	3.306	3.255	3.397	3.400	3.318	3.315	3.275	3.407
NOV	3.367	3.294	3.285	3.215	3.357	3.367	3.302	3.291	3.220	3.357	3.201	3.300	3.289	3.223	3.360	3.567	3.294	3.282	3.208	3.353	3.370	3.299	3.287	3.228	3.360
DIC	4.957	4.890	4.877	4.800	4.937	4.957	4.893	4.880	4.807	4.940	4.800	4.893	4.880	4.810	4.940	5.123	4.890	4.873	4.793	4.937	4.963	4.893	4.880	4.817	4.943
VALUTAZIONE DELL' INTEGRALE MENSILE DEI FLUSSI ENTRANTI IN CONDIZIONI ESTIVE SU UNITA' DI SUPERFICIE $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$																									
GEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FEB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
APR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAG	0.084	0.097	0.087	0.078	0.073	0.081	0.094	0.084	0.076	0.072	0.103	0.094	0.084	0.076	0.072	0.037	0.096	0.086	0.077	0.073	0.081	0.094	0.084	0.076	0.072
GIU	0.001	0.002	0.001	0.001	0	0.001	0.002	0.001	0	0	0.002	0.002	0.001	0.001	0	0	0.002	0.001	0.001	0	0.001	0.002	0.001	0.001	0
LUG	0.022	0.034	0.024	0.018	0.012	0.019	0.028	0.020	0.016	0.012	0.034	0.030	0.022	0.017	0.012	0.002	0.033	0.023	0.018	0.012	0.020	0.032	0.022	0.017	0.012
AGO	0.068	0.084	0.077	0.068	0.057	0.065	0.078	0.072	0.065	0.056	0.089	0.080	0.073	0.066	0.056	0.035	0.084	0.077	0.068	0.057	0.066	0.082	0.074	0.066	0.056
SET	0.436	0.488	0.484	0.475	0.411	0.428	0.477	0.471	0.467	0.406	0.511	0.480	0.474	0.468	0.405	0.244	0.489	0.485	0.476	0.412	0.429	0.481	0.475	0.467	0.405
OTT	0.013	0.018	0.021	0.019	0.012	0.012	0.016	0.020	0.018	0.011	0.018	0.017	0.020	0.019	0.011	0.003	0.018	0.022	0.020	0.012	0.012	0.017	0.021	0.019	0.011
NOV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DIC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 7.8 Integrale mensile dei flussi entranti/uscenti per la parete ovest

PARETE OVEST			VALUTAZIONE DELL' INTEGRALE MENSILE DEI FLUSSI USCENTI IN CONDIZIONI INVERNALI SU UNITA' DI SUPERFICIE $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$																							
	BOLLAND -HOTTEL	BOLLAND-KLUCHER	BOLLAND-MUNEER	BOLLAND-PEREZ	BOLLAND-REINDL	ERBS-HOTTEL	ERBS-KLUCHER	ERBS-MUNEER	ERBS-PEREZ	ERBS-REINDL	MIGUEL-HOTTEL	MIGUEL-KLUCHER	MIGUEL-MUNEER	MIGUEL-PEREZ	MIGUEL-REINDL	ORGILL-HOTTEL	ORGILL-KLUCHER	ORGILL-MUNEER	ORGILL-PEREZ	ORGILL-REINDL	REINDL-HOTTEL	REINDL-KLUCHER	REINDL-MUNEER	REINDL-PEREZ	REINDL-REINDL	
GEN	4.337	4.300	4.307	4.303	4.340	4.337	4.303	4.307	4.303	4.340	4.337	4.303	4.307	4.307	4.340	4.510	4.300	4.307	4.300	4.340	4.340	4.303	4.303	4.310	4.343	
FEB	3.837	3.780	3.783	3.780	3.843	3.843	3.787	3.790	3.783	3.843	3.843	3.787	3.790	3.790	3.847	4.077	3.777	3.780	3.777	3.840	3.843	3.783	3.790	3.793	3.850	
MAR	3.463	3.363	3.377	3.407	3.477	3.470	3.380	3.390	3.410	3.480	3.473	3.377	3.387	3.413	3.487	3.827	3.363	3.373	3.400	3.477	3.473	3.373	3.387	3.420	3.487	
APR	3.081	2.971	3.003	3.033	3.105	3.090	2.990	3.017	3.039	3.109	3.090	2.985	3.015	3.043	3.112	3.503	2.972	3.000	3.027	3.102	3.091	2.982	3.013	3.047	3.113	
MAG	1.290	1.193	1.223	1.266	1.325	1.301	1.212	1.239	1.275	1.331	1.299	1.205	1.234	1.273	1.331	1.722	1.195	1.223	1.264	1.324	1.299	1.203	1.232	1.276	1.332	
GIU	2.181	2.049	2.101	2.158	2.232	2.199	2.078	2.125	2.172	2.243	2.196	2.069	2.119	2.170	2.243	2.686	2.051	2.101	2.156	2.231	2.194	2.064	2.116	2.172	2.243	
LUG	0.813	0.700	0.727	0.777	0.860	0.832	0.726	0.752	0.791	0.872	0.827	0.716	0.742	0.788	0.871	1.252	0.703	0.727	0.776	0.860	0.824	0.712	0.734	0.788	0.870	
AGO	0.960	0.850	0.882	0.924	0.999	0.976	0.873	0.901	0.935	1.009	0.973	0.865	0.896	0.936	1.009	1.383	0.850	0.878	0.921	0.997	0.971	0.861	0.894	0.936	1.009	
SET	0.728	0.678	0.696	0.703	0.739	0.733	0.684	0.702	0.706	0.742	0.734	0.684	0.703	0.708	0.744	0.944	0.677	0.695	0.702	0.738	0.735	0.684	0.702	0.710	0.745	
OTT	3.563	3.487	3.510	3.503	3.573	3.570	3.500	3.513	3.507	3.577	3.570	3.497	3.513	3.513	3.580	3.867	3.487	3.507	3.500	3.573	3.573	3.497	3.513	3.517	3.583	
NOV	3.627	3.583	3.593	3.583	3.630	3.627	3.587	3.597	3.583	3.630	3.630	3.587	3.593	3.587	3.633	3.830	3.580	3.590	3.580	3.630	3.630	3.587	3.593	3.590	3.633	
DIC	5.267	5.233	5.240	5.227	5.270	5.270	5.237	5.240	5.227	5.270	5.270	5.237	5.243	5.233	5.273	5.437	5.233	5.237	5.227	5.270	5.273	5.237	5.247	5.237	5.273	
VALUTAZIONE DELL' INTEGRALE MENSILE DEI FLUSSI ENTRANTI IN CONDIZIONI ESTIVE SU UNITA' DI SUPERFICIE $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$																										
GEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FEB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
APR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAG	0.125	0.157	0.148	0.135	0.117	0.122	0.150	0.141	0.132	0.114	0.122	0.152	0.142	0.132	0.114	0.068	0.155	0.147	0.135	0.116	0.122	0.152	0.143	0.131	0.114	
GIU	0.006	0.011	0.009	0.007	0.005	0.006	0.009	0.008	0.007	0.005	0.006	0.010	0.009	0.007	0.005	0.001	0.011	0.009	0.007	0.005	0.006	0.010	0.009	0.007	0.005	
LUG	0.100	0.144	0.138	0.120	0.082	0.092	0.130	0.125	0.114	0.077	0.095	0.136	0.131	0.116	0.079	0.017	0.142	0.137	0.119	0.081	0.096	0.139	0.137	0.116	0.080	
AGO	0.098	0.132	0.123	0.112	0.087	0.093	0.123	0.116	0.108	0.084	0.094	0.127	0.118	0.108	0.085	0.043	0.132	0.124	0.113	0.088	0.095	0.128	0.120	0.108	0.085	
SET	0.430	0.498	0.476	0.469	0.415	0.423	0.486	0.467	0.465	0.411	0.423	0.489	0.469	0.462	0.409	0.247	0.499	0.479	0.471	0.416	0.423	0.491	0.472	0.461	0.409	
OTT	0.001	0.003	0.003	0.003	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.001	0	0.003	0.004	0.003	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.001	
NOV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
DIC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

7.3.1 Commenti sull'incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici mensili

I dati mensili riportati in tabella avvalorano le considerazioni già fatte per i dati annuali e ne rispecchiano il contenuto.

Dall'osservazione delle tabelle si nota inoltre che in tutte le orientazioni per i fabbisogni vi è una certa influenza della stagionalità.

Infatti le differenze fra le varie combinazioni si accentuano nel periodo da marzo a ottobre con un picco massimo nei mesi di giugno e luglio.

La parete esposta a nord risente meno di questo fenomeno, le variazioni sono meno rilevanti. Il ciò si può spiegare con il fatto che la parete nord è meno esposta e meno soggetta a irraggiamento.

Un minor flusso di energia implica che in valore assoluto le differenze fra di stima della radiazione ottenuta dalle diverse combinazioni di modelli sia minore, il ciò comporta minori differenze in termini di energia scambiata e fabbisogni.

7.4 Incidenza delle combinazioni di modelli sullo scambio di energia nella giornata estiva e invernale

L'analisi dell'influenza delle combinazioni di modelli sul flusso termico scambiato dalle pareti richiede un numero di grafici pari al numero di combinazioni ossia 25 per ogni giornata analizzata.

Si riporterà quindi solamente il caso relativo al modello di Erbs e dei relativi accoppiamenti con i modelli di previsione della radiazione su piano inclinato.

Questo perché Erbs costituisce un riferimento normativo (ENISO 15927-1 : 2004).

Per ogni ulteriore approfondimento e delucidazione circa i commenti presentati nel capitolo si rimanda all'appendice 2 che contiene i grafici di entrambe le giornate analizzate per tutte le combinazioni trattate.

7.4.1. Analisi dei flussi della giornata invernale (21 Gennaio)

Si riporta di seguito l'andamento giornaliero del flusso termico durante la giornata invernale per le combinazioni del modello di Erbs per le cinque pareti dell'edificio.

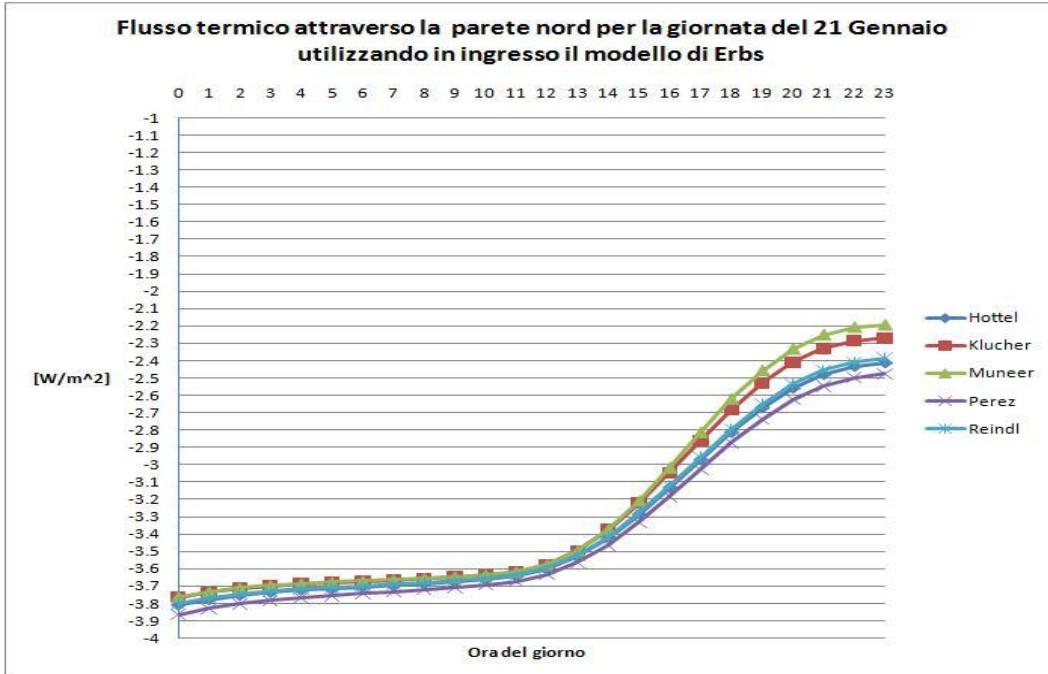


Fig 7.12 Flusso termico attraverso la parete nord per la giornata del 21 Gennaio

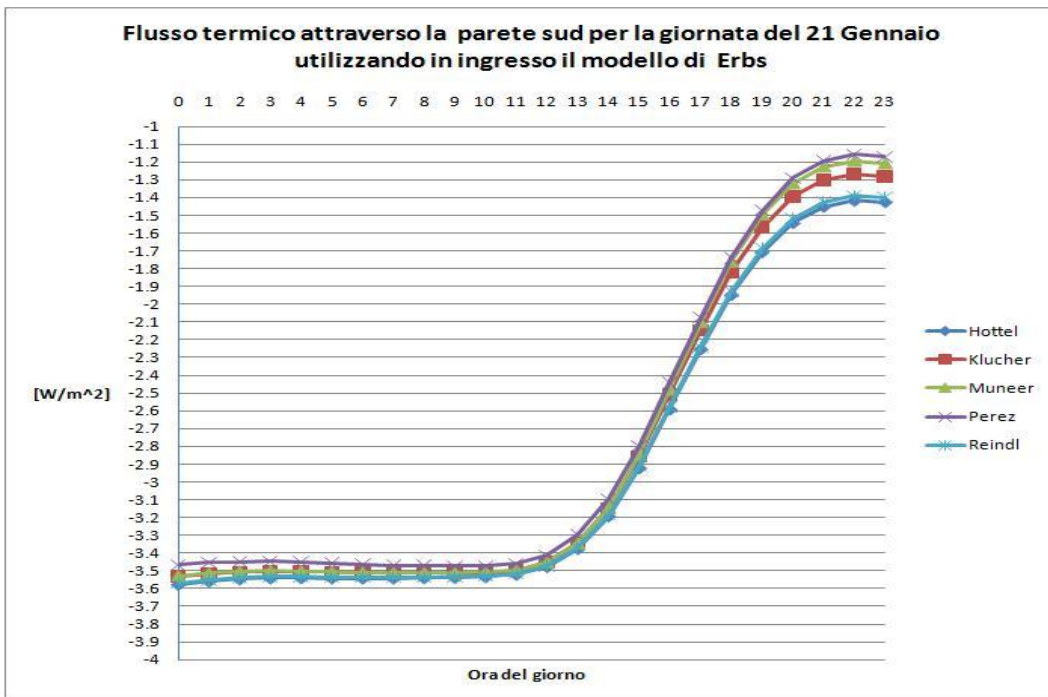


Fig 7.13 Flusso termico attraverso la parete sud per la giornata del 21 Gennaio

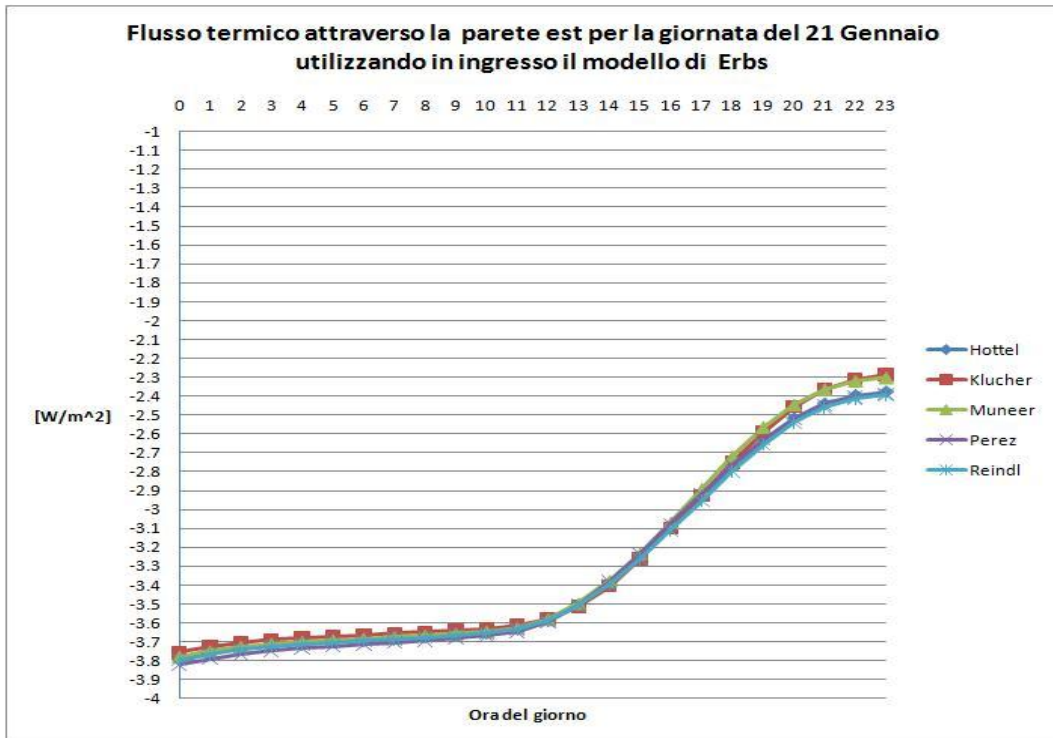


Fig 7.14 Flusso termico attraverso la parete est per la giornata del 21 Gennaio

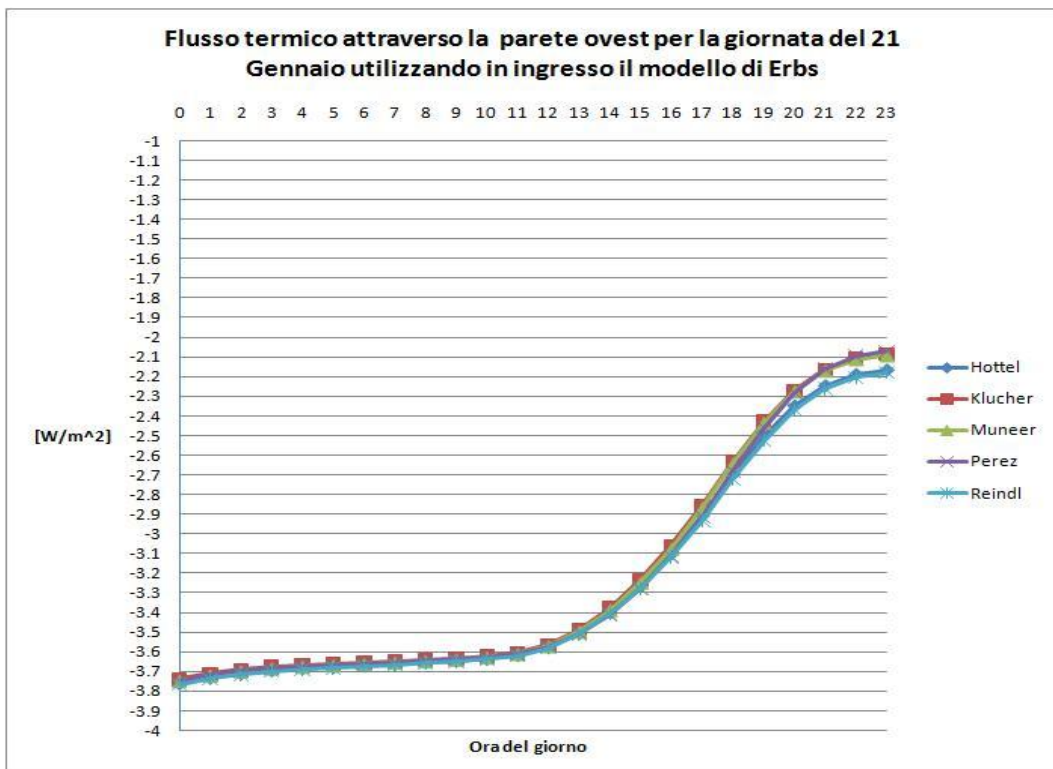


Fig 7.15 Flusso termico attraverso la parete ovest per la giornata del 21 Gennaio

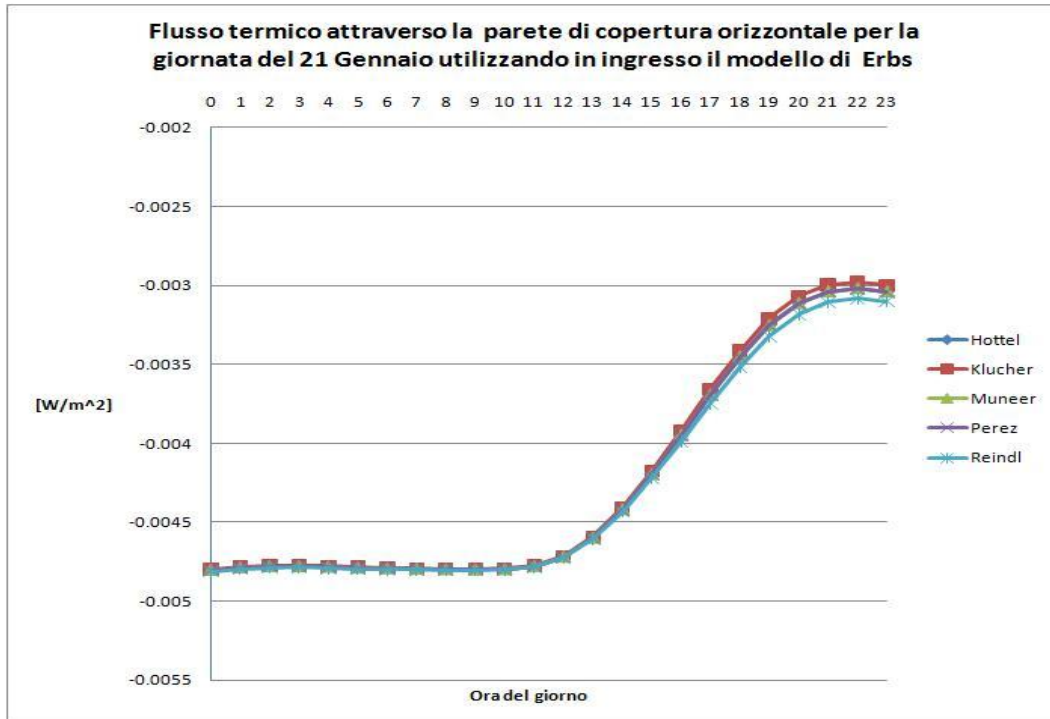


Fig 7.16 Flusso termico attraverso la parete di copertura orizzontale per la giornata del 21 Gennaio

7.4.2. Commenti sull'incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici giornalieri per la giornata invernale

Si noti come i flussi termici siano tutti negativi ossia ceduti dall'edificio verso l'ambiente esterno, il ciò è tipico della stagione invernale.

L'andamento del flusso termico durante la giornata segue un profilo comune a tutte le pareti e per tutte le combinazioni.

Detto profilo non è simmetrico rispetto al periodo di massimo irraggiamento, questo è individuabile dalla distribuzione della temperatura esterna della parete che risulta di maggior rilevanza nel calcolo dei flussi in quanto soggetta a maggior escursione termica.

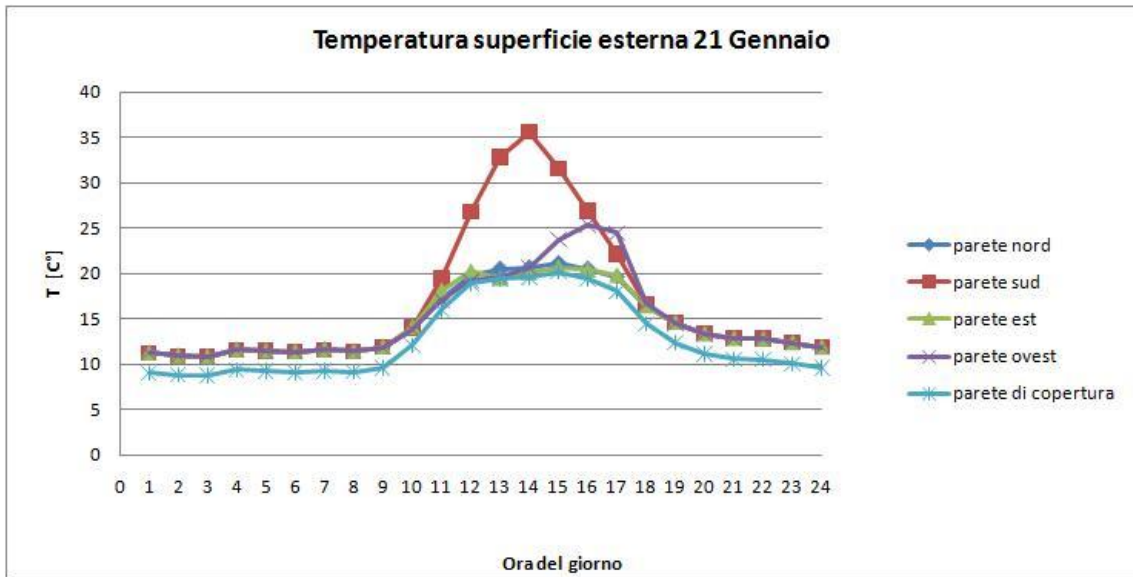


Fig 7.17 Temperature delle superfici esterne delle pareti per la giornata del 21 Gennaio

Si noti dall'osservazione dei grafici come il flusso termico non segue una distribuzione simmetrica come quella delle temperature il ciò a causa dell'inerzia termica delle pareti.

Quindi per il flusso termico si presenta un ritardo temporale rispetto a quello che si avrebbe con una parete senza massa ne capacità termica, per cui il minimo di flusso si avrà cinque ore più in la rispetto al periodo di irraggiamento massimo.

Il flusso massimo si ha nella prima metà della giornata e gradualmente scende fino a toccare il valore minimo a fine giornata.

Si osservi inoltre come per le pareti nord e sud il flusso sia decisamente superiore alle altre pareti verticali, mentre per la parete di copertura si abbiano i flussi minori.

Le differenze nella previsione del flusso fra le varie combinazioni si verificano a fine giornata dove si notano dei comportamenti differenziati a seconda dell'orientazione.

Per le pareti est, ovest e di copertura orizzontale le differenze di stima assumono rilevanza solo per la combinazione contenente il modello di Reindl, che stima per difetto, mentre per le pareti nord e sud le differenze riguardano tutte le combinazioni del diagramma di flusso con differenze più marcate.

Dette considerazioni valgono per tutte le venticinque combinazioni analizzate, un ulteriore considerazione riguarda la combinazione Orgill-Reindl in cui il flusso si scosta in maniera molto significativa.

Per la conferma delle osservazioni fatte e per ulteriori delucidazioni circa il comportamento delle restanti combinazioni si rimanda all'apposita appendice grafica

7.4.3. Analisi dei flussi della giornata estiva (21 Luglio)

Si riporta di seguito l'andamento giornaliero del flusso termico durante la giornata estiva per le combinazioni del modello di Erbs per le cinque pareti dell'edificio.

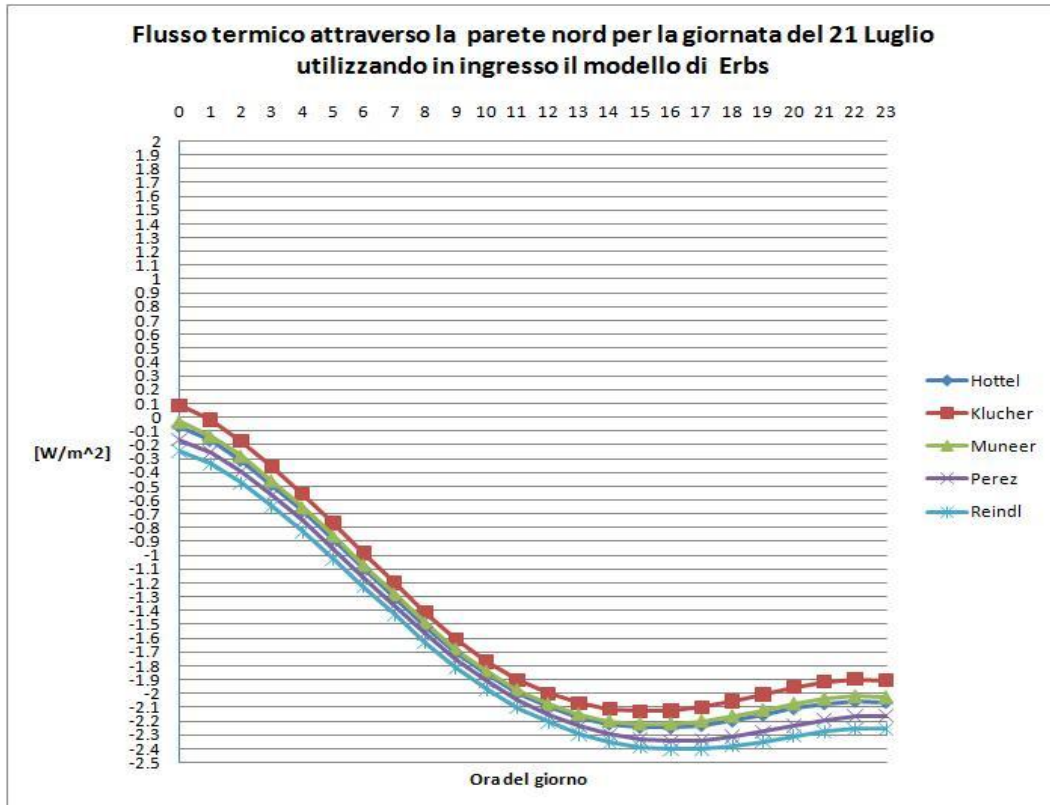


Fig 7.18 Flusso termico attraverso la parete nord per la giornata del 21 Luglio

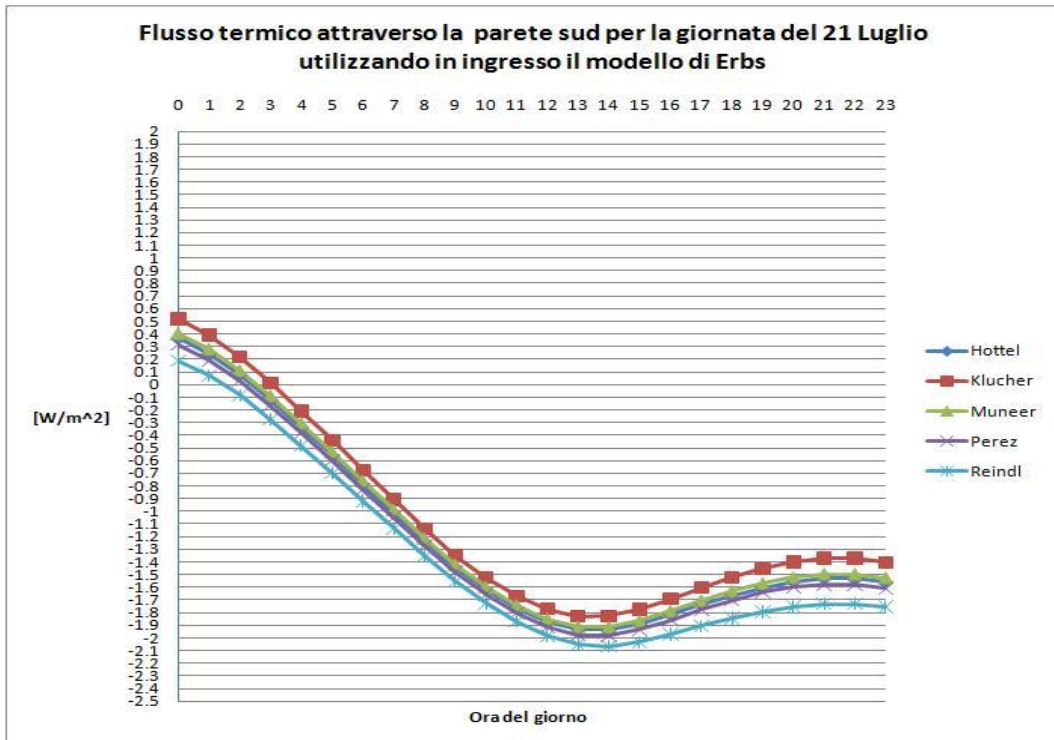


Fig 7.19 Flusso termico attraverso la parete sud per la giornata del 21 Luglio

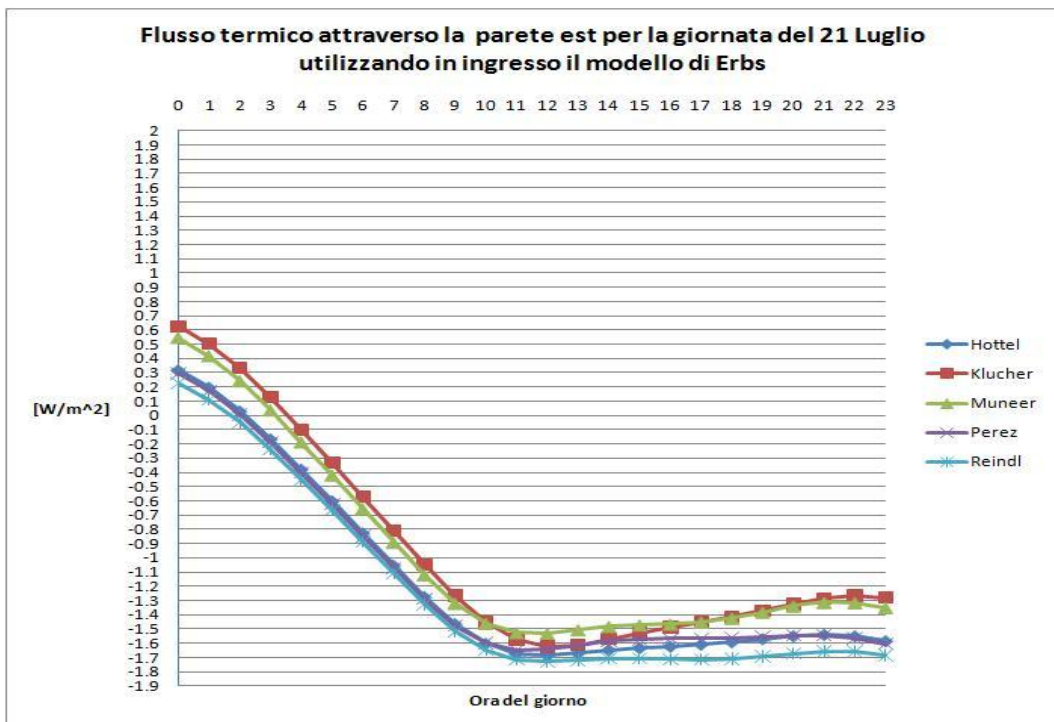


Fig 7.20 Flusso termico attraverso la parete est per la giornata del 21 Luglio

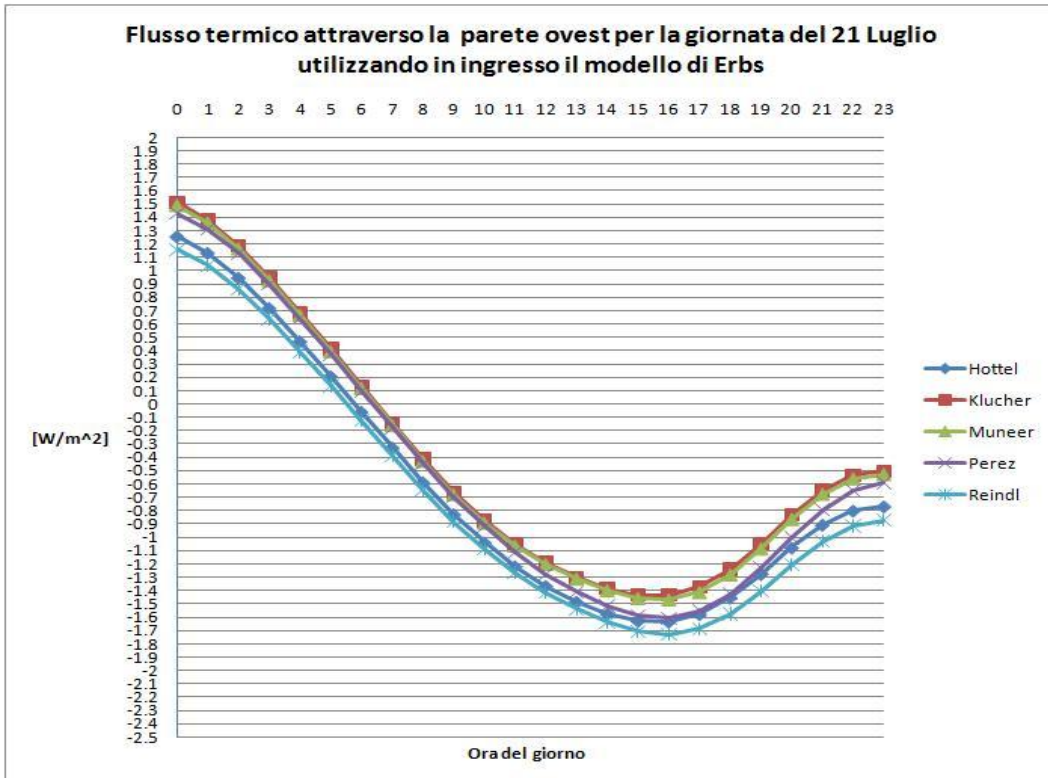


Fig 7.21 Flusso termico attraverso la parete Ovest per la giornata del 21 Luglio

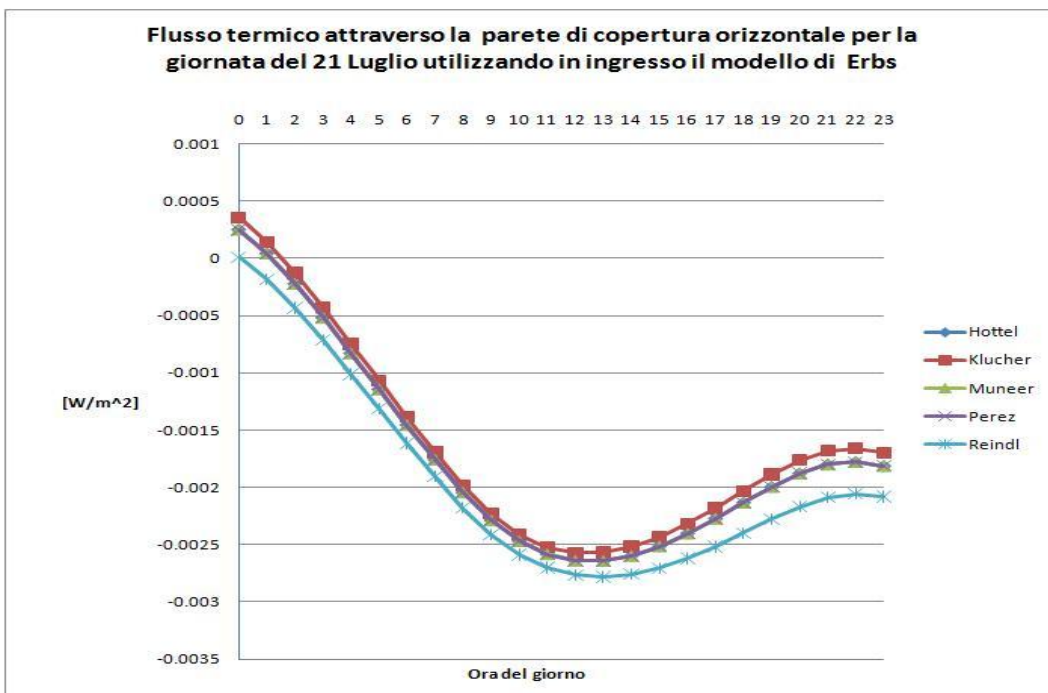


Fig 7.22 Flusso termico attraverso la parete di copertura orizzontale per la giornata del 21 Luglio

7.4.4. Commenti sull'incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici giornalieri per la giornata estiva

Si osservi il fatto che la giornata estiva presenta un andamento comune a tutte le combinazioni di modelli.

Resta sempre valido il discorso già fatto circa l'asimmetria dell'andamento dei flussi dovuto alla capacità termica della parete che la fa differire dal comportamento della parete non dotata di massa, in cui il flusso rispecchierebbe l'andamento istantaneo del gradiente di temperatura.

L'andamento dei flussi ha il suo massimo nelle ore notturne in cui si hanno valori positivi ossia un flusso entrante nell'edificio, il valore massimo si raggiunge a mezzanotte circa.

Successivamente vi è un calo fino ad un flusso nullo alle cinque del mattino per poi raggiungere il massimo flusso negativo ossia uscente nel primo pomeriggio, per le ore serali la tendenza è di una graduale diminuzione.

Analizzando il comportamento generale si nota che le combinazioni con il modello di Reindl danno valori di flusso minori, il fenomeno è più marcato nelle ore serali e per la parete di copertura orizzontale.

Inoltre l'osservazione dei grafici presenti in appendice 2 rivela un comportamento anomalo della combinazione Orgill-reindl che presenta valori di molto inferiori alle altre combinazioni per tutte le orientazioni.

Si osservi inoltre come il valore assoluto dei flussi cambi con l'orientazione, si noti che per la parete di copertura si hanno i valori minori, valori bassi sono caratteristici anche della parete nord meno esposta alla radiazione diretta.

I valori massimi si hanno per la parete ovest, le pareti sud ed est presentano valori inferiori.

La distribuzione dei flussi nell'arco della giornata non è simmetrica per tutte le orientazioni, infatti le pareti nord sud e di copertura orizzontale raggiungono il flusso massimo verso le 14 :00, per le pareti est ed ovest vi è una dilazione temporale in anticipo per la prima e in ritardo per la seconda.

CAPITOLO 7

Il tutto si spiega osservando che la parete est è più esposta al mattino, la ovest lo è maggiormente il pomeriggio sera quindi vi sarà una distribuzione dei flussi conseguente.

Si riporta a conferma di quanto detto la distribuzione delle temperature esterne durante la giornata del 21 luglio per le cinque pareti studiate.

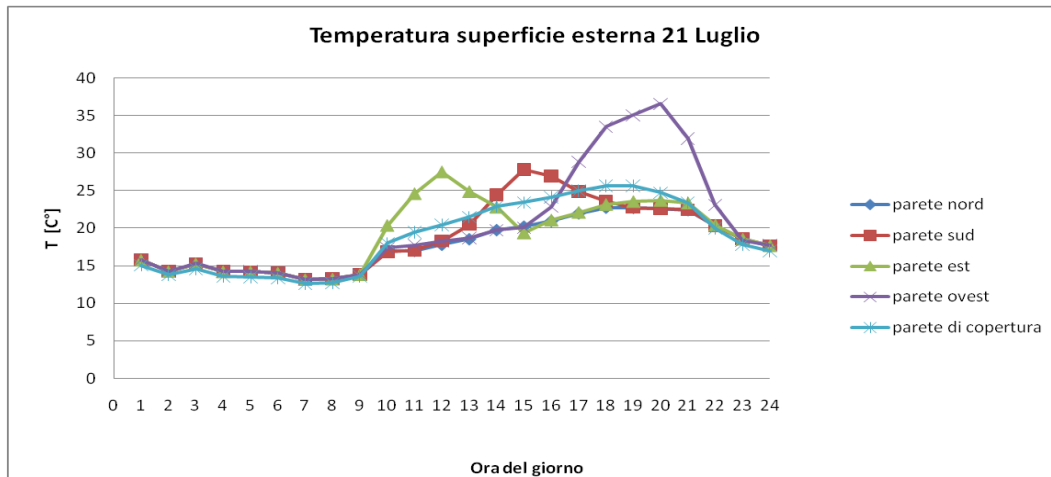


Fig 7.23 Temperature delle superfici esterne delle pareti per la giornata del 21 Luglio

CAPITOLO 8 :

Studio dell' incidenza dell'orografia sul modello di Perez applicato a Trento

8.1.Introduzione e definizione dell'ostacolo orografico

La verifica delle effettive prestazioni del modello di Perez (1987) modificato per tener conto della presenza di ostacoli orografici richiede la scelta di una località montuosa in cui vi sia la disponibilità di dati sperimentali.

Per Trento sono verificate entrambe le condizioni in quanto è in una zona alpina i cui dati ci sono stati forniti dall'Università di Trento.

Si riportano di seguito i dati di carattere generale : latitudine, longitudine e quota sul livello del mare :

Tabella 8.1 Coordinate e quota di Trento

TRENTO	
Latitudine	46° 01' 23"
Longitudine	11° 07' 37"
Altezza rispetto al livello del mare	185 m slm

La prima fase dello studio della località è la definizione dell'angolo solido occupato dagli ostacoli montuosi, la stima di questo implica la conoscenza della topografia del luogo.

I rilevamenti delle distanze e delle quote dei rilievi è stata effettuata mediante l'utilizzo del programma Tatum Gis Viewer dove per Gis si intende (geographical information system).

Tatum Gis Viewer è un software informatico che permette di analizzare modificare e rielaborare dati territoriali sotto forma di mappa vettoriale, ossia un sistema informativo territoriale basato su sistemi informatici.

Le mappe relative alla provincia di Trento sono state scaricate dal sito di rilevazione cartografica della provincia autonoma di Trento:

<http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/> su cui sono disponibili sia le curve di livello (500m - 200m - 100m) che altre informazioni di carattere amministrativo quali i centri abitati, utili all'individuazione del luogo che si intende considerare. All'interno del programma le mappe vengono considerate come degli strati (Layer) che possono essere sovrapposti fra loro.

Per la rilevazione pratica delle quote si sono scelte le curve isolivello a 200m, rappresentate in figura per la zona limitrofa a Trento :



Fig 8.1 Curve isolivello (200 m) relative a Trento e dintorni

Studio dell' incidenza dell'orografia sul modello di Perez applicato a Trento

Si è applicata quindi la procedura già descritta per la definizione dell'ostacolo ossia si è diviso l'angolo giro in intervalli di 10° rilevando le asperità montuose e le relative distanze.

Si è poi proceduto col ricavare l'altezza angolare occupata dall'ostacolo su tutto l'angolo giro di cui si riporta il diagramma polare che indica l'altezza angolare in funzione dell'azimut.

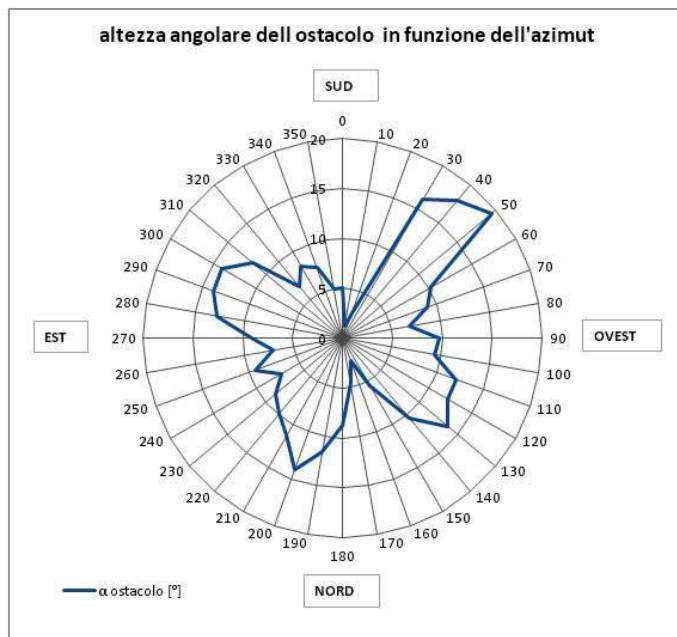


Fig 8.2 Altezza angolare degli ostacoli orografici in funzione dell'azimut di Trento

La definizione dell'angolo solido e l'implementazione del modello di Perez modificato è stata effettuata secondo le procedure definite nel capitolo 4 : (Influenza dei rilievi orografici sul modello di Perez)

Si riportano i risultati ottenuti in tabella :

Tabella 8.1 Valori geometrici dei parametri d'incidenza orografica ricavati

DESCRIZIONE	VALORI RICAVALI
Angolo solido occupato dall'ostacolo	w_ostacolo= 1.04 [strad]
Fattore di riduzione dell'angolo solido	Ras=0.66
Variazione percentuale dell'angolo solido della volta celeste	V%=33.09

Ricavato il fattore di riduzione dell'angolo solido Ras Si sono ricavati i corrispondenti valori di radiazione globale, da utilizzare nella simulazione dinamica dell' edificio impostata precedentemente, allo scopo di apprezzare le variazioni di fabbisogni a seguito della modifica introdotta.

8.2.Simulazione dinamica dell'incidenza dell'orografia sui fabbisogni dell'edificio

L'impostazione e le condizioni a contorno della simulazione sono identiche a quelle riportate al capitolo 5, con la sola differenza nei dati in ingresso.

L'analisi dei risultati si soffermerà sulla differenza in termini di fabbisogni e di flussi fra il modello di Perez (1987) e la successiva correzione del medesimo legata all'orografia.

Dette differenze saranno espresse in termini annuali mensili e di due giornate tipo una estiva (21 Luglio) e una invernale (21 Gennaio).

La scelta delle date di riferimento segue un criterio stagionale, ossia si è optato per due giornate che cadessero 31 giorni dopo l'inizio della stagione estiva e invernale.

8.2.1.Analisi dei dati annuali

La modifica introdotta nel modello di Perez per tener conto dell'orografia provoca una radiazione prevista, si riportano di seguito i valori di irraggiamento annuale e la variazione percentuale del modello modificato rispetto all'originale per tutte le pareti studiate.

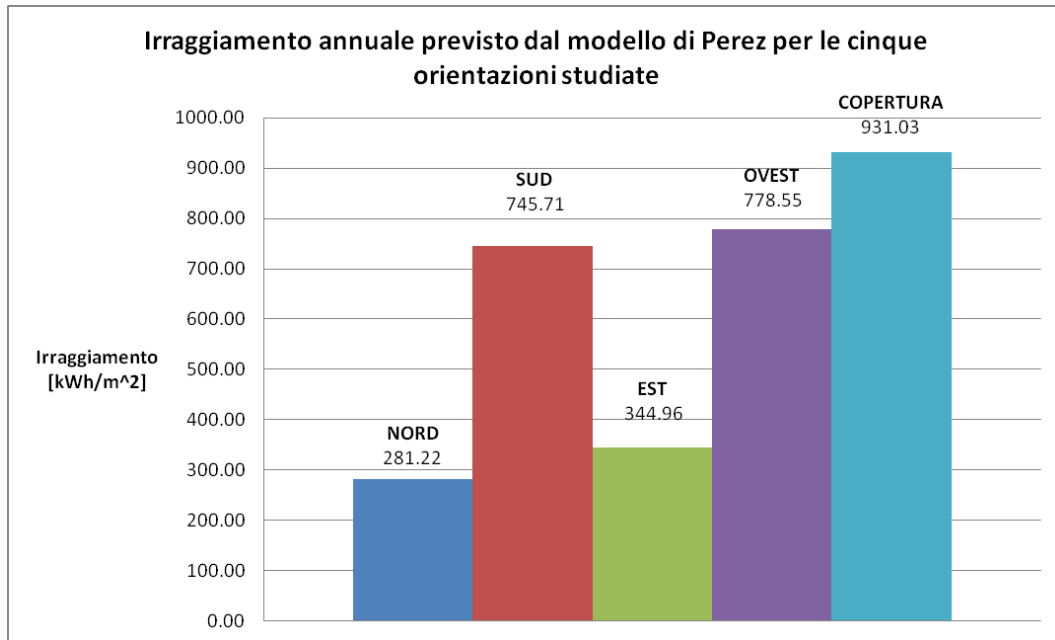


Fig 8.3 Irraggiamento annuale previsto dal modello di Perez per le cinque orientazioni studiate

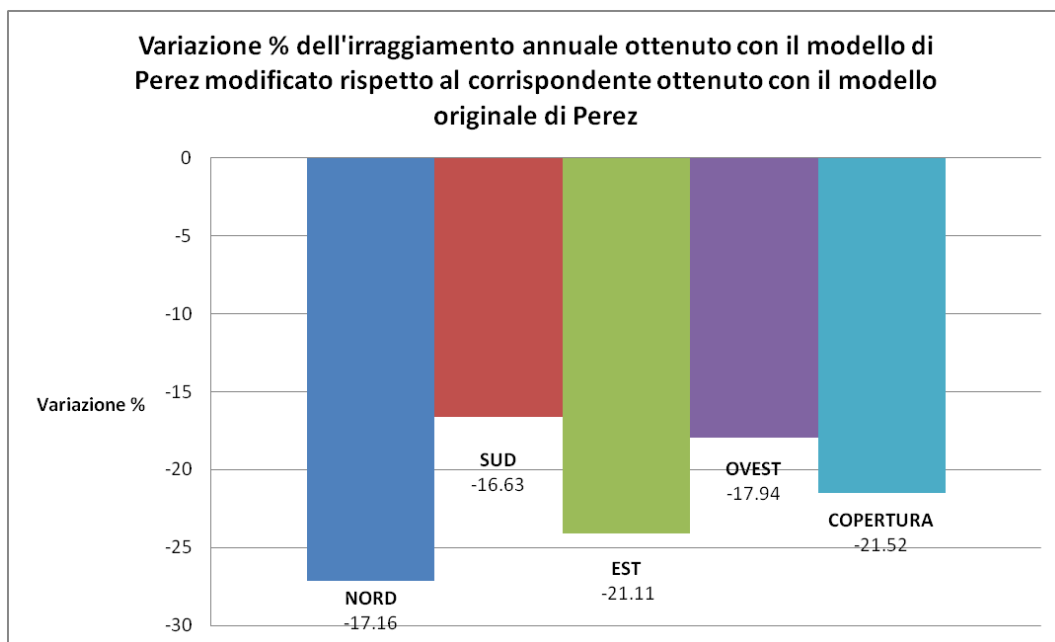


Fig 8.4 Variazione percentuale dell'irraggiamento annuale ottenuto con il modello di Perez modificato rispetto al corrispondente ottenuto con il modello originale di Perez

Il confronto delle prestazioni relative alla modifica del modello di Perez(1987) rispetto al modello originale comporta inoltre lo studio della variazione percentuale in termini di fabbisogni unitari e di flussi termici.

Si riportano di seguito i grafici relativi a dette variazioni.

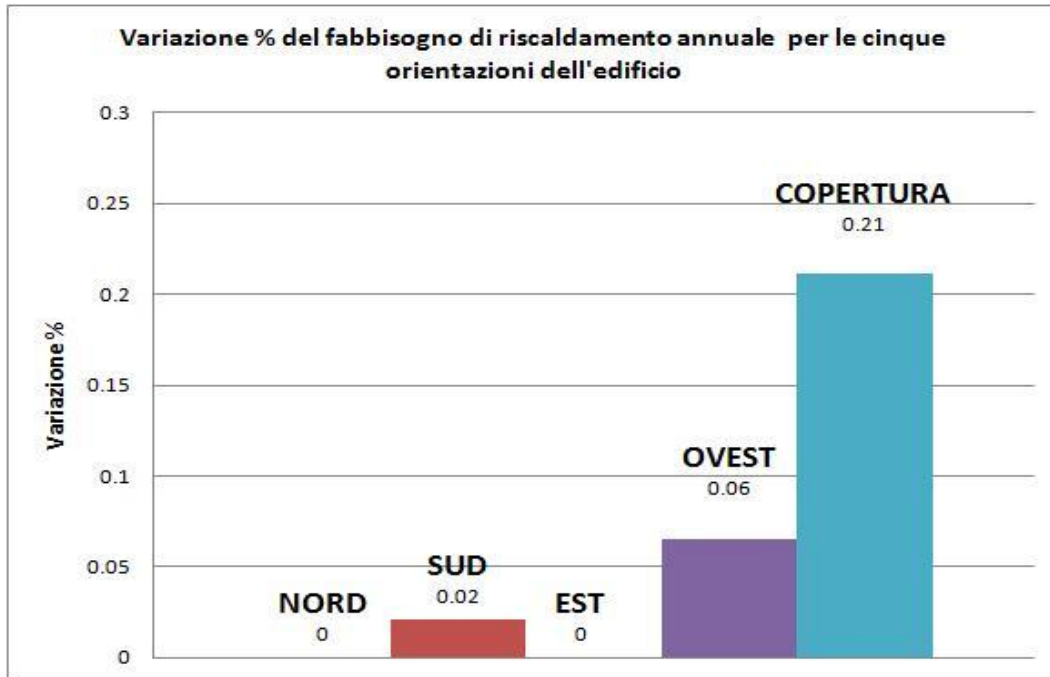


Fig 8.5 Variazione percentuale del integrale dei flussi entranti/uscenti unitario di riscaldamento annuale.

Confronto dei risultati ottenuti con il modello Perez modificato a causa dell'ostacolo orografico rispetto al modello originale di Perez

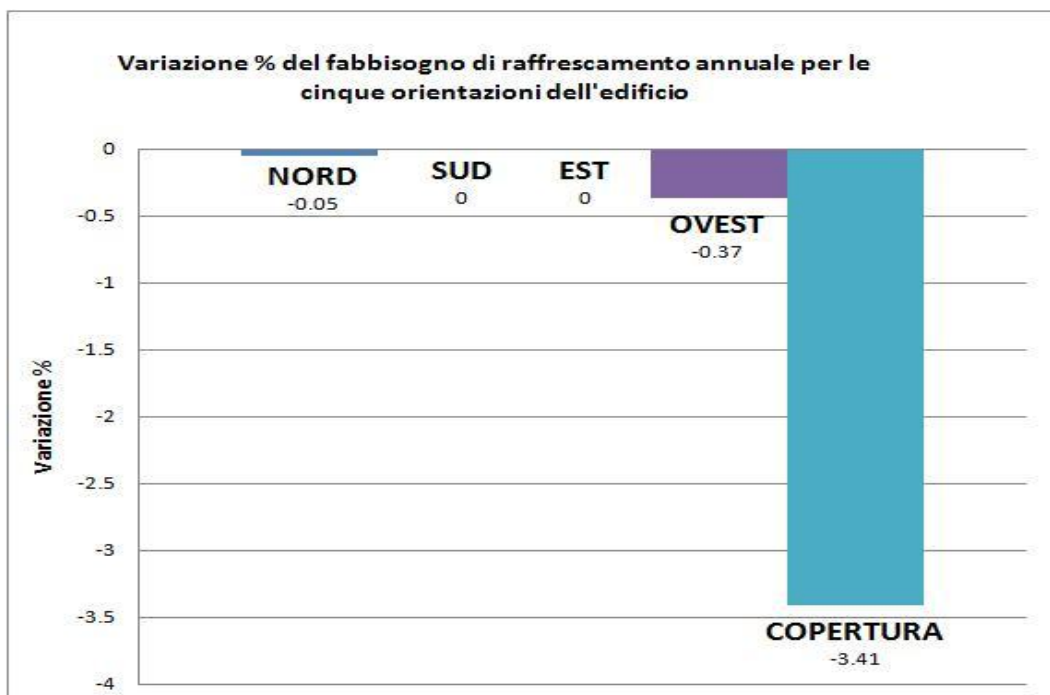


Fig 8.6 Variazione percentuale del integrale dei flussi entranti/uscenti unitario di raffreddamento annuale.

Confronto dei risultati ottenuti con il modello Perez modificato a causa dell'ostacolo orografico rispetto al modello originale di Perez

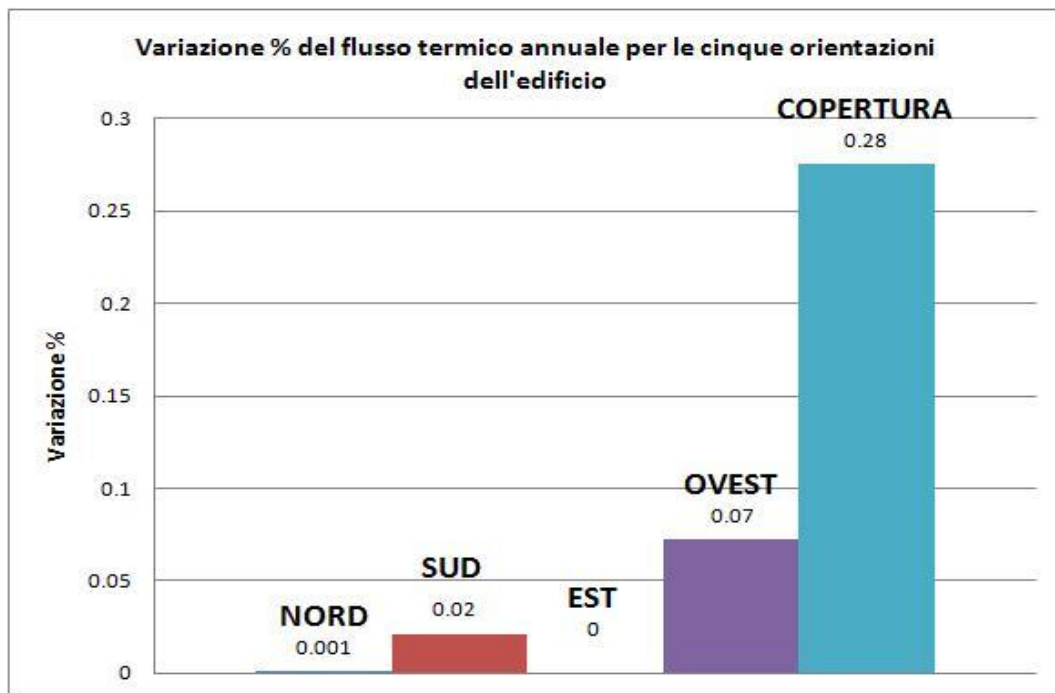


Fig 8.7 Variazione percentuale del Flusso termico.

Confronto dei risultati ottenuti con il modello Perez modificato a causa dell'ostacolo orografico rispetto al modello originale di Perez

La prima considerazione da fare circa la modifica introdotta al modello di Perez sta nel fatto che le variazioni percentuali in termini di flussi e di fabbisogni annuali sono molto contenute.

In linea generale si può affermare che la modifica del modello di Perez generi una diminuzione del integrale dei flussi entranti/uscenti in condizioni estive e un contestuale aumento del integrale dei flussi entranti/uscenti in condizioni invernali e dei flussi termici attraverso la parete.

Questo comportamento generale è attribuibile al fatto che la riduzione della radiazione diffusa a causa dell'orografia e il conseguente calo della radiazione globale che lambisce le superfici in esame provochi un aumento dei consumi per il riscaldamento invernale e una diminuzione per il condizionamento estivo.

La variazione massima si ha per la parete di copertura orizzontale in quanto questa ha un fattore di vista della volta celeste unitario, ossia dalla superficie orizzontale la volta celeste si vede nella sua interezza, è logico quindi che una riduzione della medesima a

CAPITOLO 8

causa dell'orografia generi variazioni di flusso maggiori rispetto ad una parete verticale dove il fattore di vista corretto è 0.353553.

Si noti inoltre che per la parete di copertura l'effetto è accentuato per il integrale dei flussi entranti/uscenti in condizioni estive in cui si raggiunge una variazione del -3.40%.

Questo si spiega con il fatto nel periodo estivo vi è un maggior peso del carico radiante rispetto alla stagione invernale a causa della maggior durata del soleggiamento giornaliero.

Per le pareti nord sud ed est si hanno le variazioni meno significative o nulle, mentre la parete ovest può vantare variazioni leggermente più consistenti.

8.2.2 Analisi dei dati mensili

Si riportano di seguito i grafici relativi alle variazioni percentuali dei fabbisogni mensili e dell'energia scambiata mensilmente legati alla modifica del modello di Perez dovuta alla presenza dell'orografia.

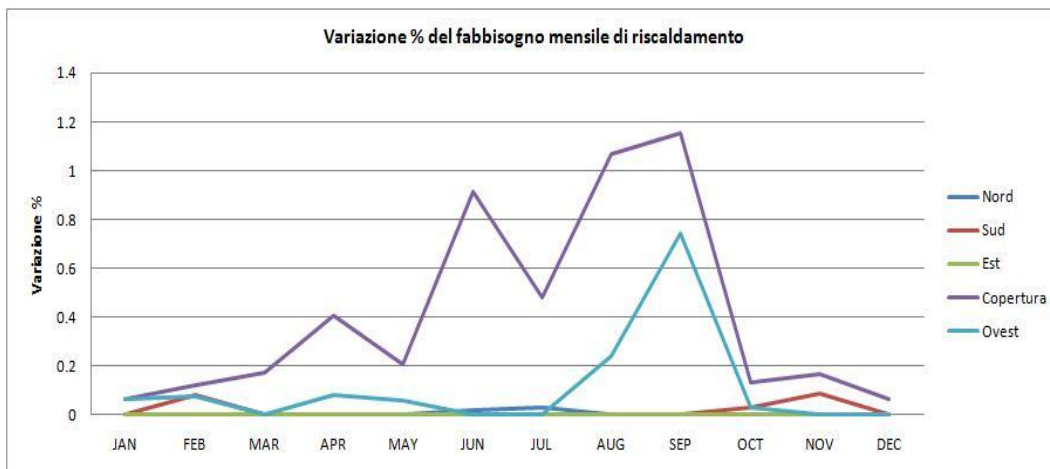


Fig 8.8 Variazione percentuale del integrale mensile dei flussi uscenti in condizioni invernali

Studio dell' incidenza dell'orografia sul modello di Perez applicato a Trento

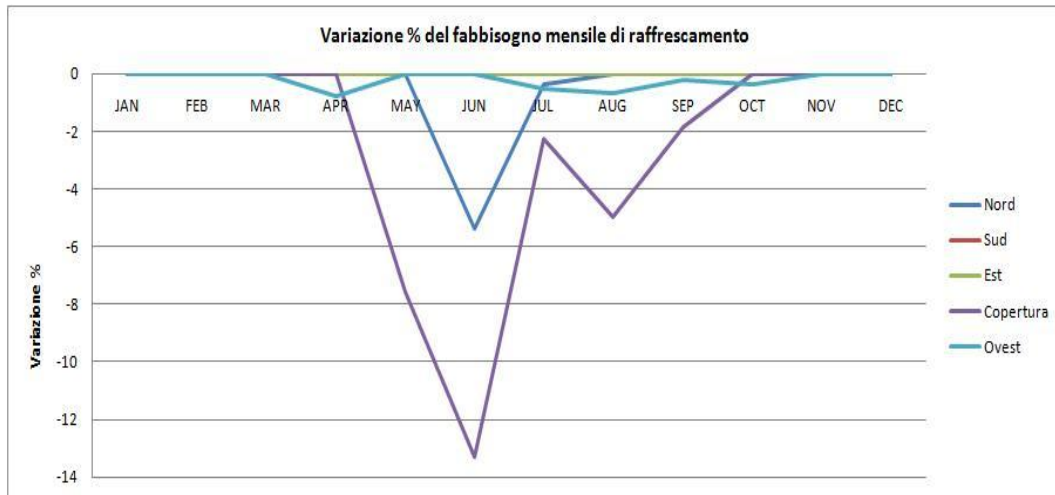


Fig 8.9 Variazione percentuale del integrale mensile dei flussi entranti in condizioni estive

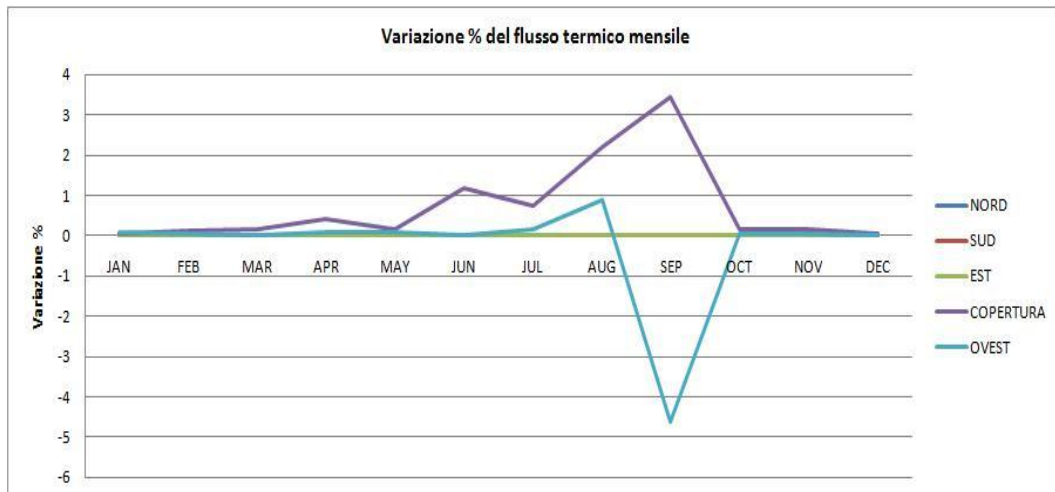


Fig 8.10 Variazione percentuale dell'energia scambiata dalle pareti

L'osservazione dei grafici ci porta ad affermare che il periodo in cui si verificano variazioni copre un arco temporale che va da marzo a ottobre, e che la tendenza generale è la stessa osservata per i dati annuali, ossia un aumento del integrale dei flussi entranti/uscenti in condizioni invernali e una diminuzione di quello in condizioni estive.

I valori sono più elevati per la parete di copertura e per la parete verticale rivolta a Ovest, mentre per le altre pareti vi sono variazioni molto contenute in linea generale sono più rilevanti le variazioni legate al raffrescamento.

Anche dal punto di vista dell'energia scambiata mensilmente le uniche variazioni significative si verificano per la parete di copertura orizzontale e per la parete verticale rivolta a ovest.

Per la parete di copertura il periodo in cui avvengono le variazioni massime si verifica da maggio a ottobre e le variazioni sono positive mentre per la parete ovest sono negative e si verificano in un lasso temporale ridotto che va da agosto a ottobre.

8.2.3 Analisi delle due giornate tipo (estiva e invernale)

Si riportano di seguito i grafici relativi alla variazione percentuale del flusso termico legate alla modifica del modello di Perez durante le due giornate tipo, estiva e invernale.

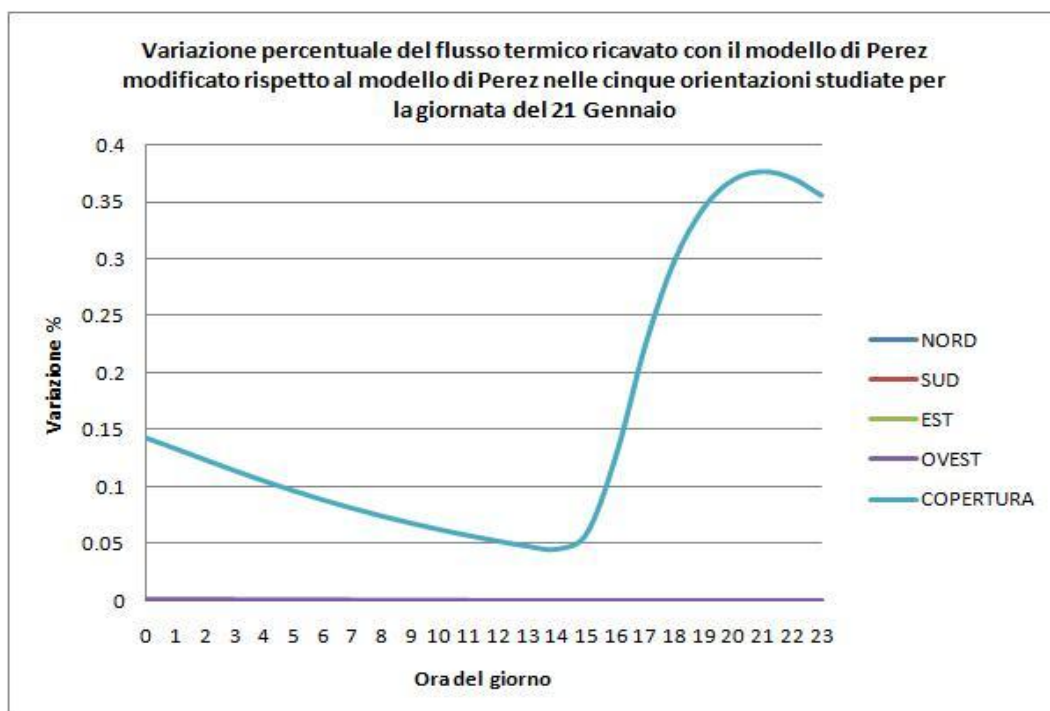


Fig 8.11 Variazione percentuale del flusso termico al 21 Gennaio

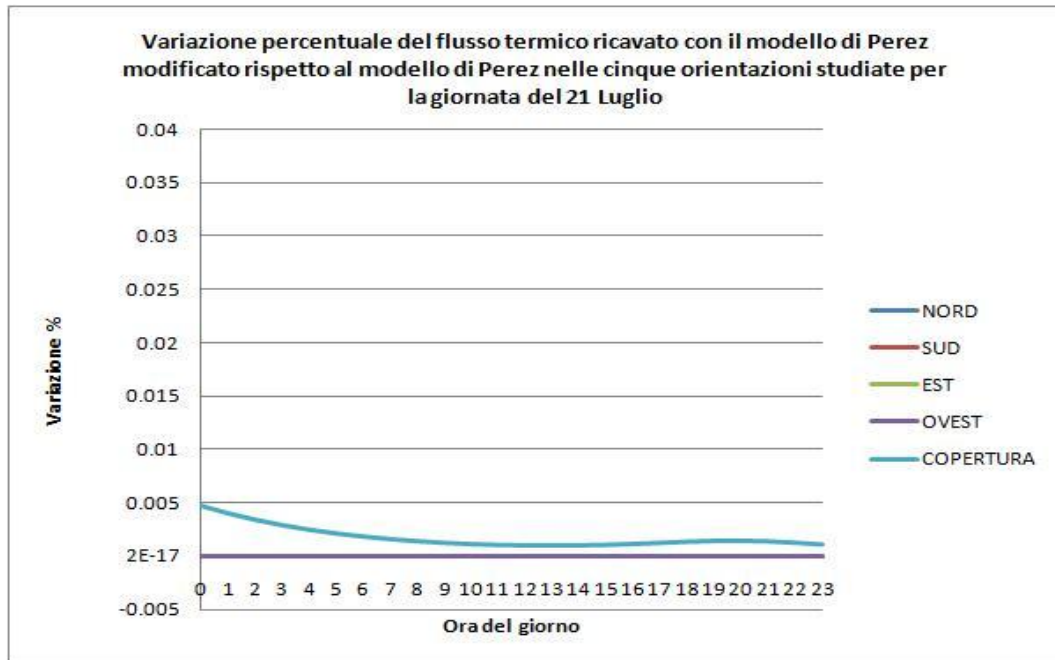


Fig 8.9 Variazione percentuale del flusso termico al 21 Luglio

I diagrammi sopra riportati rappresentano la variazione oraria del flusso termico attraverso le pareti dell'edificio.

Detta variazione si riferisce all'utilizzo del modello di Perez modificato per tener conto degli ostacoli orografici rispetto al modello di Perez originale.

L'osservazione dei diagrammi per le due giornate analizzate porta ad affermare che non vi sono variazioni significative per le quattro pareti verticali, i due modelli a confronto non generano differenze di flusso termico.

Le uniche variazioni si hanno per la copertura orizzontale con un aumento del flusso termico attraverso la parete.

Detto aumento è uniformemente distribuito e di piccola entità per la giornata del 21 luglio, mentre per la giornata del 21 gennaio le variazioni sono di un ordine di grandezza superiore rispetto alla giornata estiva con un punto di minimo nel primo pomeriggio (ore 14 :00), dopo del quale vi è un repentino aumento della variazione il cui massimo si presenta all'inizio della nottata (ore 21 :00).

Per completezza si propone un confronto grafico fra le variazioni nelle due giornate analizzate per la parete di copertura.

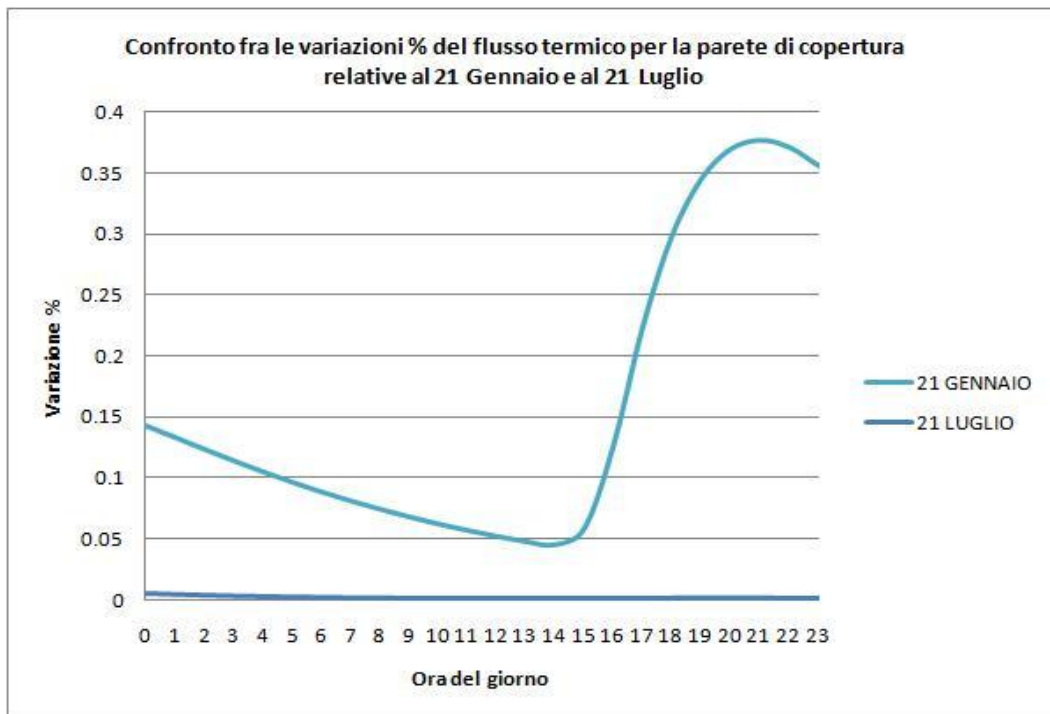


Fig 8.12 Variazione percentuale del flusso termico della parete di copertura in condizioni estive e invernali

Dal confronto fra i flussi passanti attraverso la parete di copertura, si può constatare che le uniche variazioni si hanno per la giornata invernale mentre per quella estiva non vi sono variazioni degne di nota.

APPENDICE 1 :

Raccolta dati e analisi degli errori

A1.1.cenni sulla corretta raccolta dei dati

I dati trattati nel presente lavoro sono ricavati da o database delle stazioni di rilevazione oppure nel caso di mancata disponibilità sono serie di dati medi statistici relativi a programmi di simulazione dinamica e di per se sono presi come non affetti da errori.

Fermo restando come presupposto che in fase di creazione del database stesso si sia provveduto ad opportuni accorgimenti :

- allo scarto dei valori privi di senso, come per esempio valori della radiazione diffusa superiore alla globale e della globale superiore all'extraterrestre.
- alla valutazione degli errori tipici degli strumenti di misura :
 - come la risposta in coseno e in azimut
 - la correzione dovuta al cono d'ombra nella misura della radiazione diffusa con l'uso di piranometri con disco ombreggiante-
 - effetto di temperatura, campi magnetici, tensioni dei cavi sulla misura, ecc..
- agli errori umani e alla manutenzione degli strumenti in fase di rilevazione.

A1.2.Grandezze fondamentali nell'analisi degli errori

Fatta detta premessa circa la raccolta dati ciò che risulta più rilevante è l'analisi degli errori dei vari modelli matematici utilizzati.

Detta analisi comporta la definizione di alcuni parametri standard, utili all'interpretazione dei dati alla verifica della loro corrispondenza alla realtà e all'individuazione di eventuali anomalie.

APPENDICE 1

Questi parametri sono :

- Scarto s

Differenza tra valore misurato e calcolato, esso permette una prima individuazione delle anomalie e della loro distribuzione.

$$s = (Y_i - X_i) \quad (A1)$$

Con :

X_i = valore i esimo misurato

Y_i = valore i esimo calcolato

- Errore percentuale $E_{i\%}$, riferito al singolo valore

$$E_{i\%} = \frac{(Y_i - X_i)}{X_i} 100 \quad (A2)$$

- Errore medio percentuale MBE % (medium bias error)

$$MBE\% = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)}{NX_m} 100 \quad (A3)$$

- Errore percentuale $E_{m\%}$, riferito al valore vero medio (calcolato)

$$E_{m\%} = \frac{(Y_i - X_i)}{Y_m} 100 \quad (A4)$$

Esso fornisce un andamento globale del modello un valore positivo indica una sovrastima del valore indicato dal modello viceversa una sottostima.

N indica il numero di dati di riferimento.

- Errore quadratico

$$E_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{N}} \quad (A5)$$

- Varianza σ^2

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_m)^2}{N-1} \quad (A6)$$

- Deviazione standard σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_m)^2}{N-1}} \quad (A7)$$

- Errore quadratico medio percentuale RMSE %
(root mean square error)

$$RMSE\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{N}} \frac{100}{X_m} \quad (A8)$$

A1.3. Distribuzione in frequenza degli errori e distribuzione normale.

L'analisi della distribuzione in frequenza degli errori e il confronto con distribuzioni note risulta essere un parametro interessante al fine della valutazione della bontà di un modello matematico di previsione.

Questo perchè la distribuzione normale è simmetrica rispetto allo 0 ed esprime la sola presenza di errori casuali perciò assimilare una distribuzione sperimentale alla distribuzione normale significa affermare che un modello non è affetto da errori sistematici ma solo dall'influenza del caso.

Si parla di distribuzione degli errori e non di scarti dal valore medio in quanto è dimostrabile che la differenza in termini numerici tra scarto e errore diviene trascurabile quando il numero di dati considerati è sufficientemente grande.

Si considerino quindi i valori di errore percentuale associati ai dati disponibili e si scelga un intervallo d'errore Δ_z .

In ogni intervallo cadranno un certo numero di valori (frequenza f) rappresentabili mediante istogramma un accorgimento per rendere i dati più significativi consiste nel considerare la frequenza percentuale f%.

Considerando un intervallo d'errore prestabilito ad esempio $\pm 10\%$ è possibile ottenere l'area sottesa dalla curva della frequenza ossia quanti elementi percentualmente cadono nell'intervallo P %.

Il ciò è dato dalla somma delle aree dei singoli elementini di base Δz e altezza f%

APPENDICE 1

compresi nell'intervallo considerato.

$$P_{\%} = \sum_i f_{\%i} \Delta_{zi} \quad (\text{A9})$$

Questo accade per la distribuzione sperimentale dei dati quando il numero di intervalli considerati è finito.

Gauss studio il comportamento delle frequenze nel caso in cui il numero di intervalli $n \rightarrow \infty$ ne ottenne una funzione continua simmetrica rispetto allo 0 dove ha il suo massimo e con valore nullo all'aumentare del modulo dell'errore.

La funzione detta legge normale di distribuzione o curva di Gauss ed ha la seguente espressione :

$$f(z) = Ae^{-\frac{(Y_i - X_i)^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{A10})$$

Il valore di A si ricava dallo sviluppo in forma integrale della funzione $f(z)$ il cui risultato è :

$$A = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (\text{A11})$$

σ è la deviazione standard ossia la radice quadrata della varianza σ^2

Da cui si ricava l'espressione nota :

$$f(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Y_i - X_i)^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{A12})$$

È possibile inoltre scrivere l'espressione della curva di Gauss come funzione dello scarto ridotto z definito come rapporto tra lo scarto e la varianza :

$$z = \frac{Y_i - X_i}{\sigma} \quad (\text{A13})$$

Quindi l'equazione della curva diventa :

$$f(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \quad (\text{A14})$$

Ricavata la curva gaussiana interpolante i dati è possibile stabilire la probabilità che un valore cada in un determinato intervallo d'errore mediante l'utilizzo della frequenza cumulativa.

Si consideri infatti la curva di distribuzione con in ascisse l'errore percentuale e in ordinate la frequenza %, al di sotto di detta curva cadono tutti i dati di conseguenza la frequenza cumulata $F(x)$ definita come la somma delle frequenze per detta curva (area sottesa) è pari al 100% dei valori.

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} = 1 \quad (\text{A15})$$

Se si restringe l'intervallo considerato non a tutto l'asse delle x ma ad una banda nell'intorno dello zero di ampiezza pari a un multiplo della deviazione standard Solo una parte dei valori cadrà in questo intervallo.

L'integrale in questione non è però integrabile per via analitica ma solamente per via numerica.

Nonostante ciò la curva di Gauss ha una particolare conformazione tale che il 68% dei valori sta in un intervallo di ampiezza σ mentre il 95% entro 2σ e il 99.9 % entro 3σ .

Per la soluzione dell'equazione per tutti gli altri valori di σ sono disponibili le tavole normali standard che forniscono la percentuale dei valori non compresi nell'intervallo .

Quindi $P_{\%} = 1 - (\text{valore letto tavole normali standard})$.

A titolo d'esempio si riporta uno stralcio della tabella.

APPENDICE 1

Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0753
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2257	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
0.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2995	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133

Volendo imporre le stesse condizioni limite sull'errore imposte nei dati sperimentali ;

$$E_{i\%} = \pm 10\%$$

Si osservi però che lo scarto normalizzato z è scritto rispetto alla deviazione standard σ cioè rispetto al valore medio calcolato Y_m mentre l'errore $E\%$ è riferito al valore istantaneo X_i .

Ci si rende conto che non si conosce il valore vero X_i dell'iesima misurazione corrispondente al valore fissato $E_{i\%} = \pm 10\%$.

Il ciò si vede anche dalle formule :

$$z = \frac{Y_i - X_i}{\sigma} \tag{A16}$$

$$E_{i\%} = \frac{(Y_i - X_i)}{X_i} 100 \tag{A17}$$

$$z = \frac{X_i * E_{i\%}}{\sigma 100} \tag{A18}$$

Si imponga quindi la condizione di accettabilità sull'errore rispetto al valore medio calcolato Y_m ; $E_{m\%} = \pm 10\%$

$$E_{m\%} = \frac{(Y_i - X_i)}{Y_m} 100 \tag{A19}$$

Dalla quale si ricava il corrispondente scarto ridotto :

$$z = \frac{Y_m * E_{m\%}}{\sigma 100} \tag{A20}$$

Dalla lettura delle tavole normalizzate si ricavi P %

$$P_{\%} = 2 * (\text{valore letto tavole normali standard}) \times 100 \quad (\text{A21})$$

Si confrontino infine i valori di P % ricavati dai dati sperimentali con la distribuzione gaussiana.

A1.4.Ulteriori parametri di valutazione

Altri parametri di valutazione dei modelli sono :

Coefficiente di correlazione R

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_m) (X_i - X_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_m)^2 \sum_{i=1}^N (X_i - X_m)^2}} \quad (\text{A22})$$

con :

X_m = valore medio misurato

Y_m = valore medio calcolato

X_i = valore iesimo misurato

Y_i = valore iesimo calcolato

R varia tra -1 e 1, risulta auspicabile avere un alto valore di CC questo perché R è un indice di linearità tra valore misurato X e valore calcolato Y.

Nel caso in cui si raggiunga l'unitarietà del coefficiente graficamente si avrebbe piena linearità tra valore misurato e valore stimato che analiticamente significherebbe all'uguaglianza dei medesimi.

Quindi più R si avvicina a 1 meno i dati sono dispersi, meglio il modello matematico si comporta.

$$\chi = \arctan \frac{h}{d} \quad (\text{A23})$$

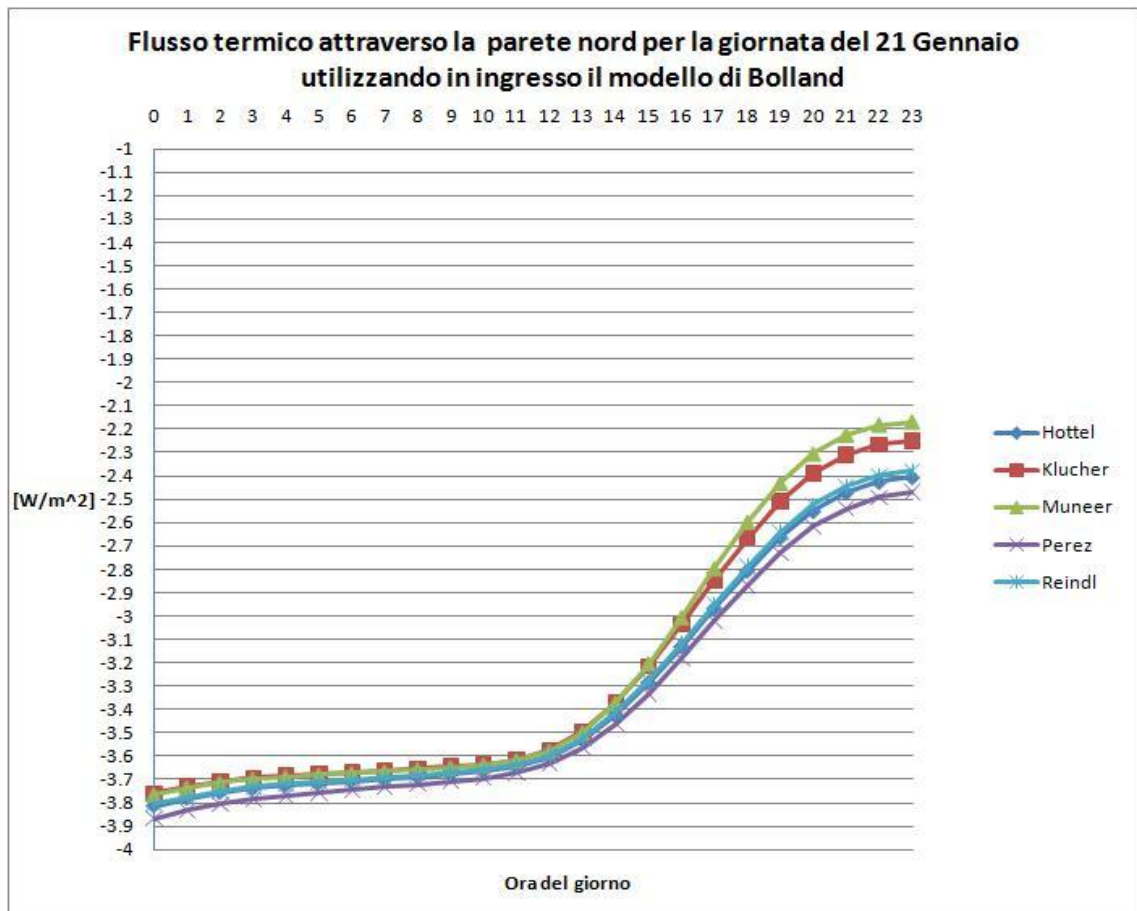
APPENDICE 2 :

Grafici dei flussi termici relativi al 21 gennaio e al 21 luglio

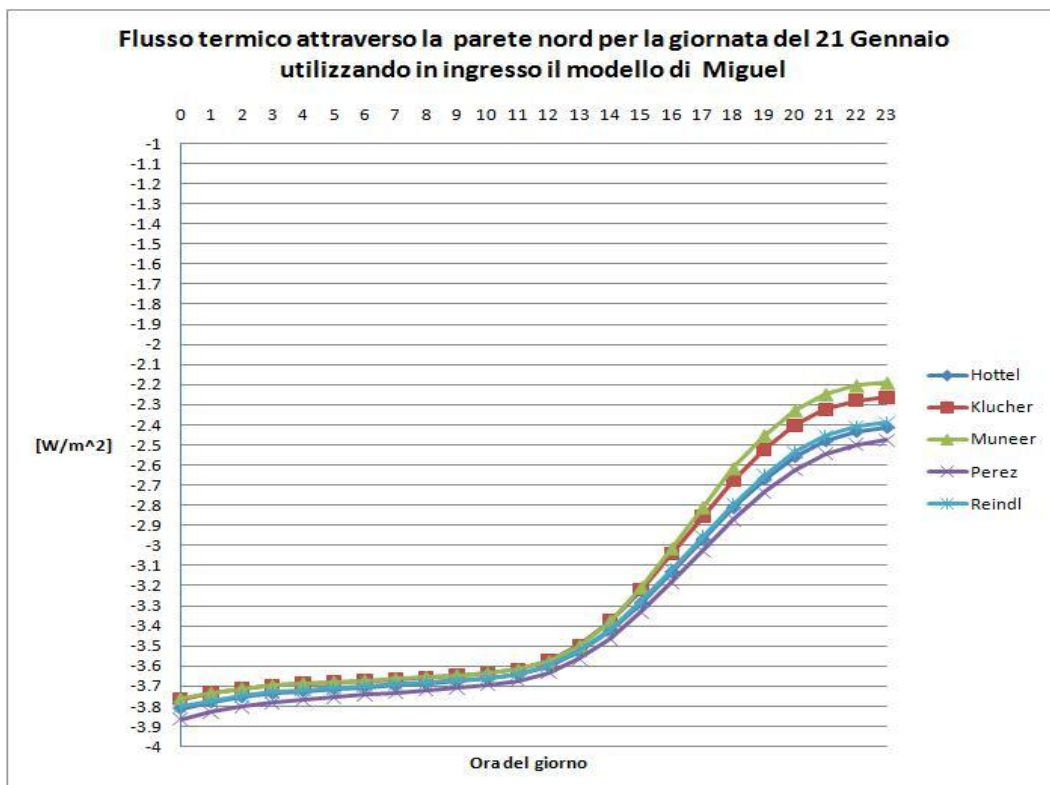
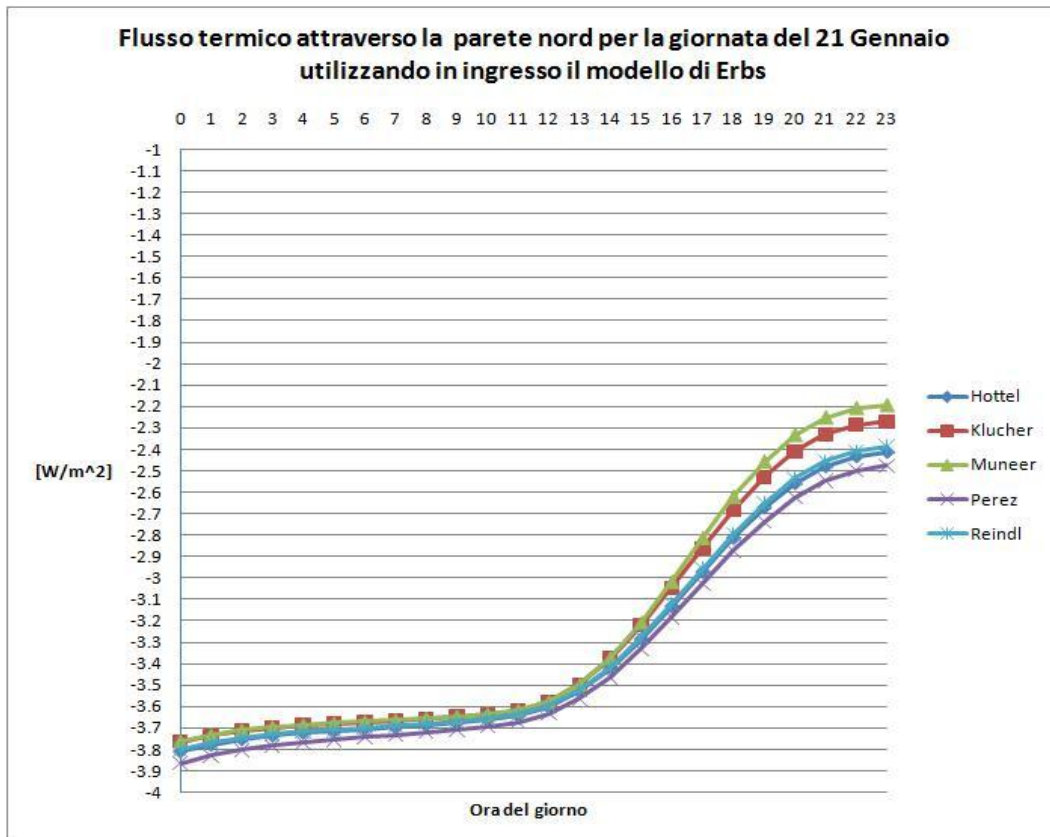
2.1.Grafici relativi al 21 Gennaio

Si riportano i grafici relativi ai flussi termici di due giornate tipo, il 21 Gennaio per la stagione invernale e il 21 Luglio per la stagione estiva.

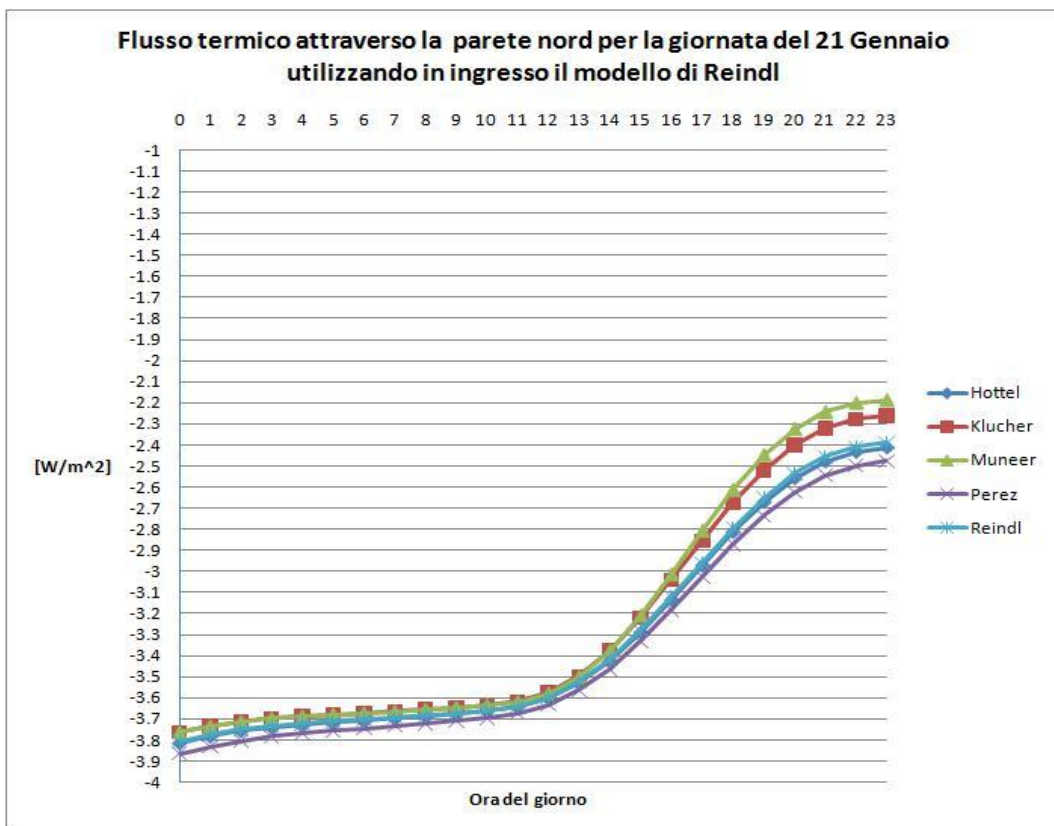
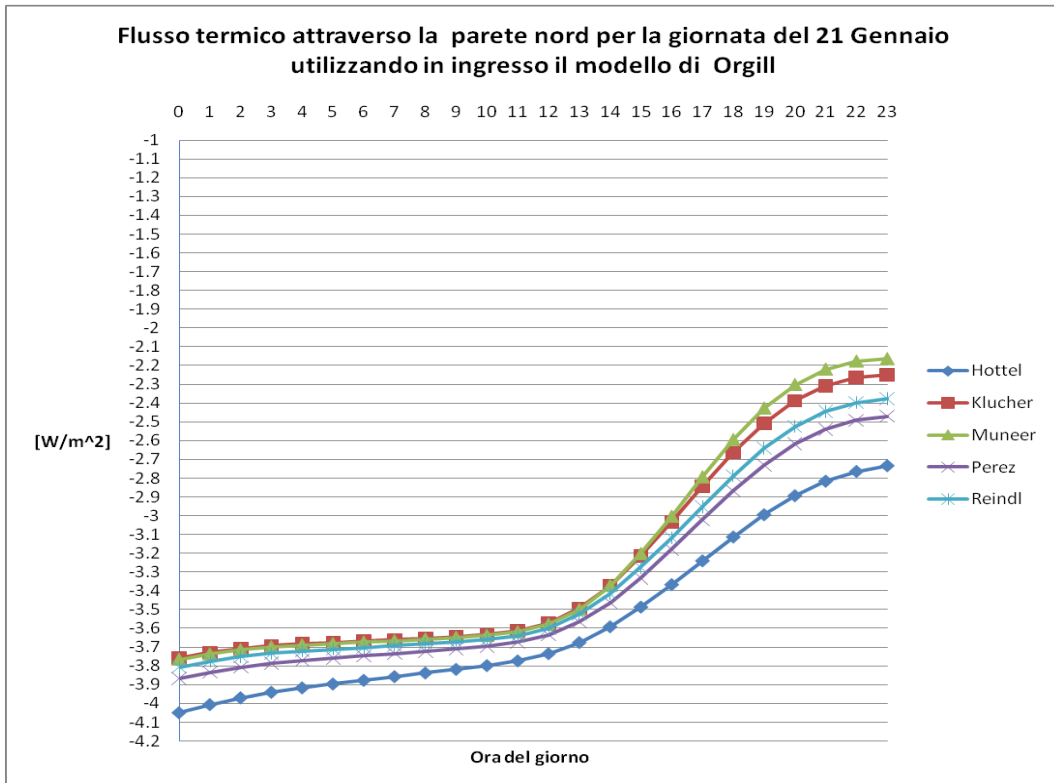
2.1.1.Parete nord



APPENDICE 2

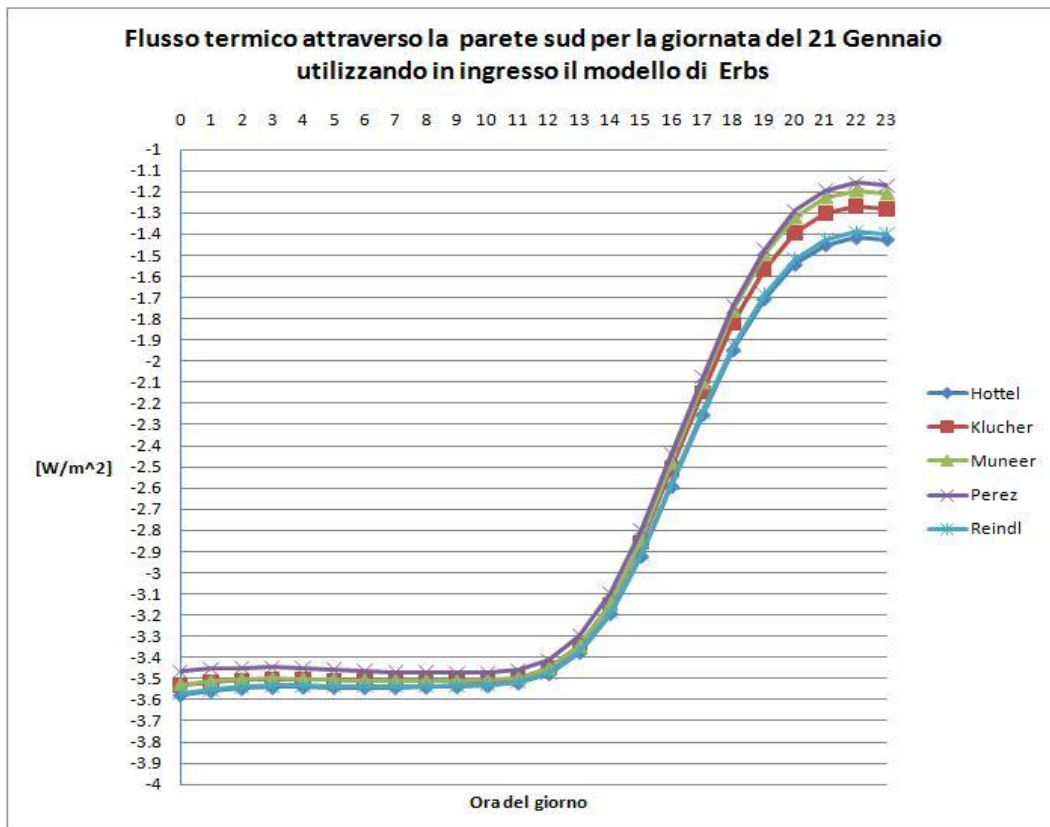
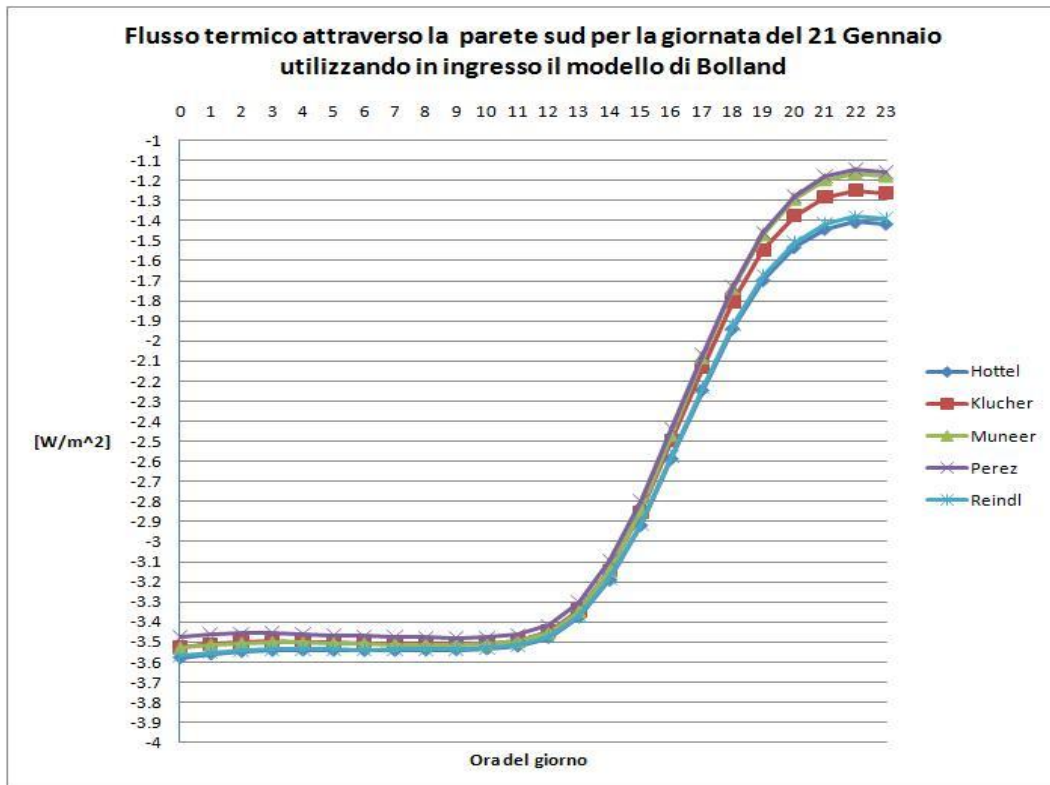


GRAFICI DEI FLUSSI TERMICI RELATIVI AL 21 GENNAIO E AL 21 LUGLIO

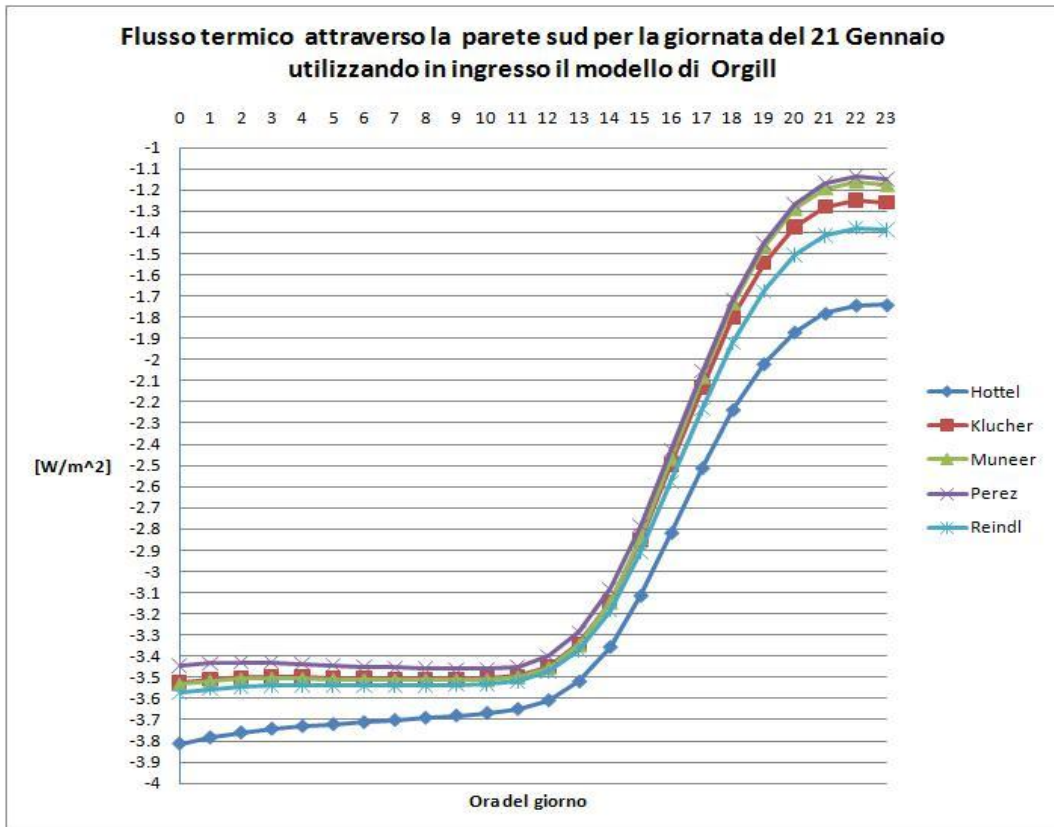
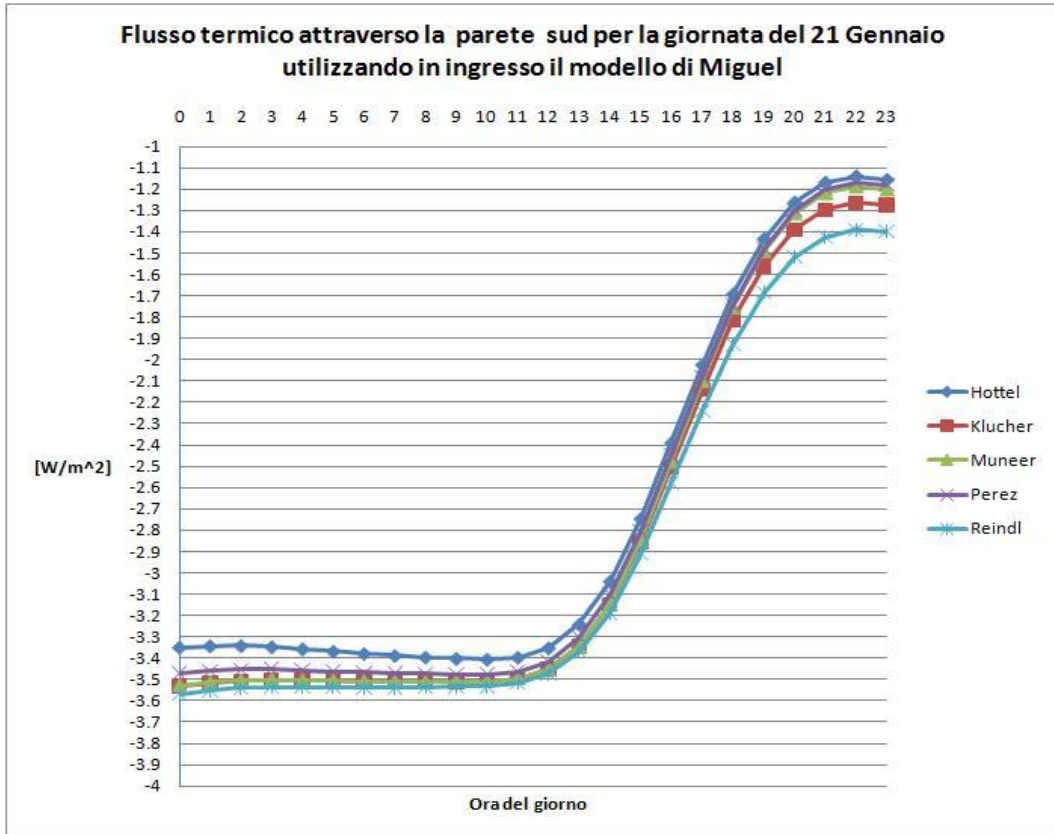


APPENDICE 2

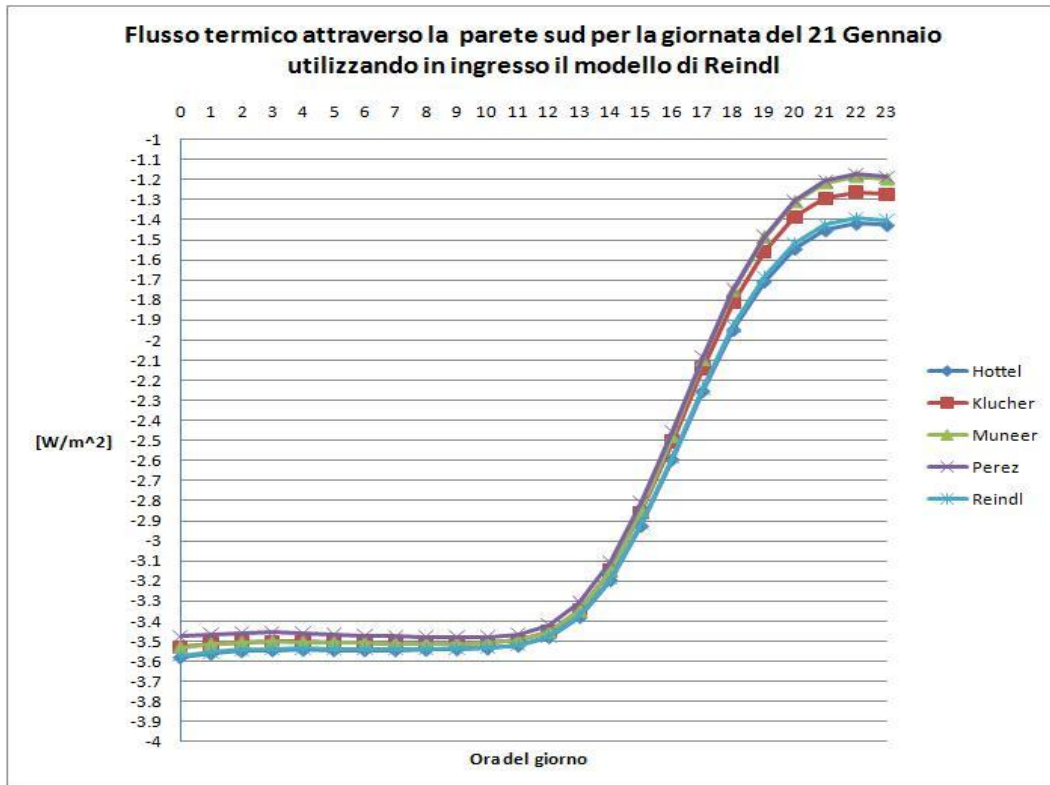
2.1.2.Parete sud



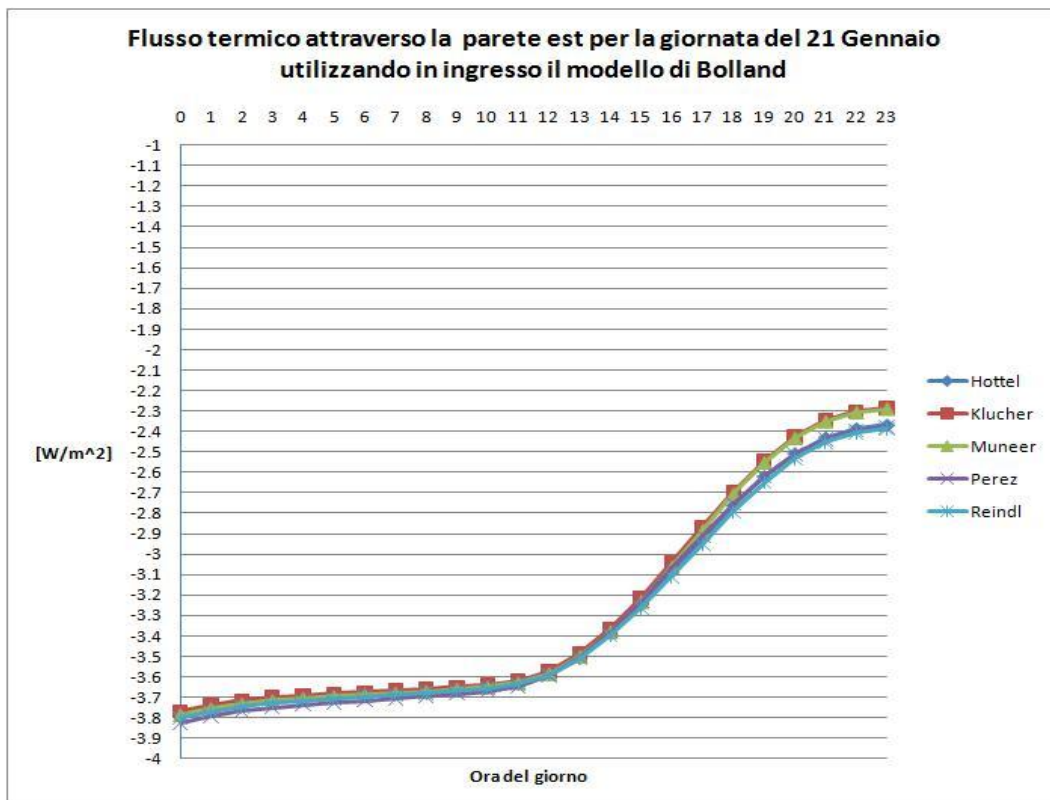
GRAFICI DEI FLUSSI TERMICI RELATIVI AL 21 GENNAIO E AL 21 LUGLIO



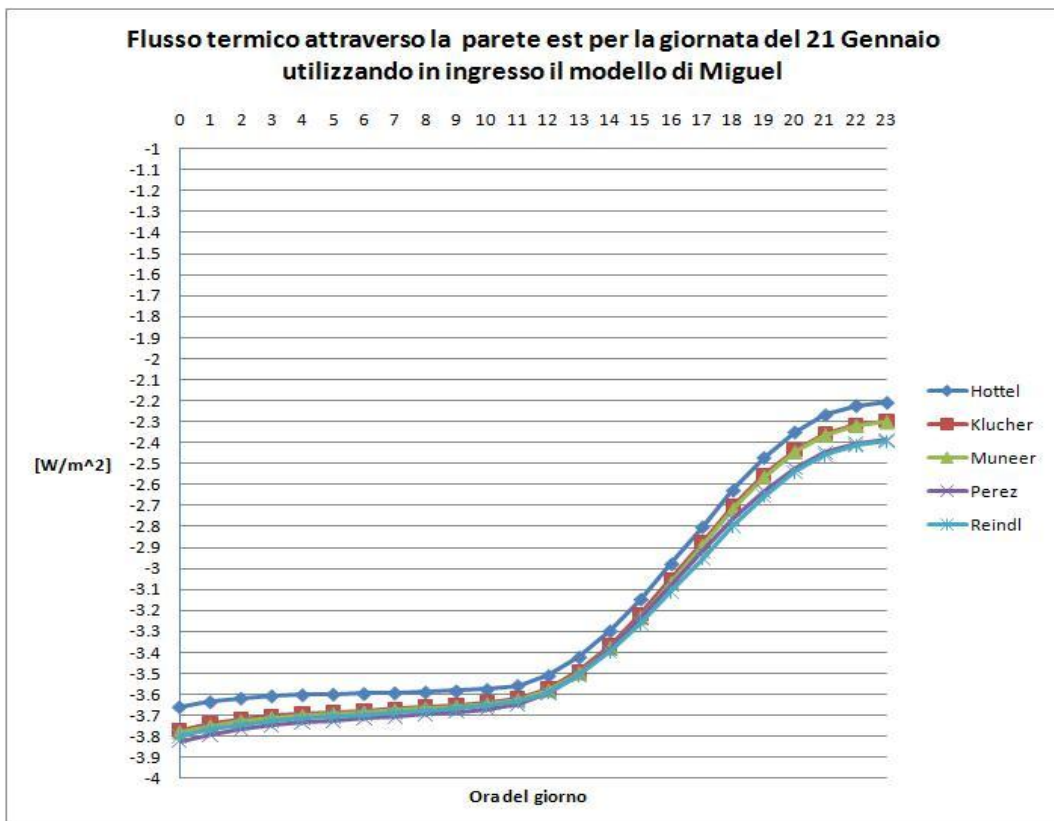
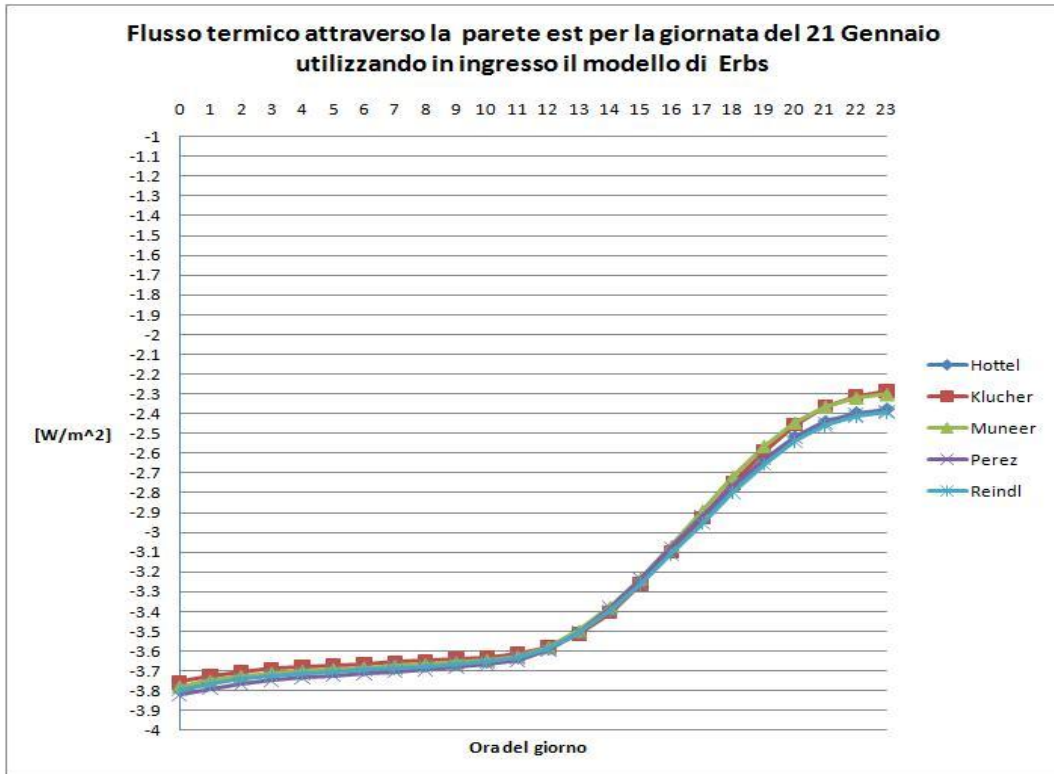
APPENDICE 2

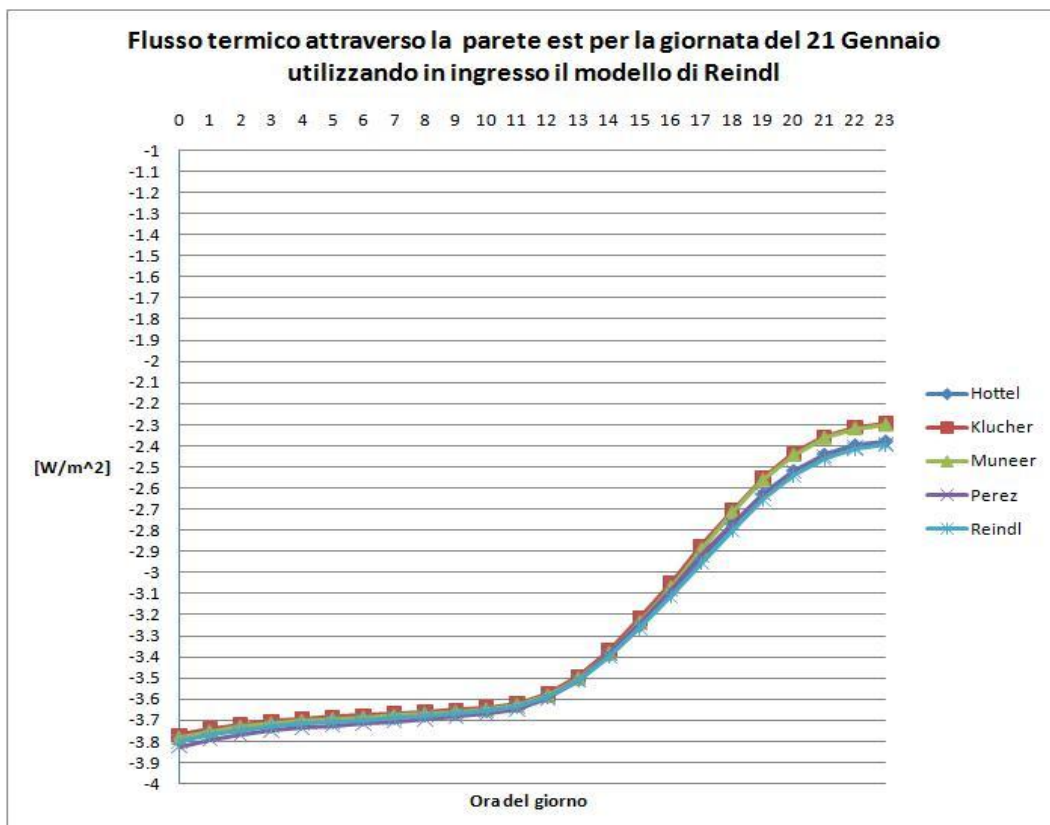
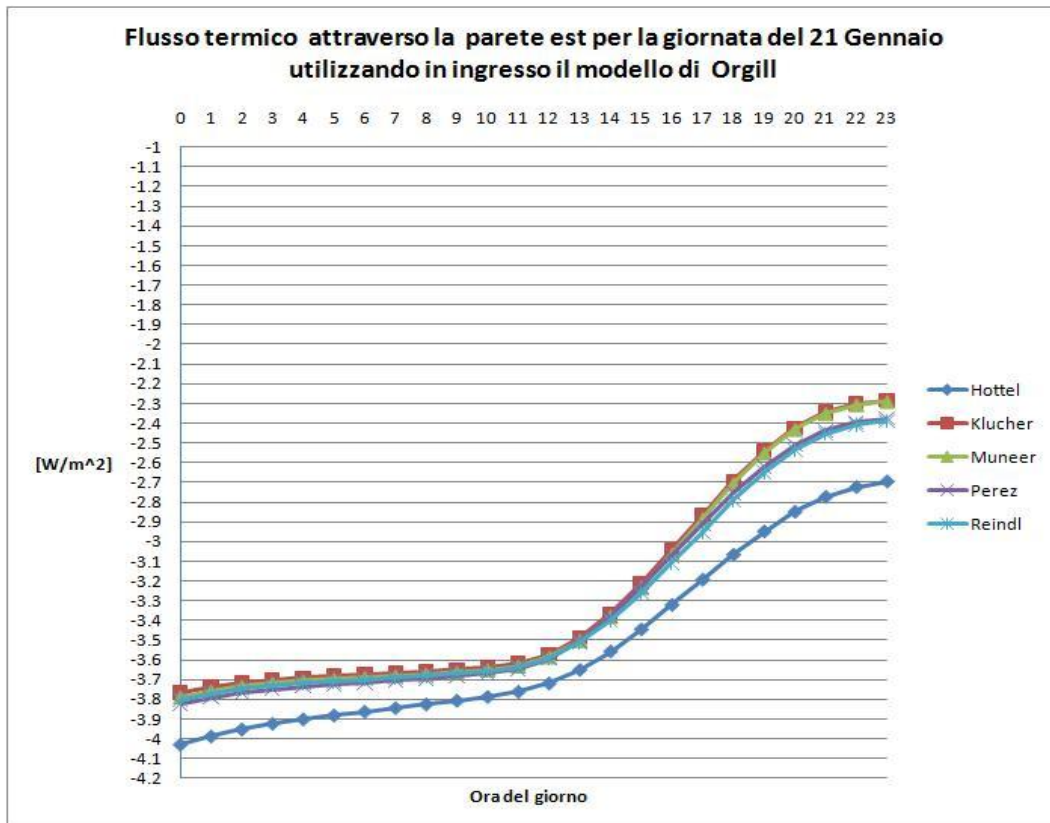


2.1.3. Parete est



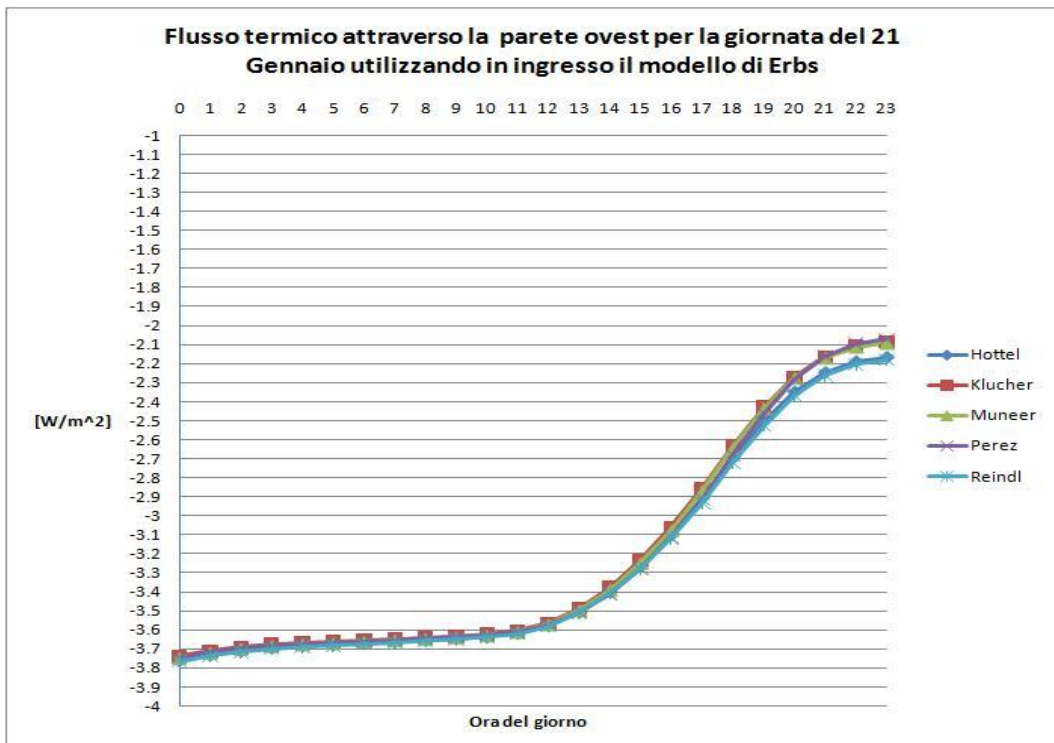
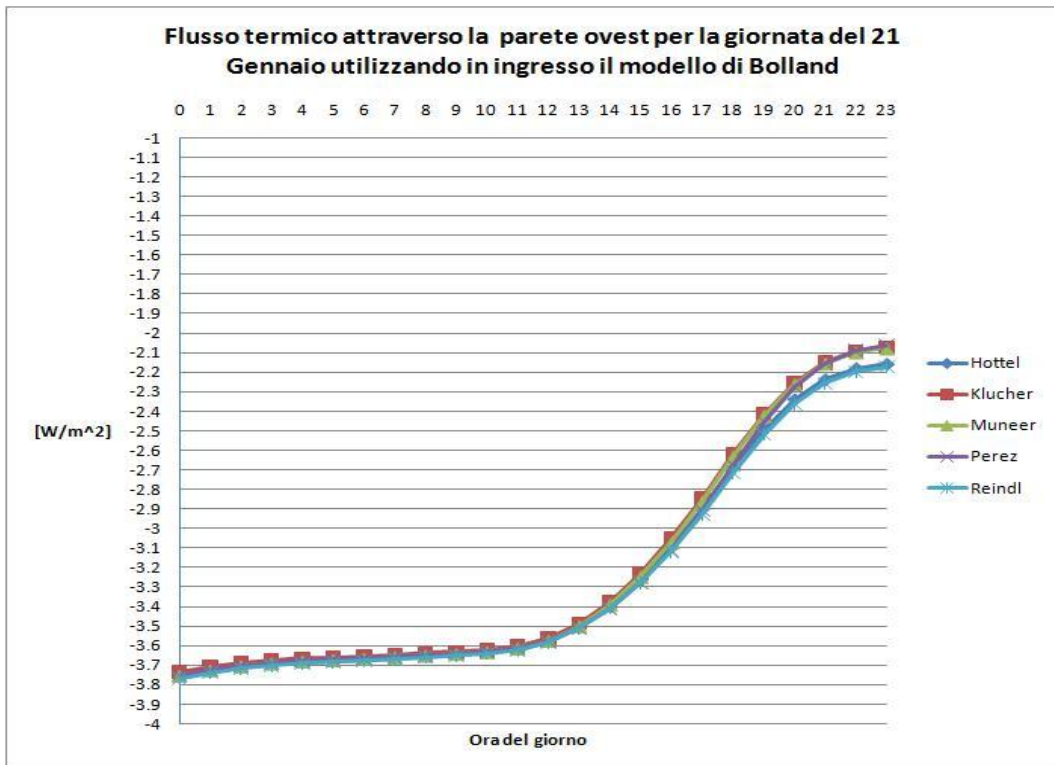
GRAFICI DEI FLUSSI TERMICI RELATIVI AL 21 GENNAIO E AL 21 LUGLIO



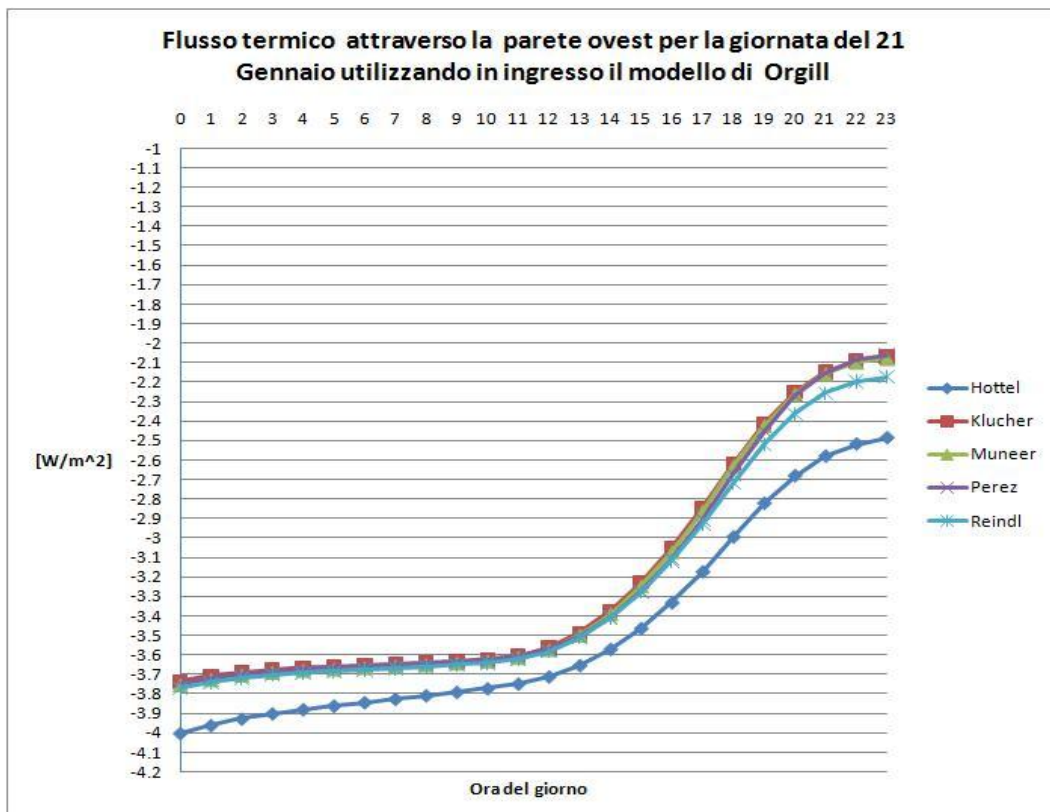
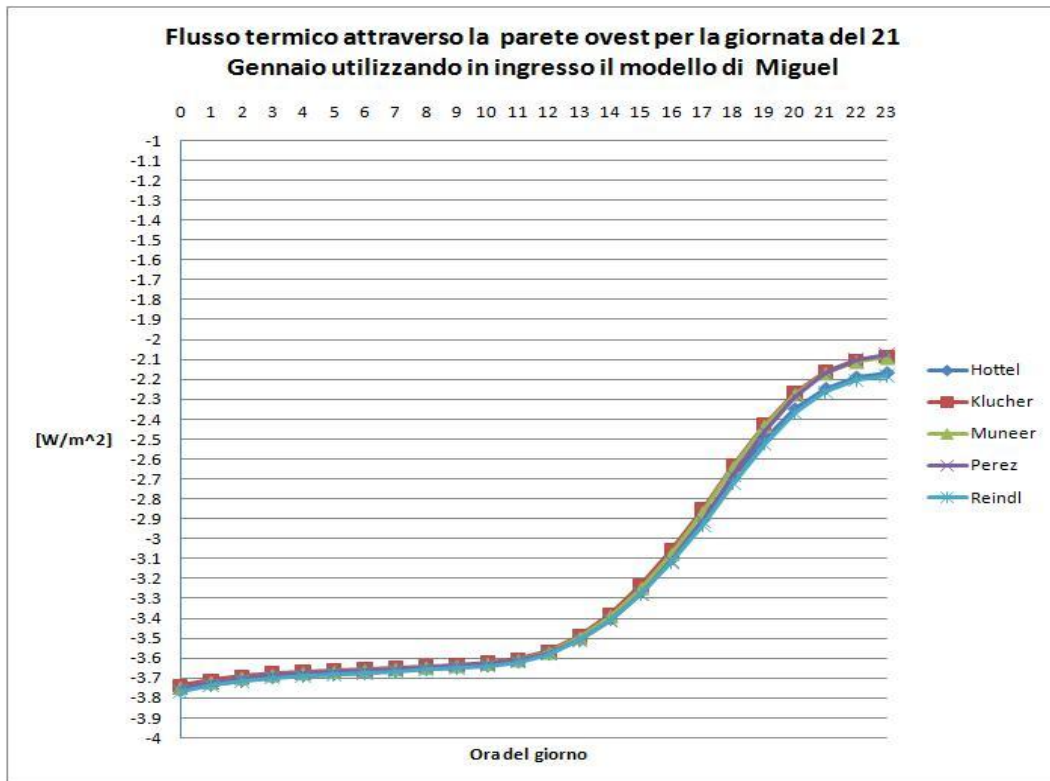


GRAFICI DEI FLUSSI TERMICI RELATIVI AL 21 GENNAIO E AL 21 LUGLIO

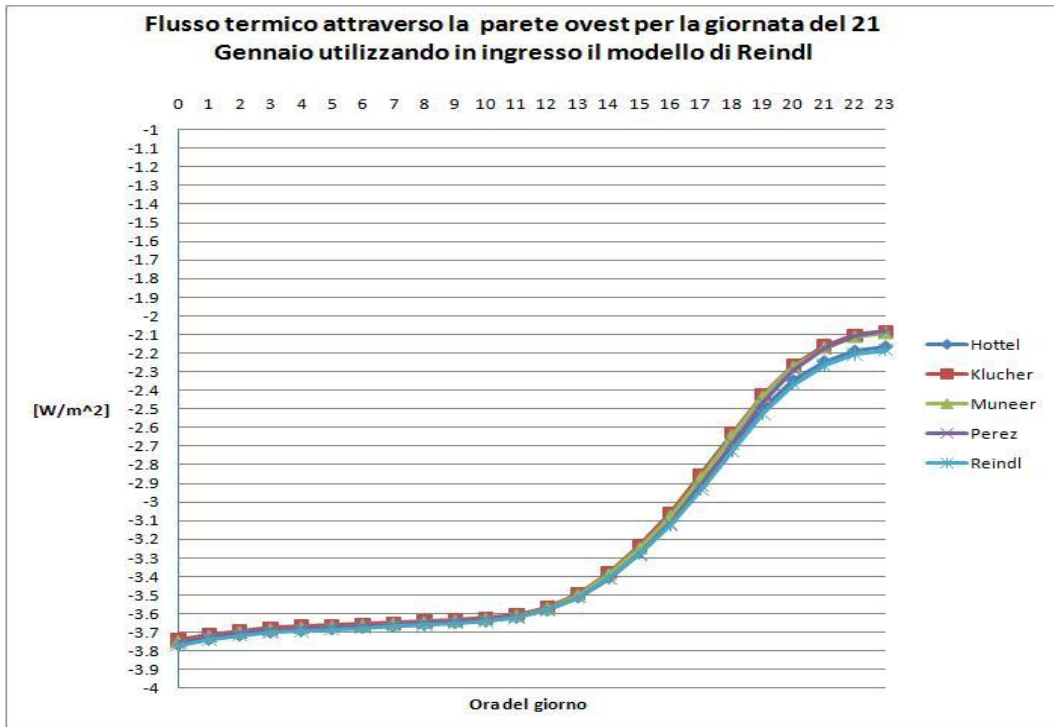
2.1.4.Parete ovest



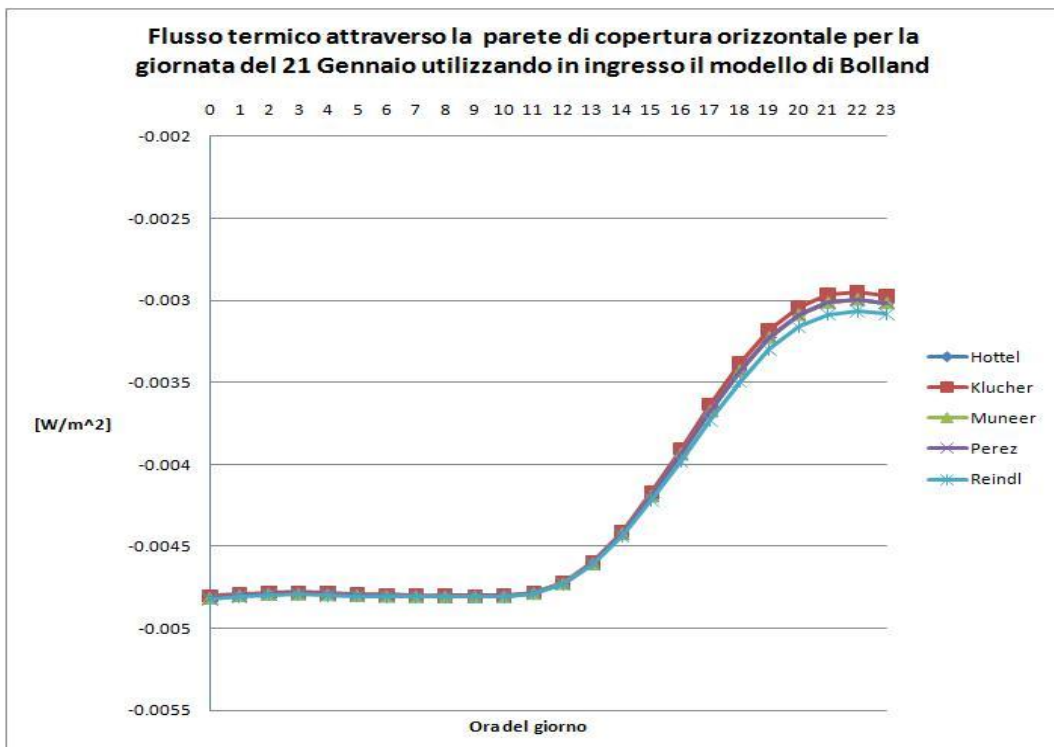
APPENDICE 2



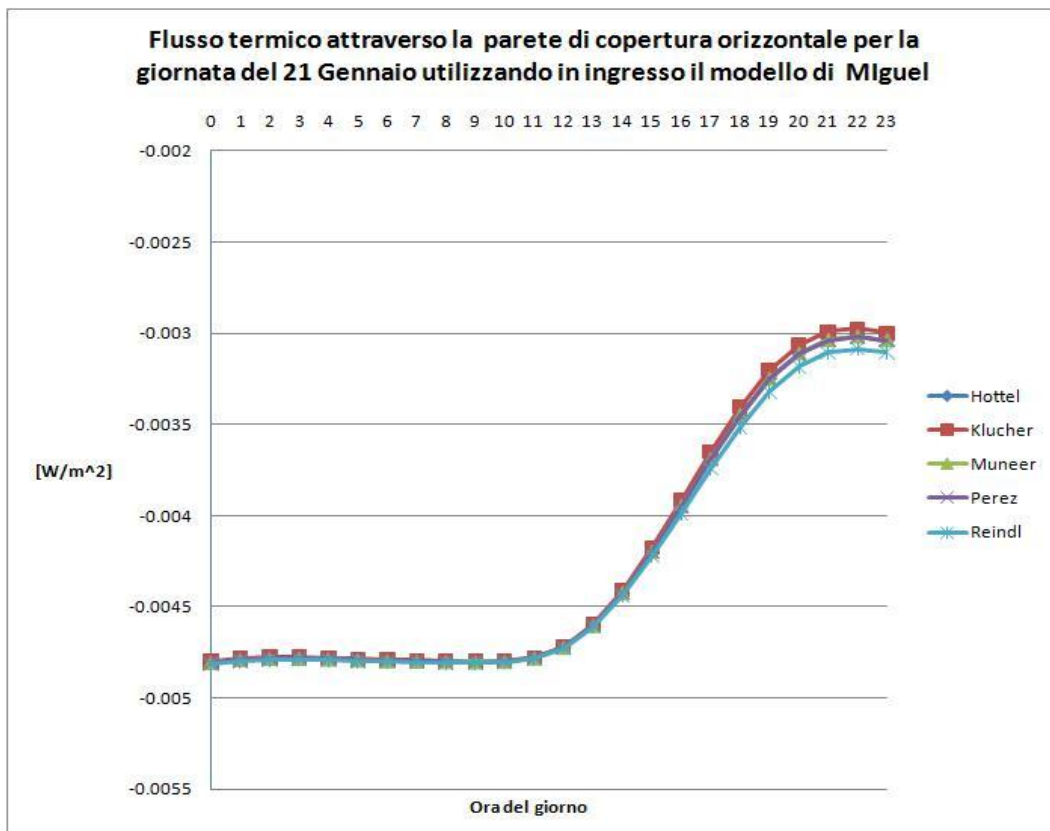
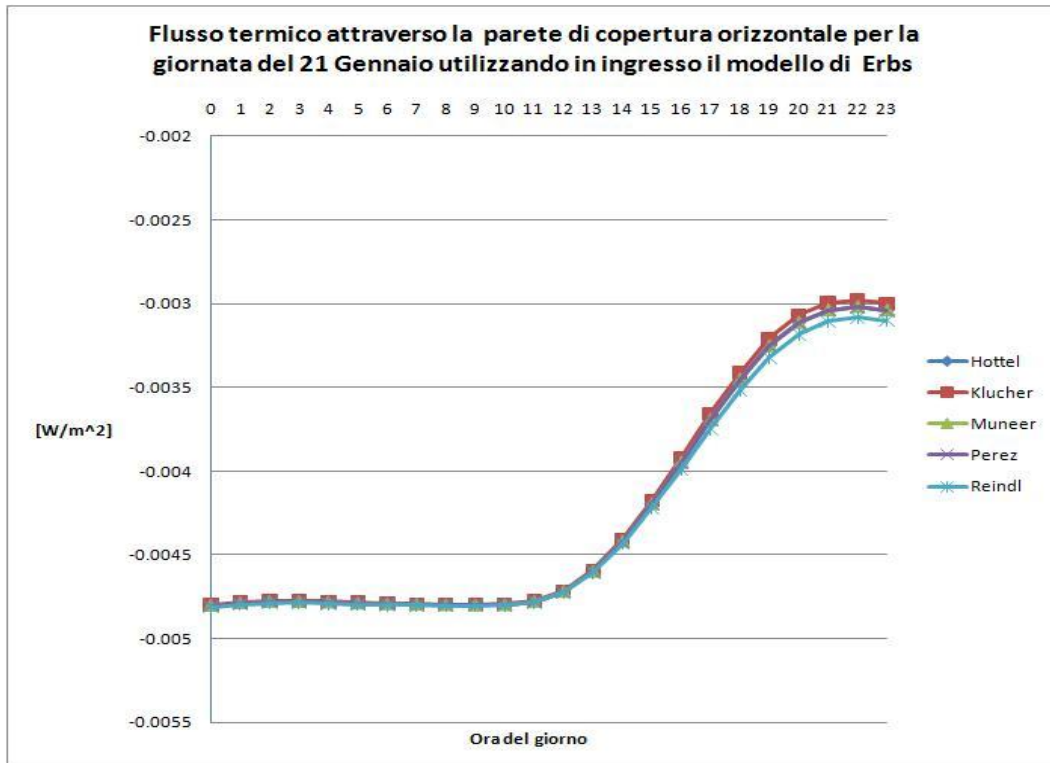
GRAFICI DEI FLUSSI TERMICI RELATIVI AL 21 GENNAIO E AL 21 LUGLIO



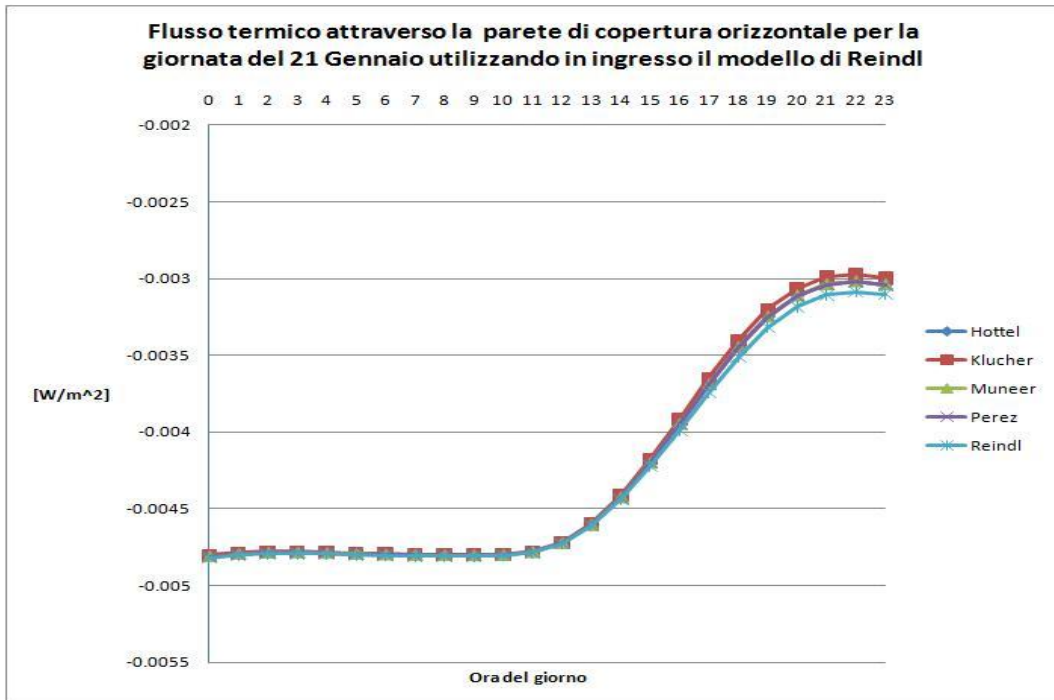
2.1.5. Parete di copertura orizzontale



APPENDICE 2

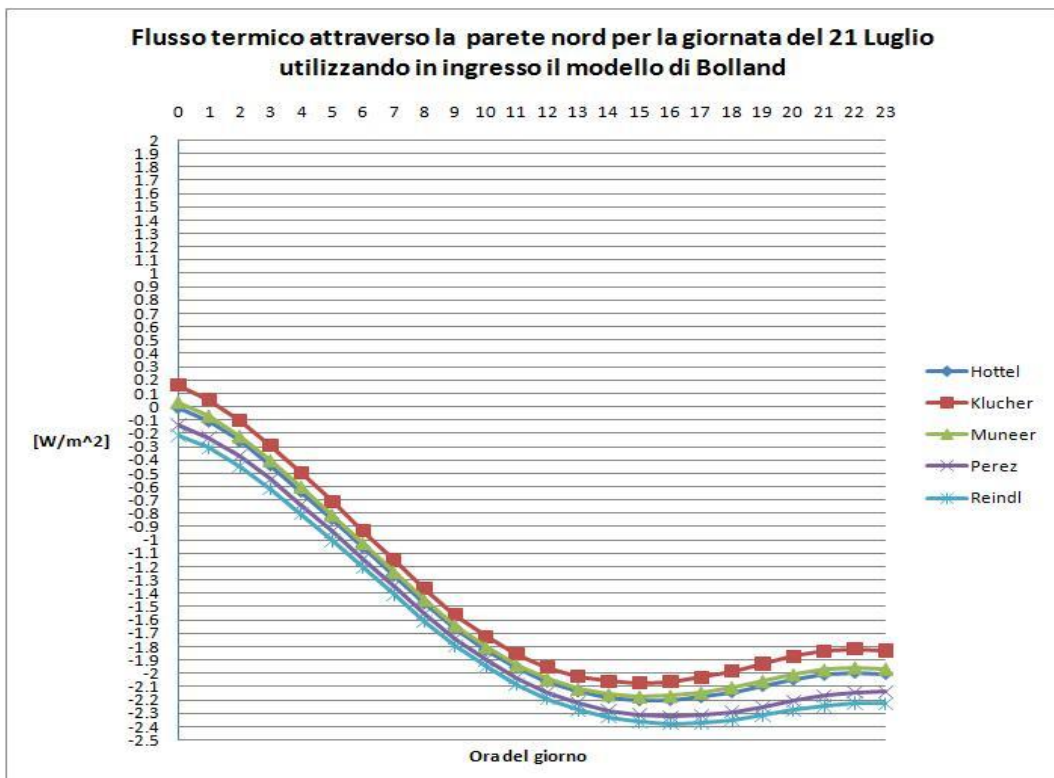


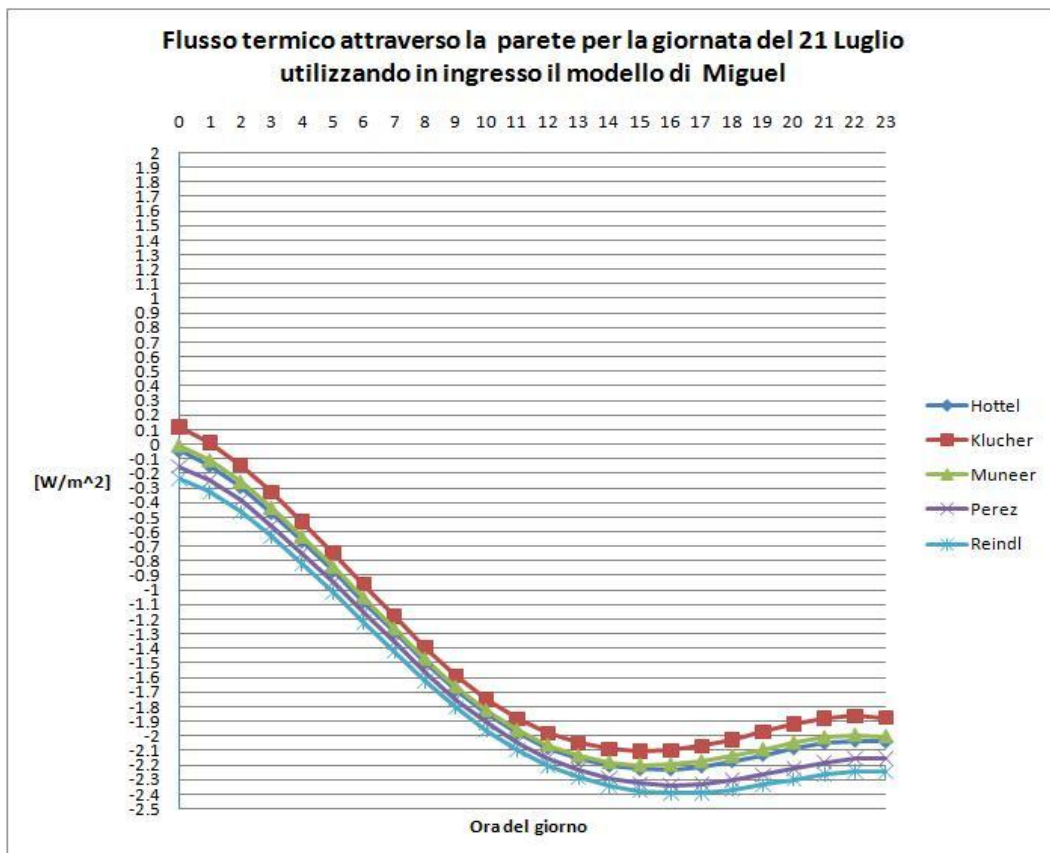
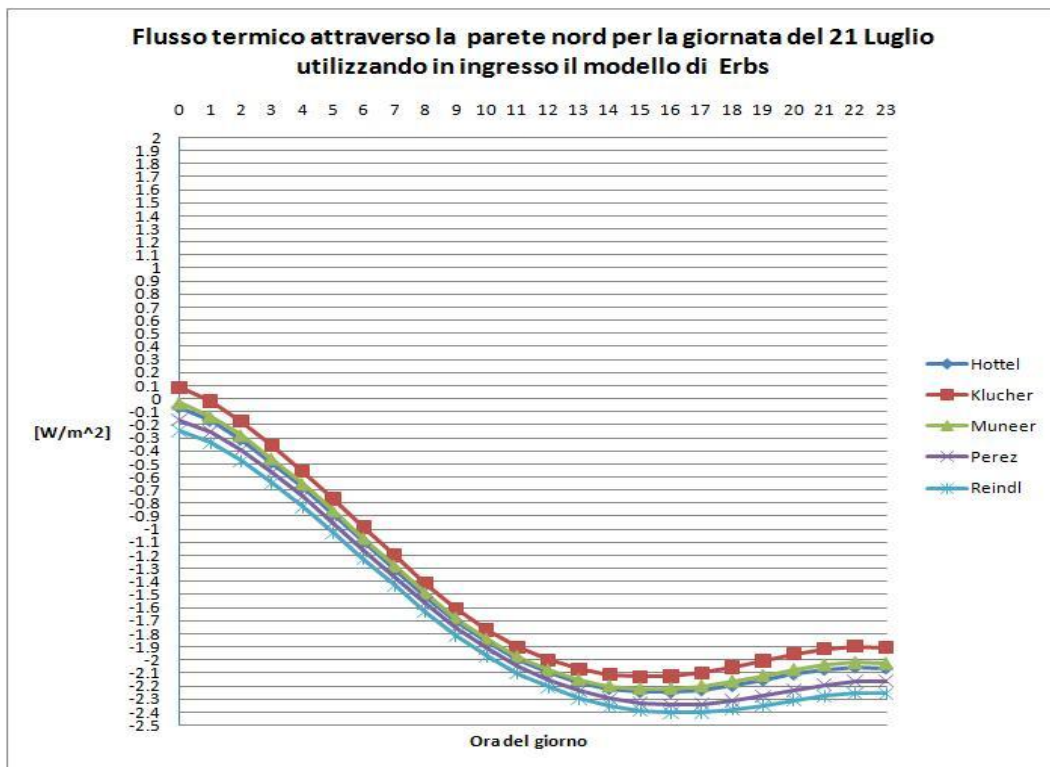
GRAFICI DEI FLUSSI TERMICI RELATIVI AL 21 GENNAIO E AL 21 LUGLIO



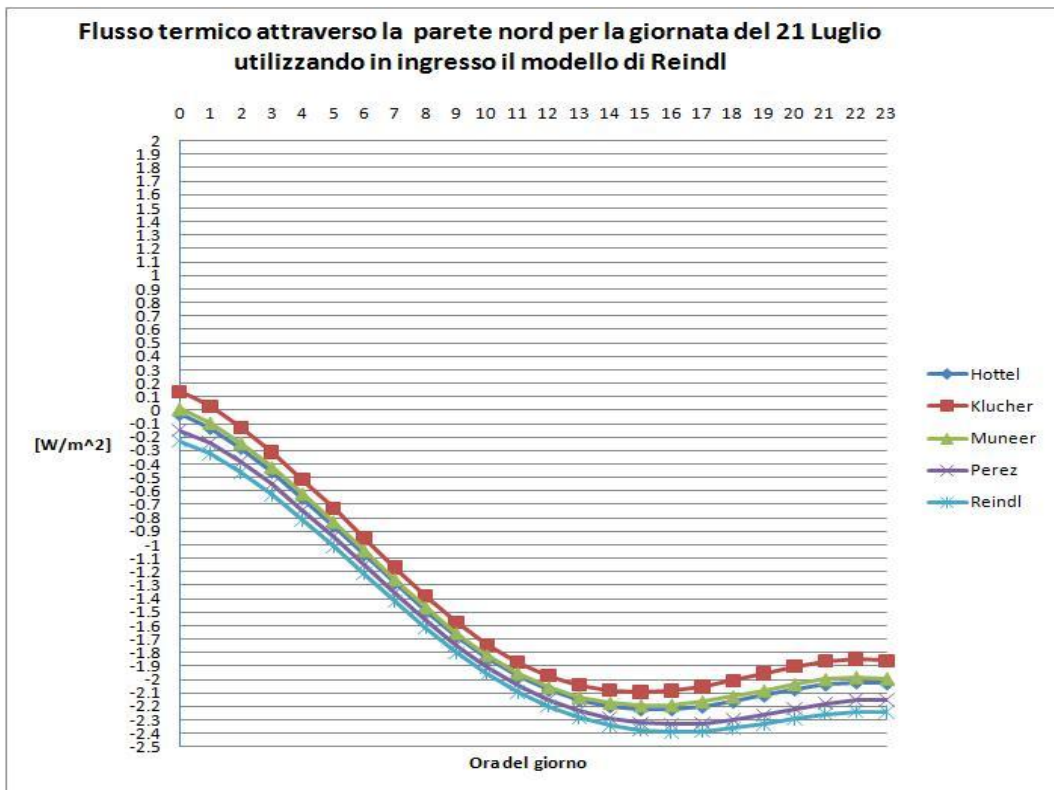
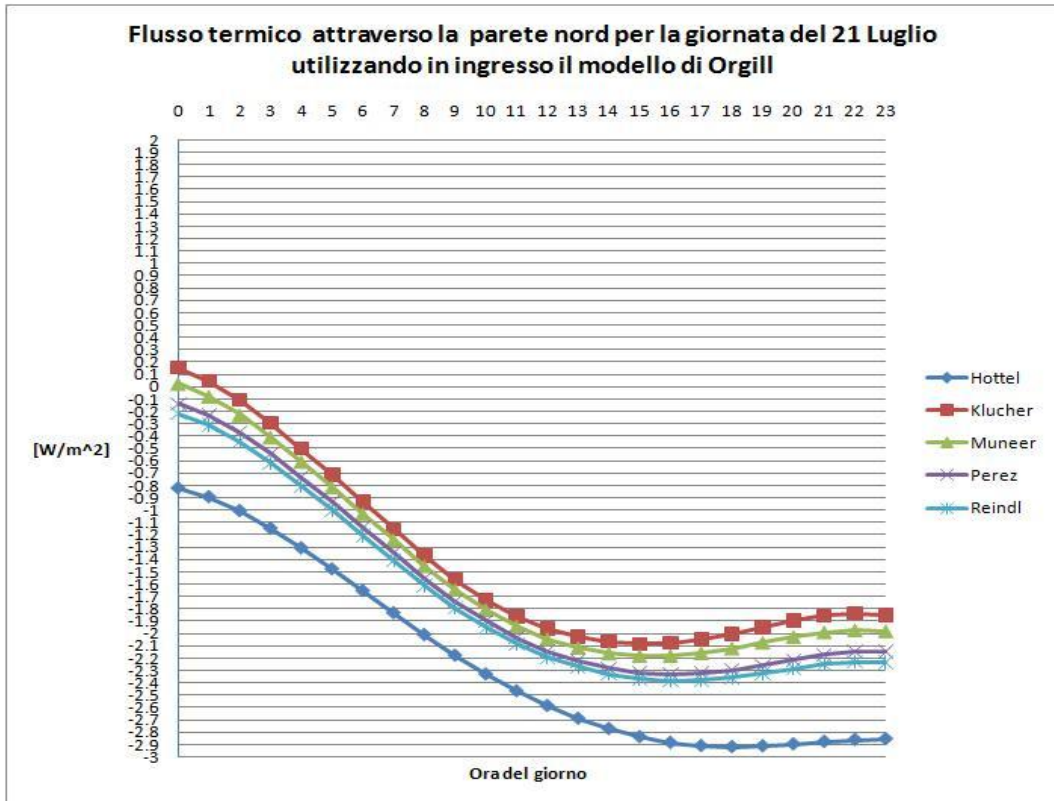
2.2. Grafici relativi al 21 luglio

2.2.1. Parete nord



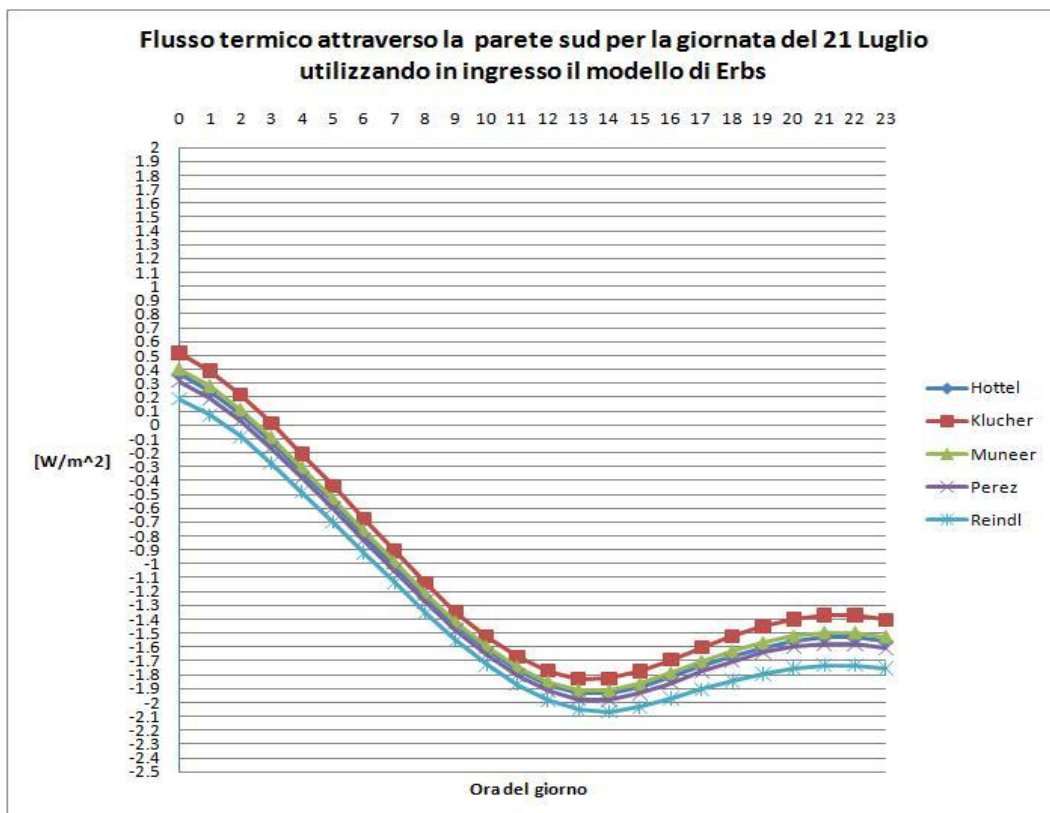
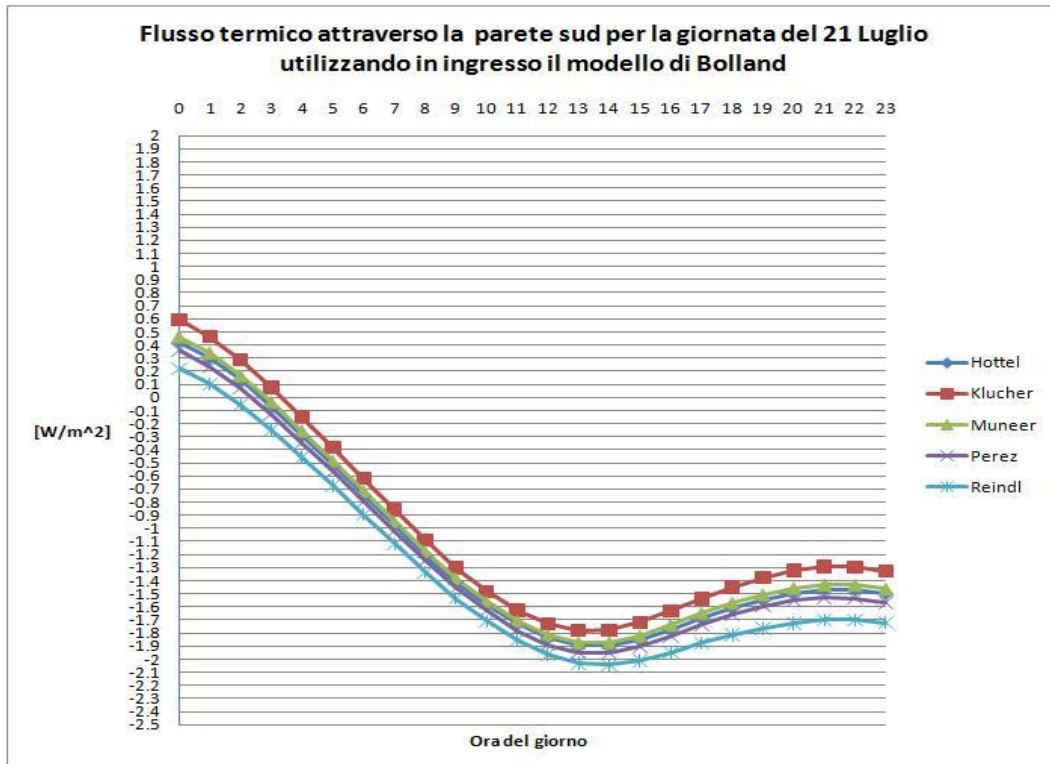


GRAFICI DEI FLUSSI TERMICI RELATIVI AL 21 GENNAIO E AL 21 LUGLIO

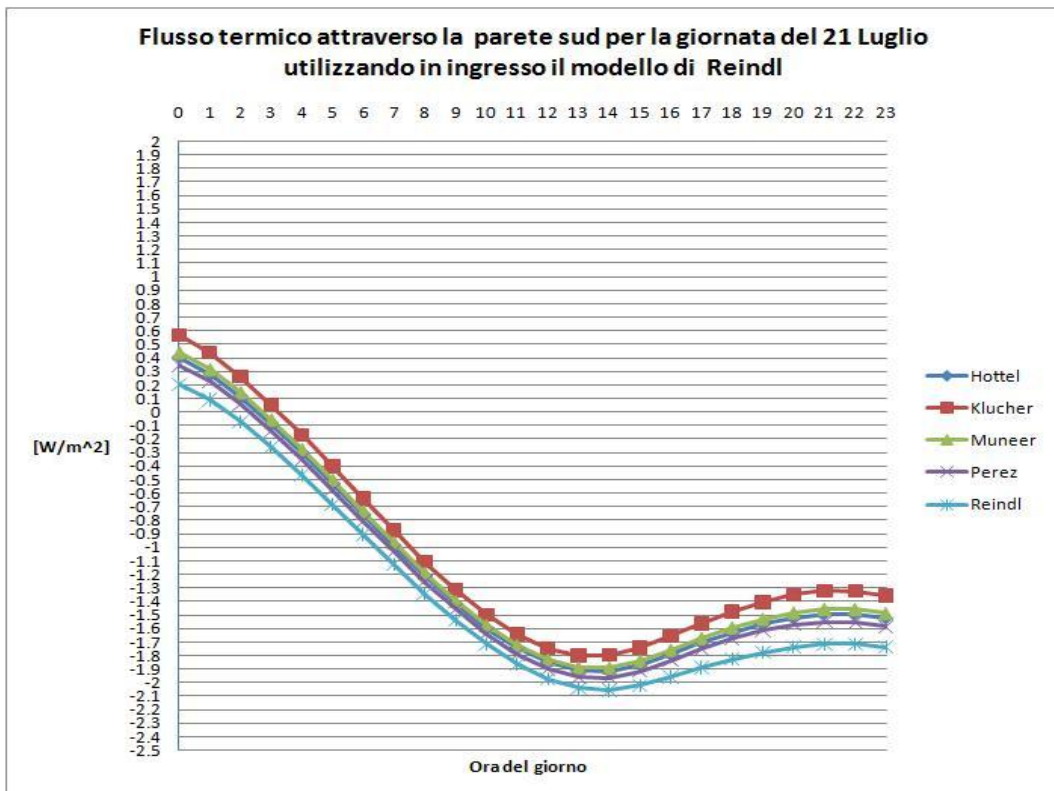
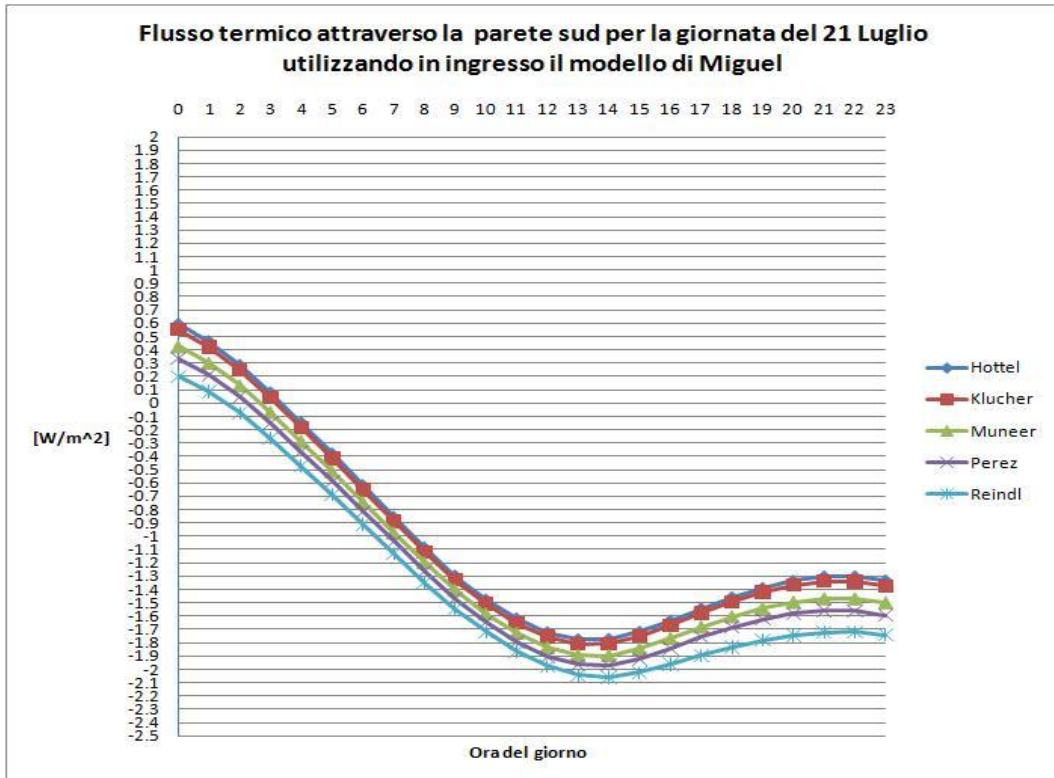


APPENDICE 2

2.2.2.Parete sud

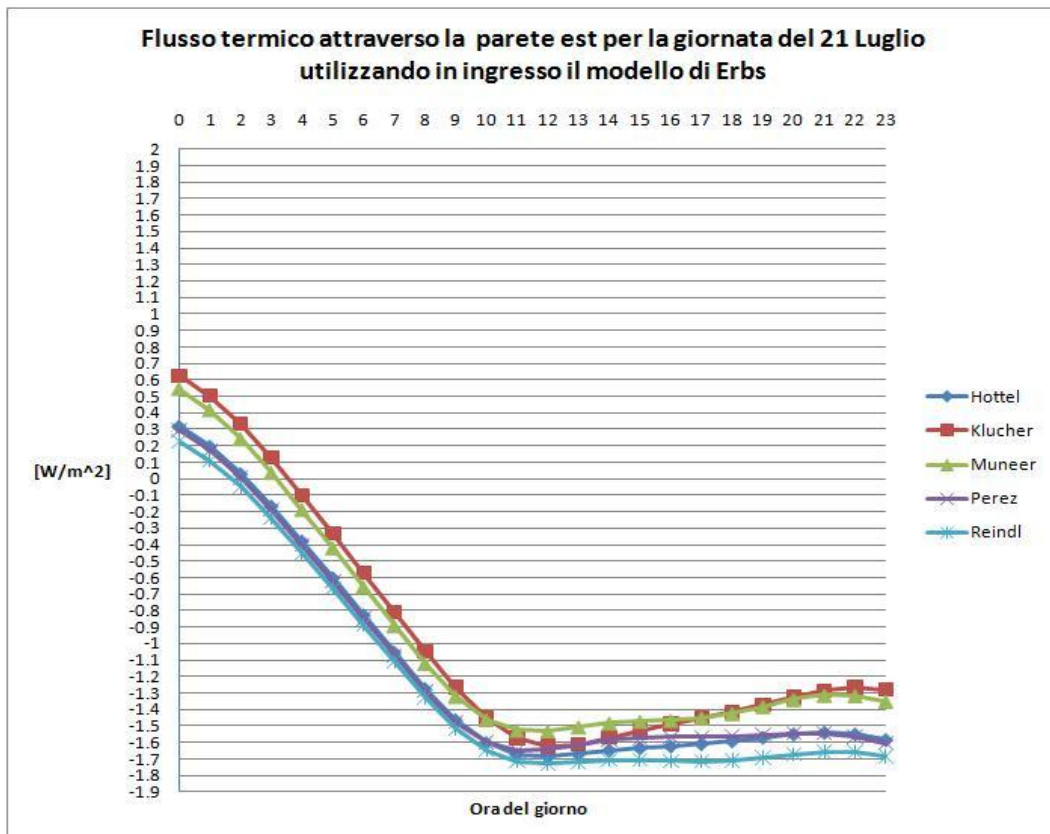
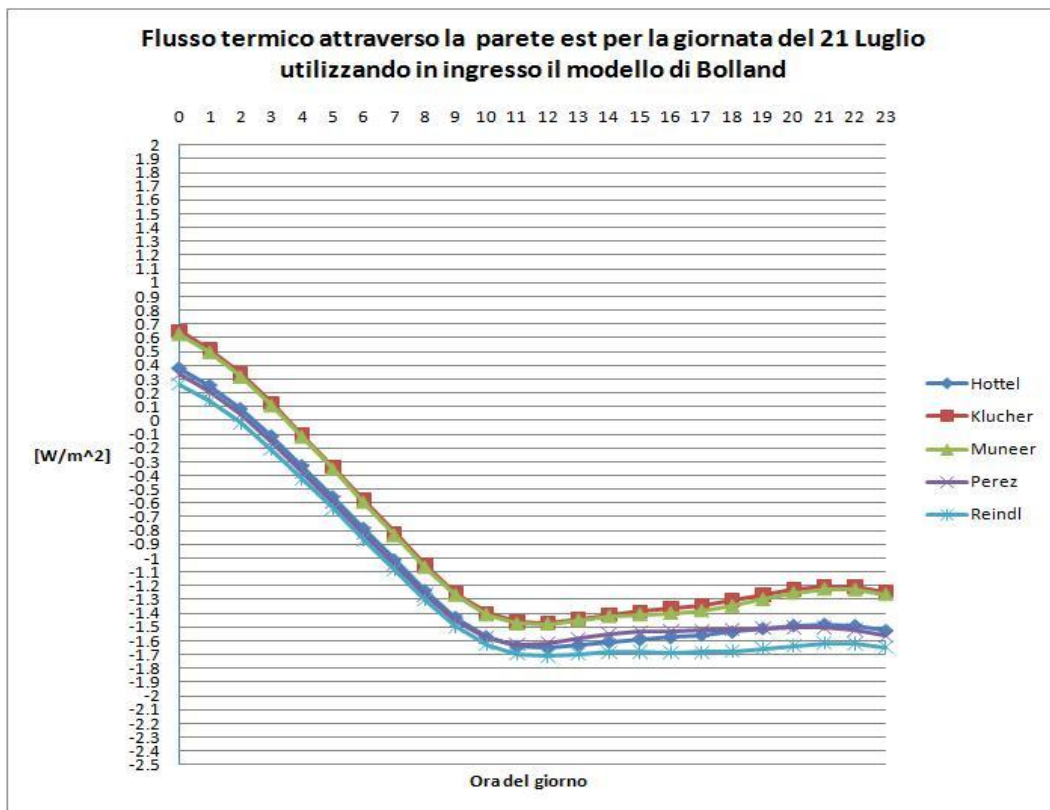


GRAFICI DEI FLUSSI TERMICI RELATIVI AL 21 GENNAIO E AL 21 LUGLIO

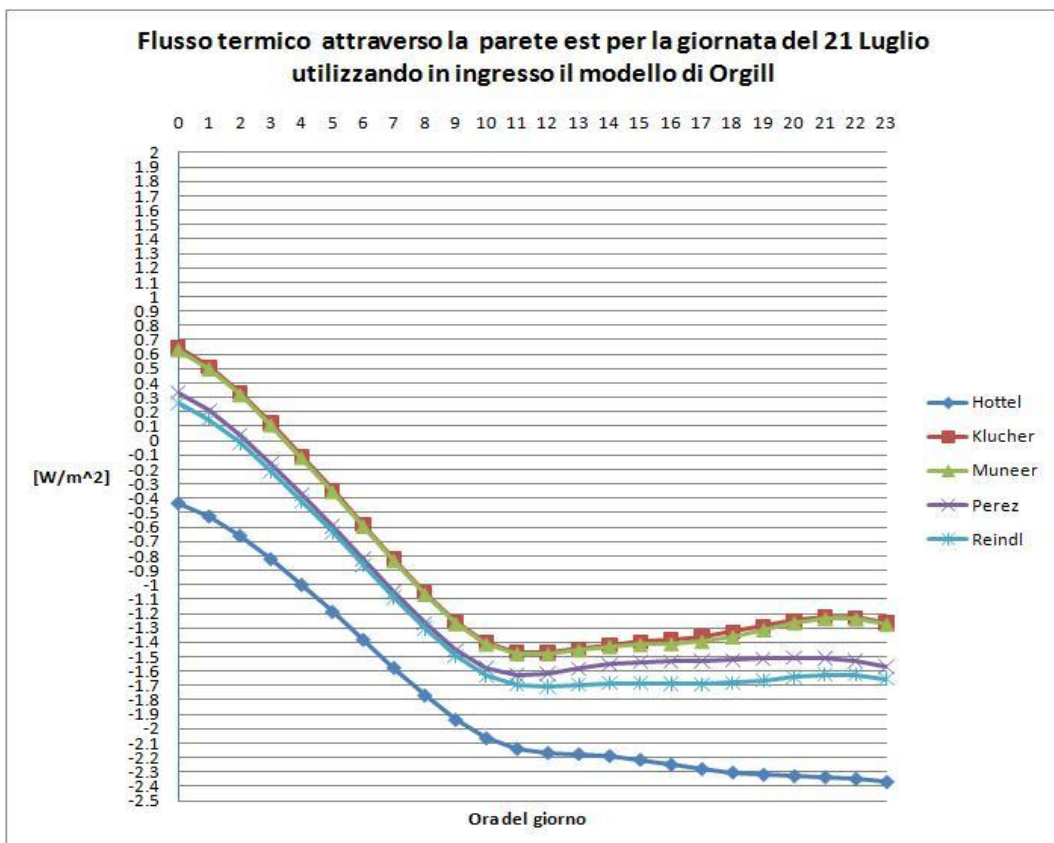
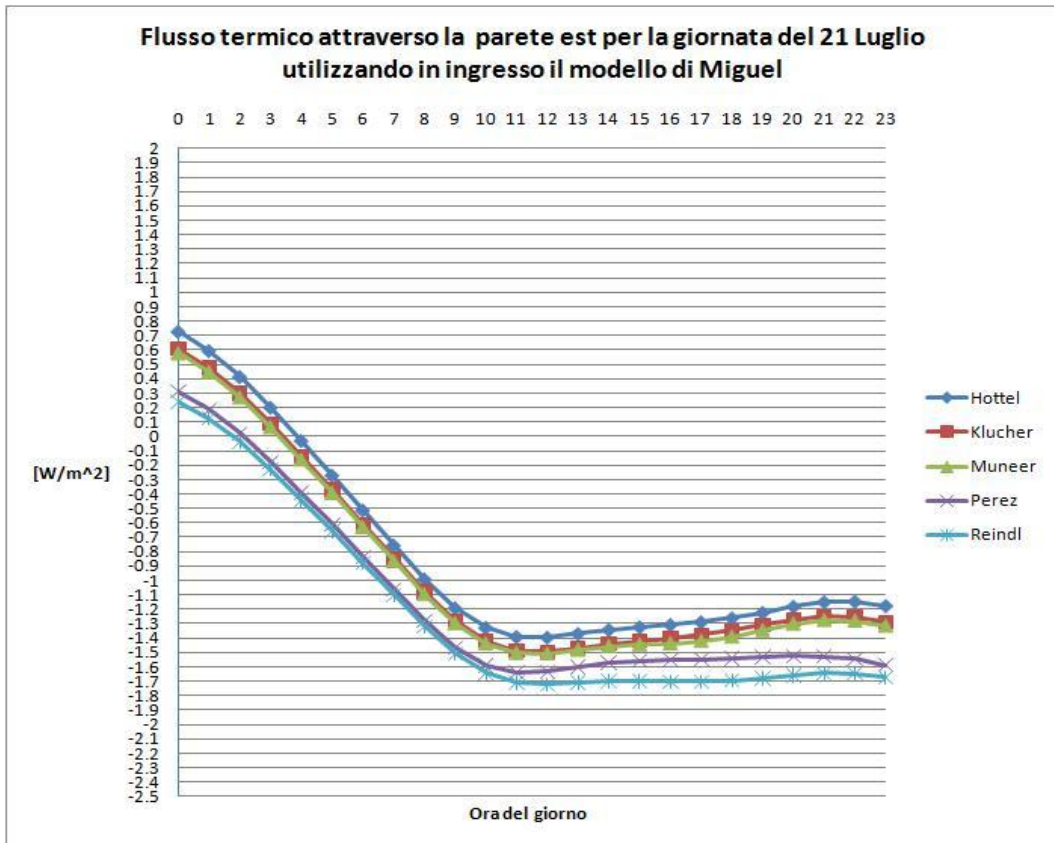


APPENDICE 2

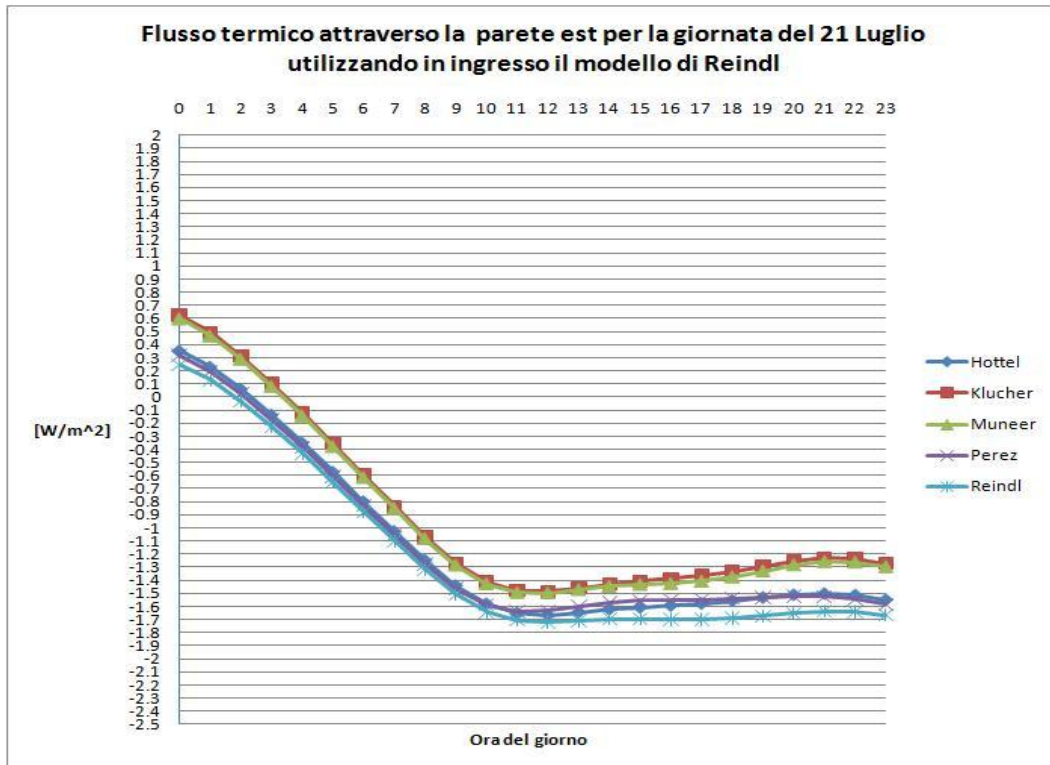
2.2.3.Parete est



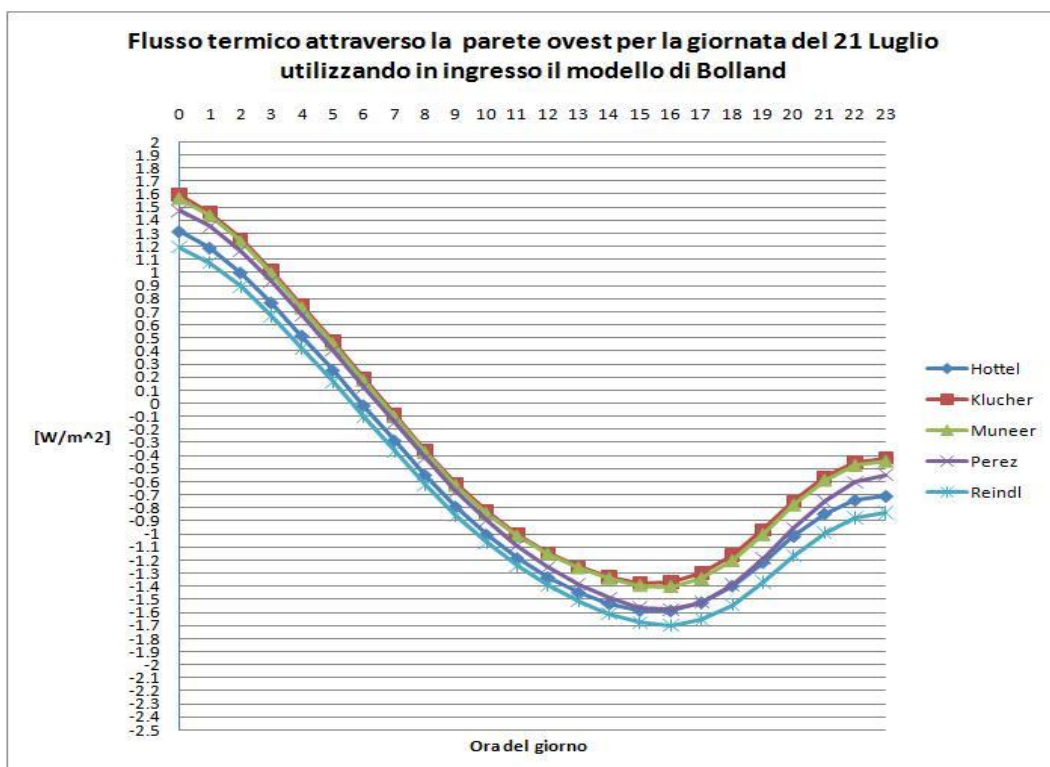
GRAFICI DEI FLUSSI TERMICI RELATIVI AL 21 GENNAIO E AL 21 LUGLIO



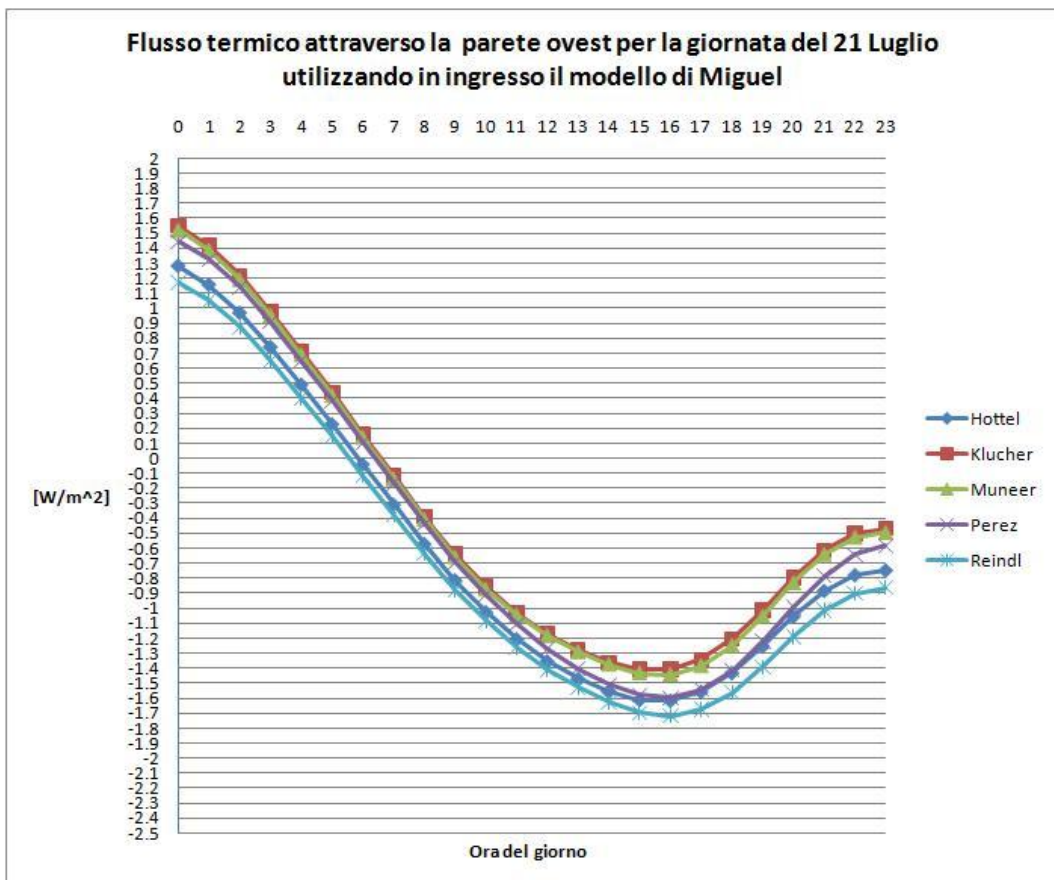
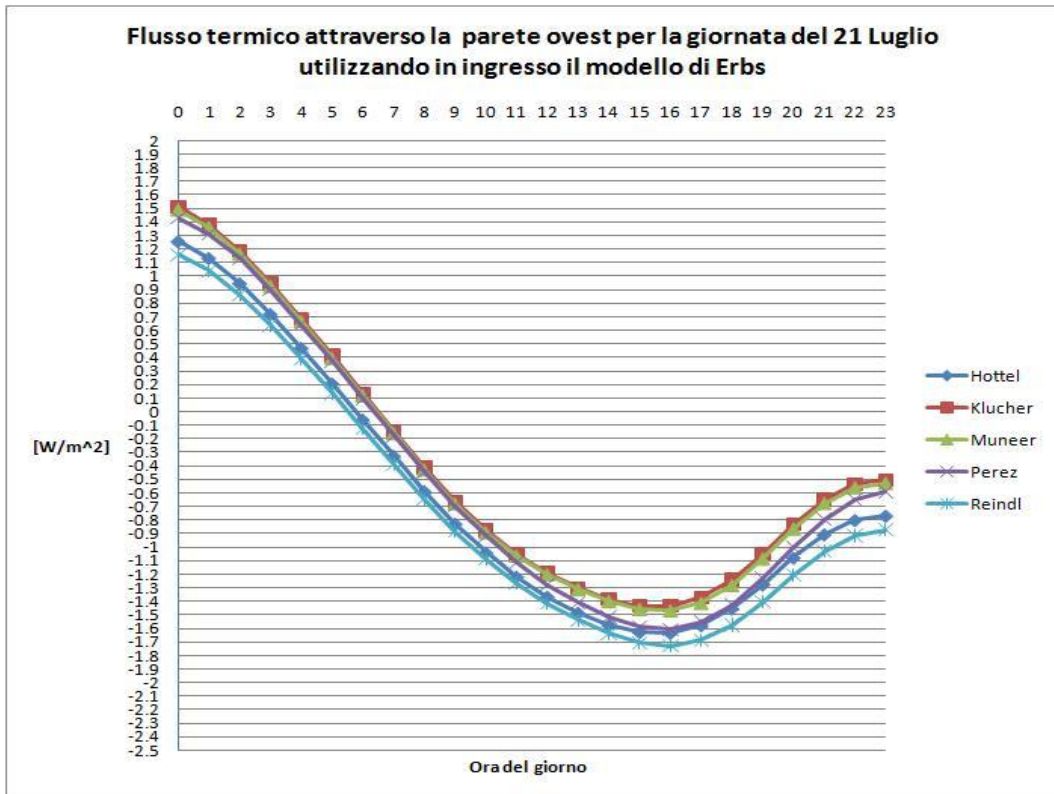
APPENDICE 2



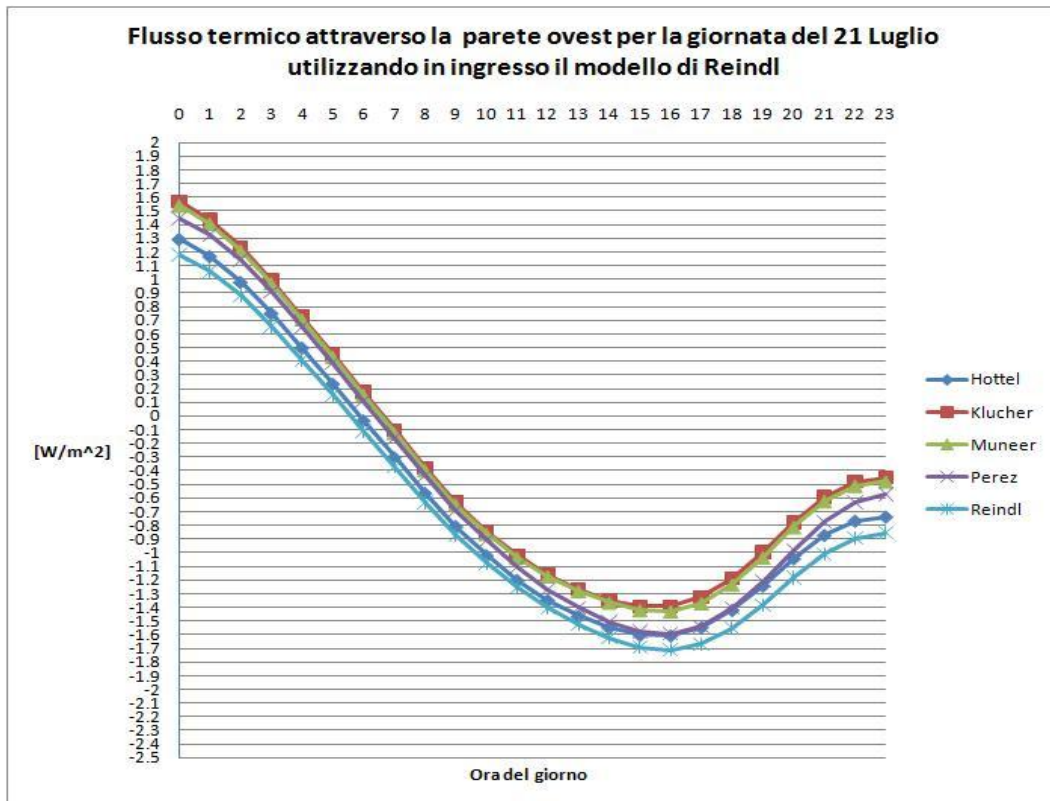
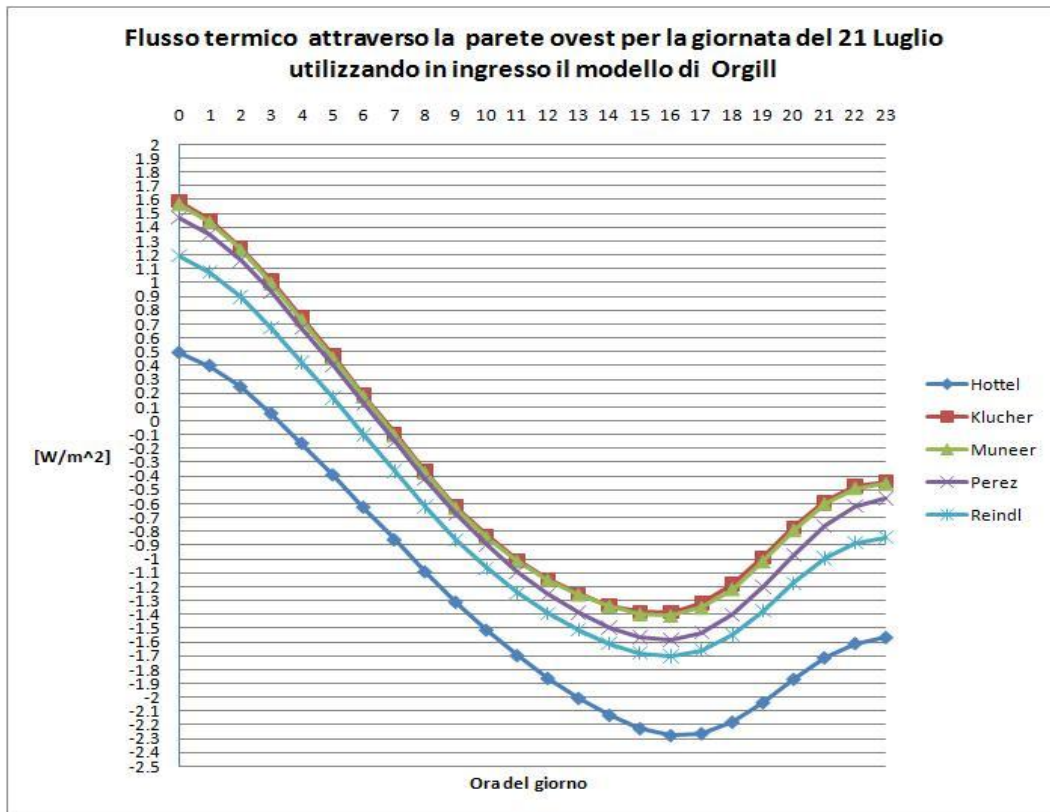
2.2.4.Parete ovest



GRAFICI DEI FLUSSI TERMICI RELATIVI AL 21 GENNAIO E AL 21 LUGLIO

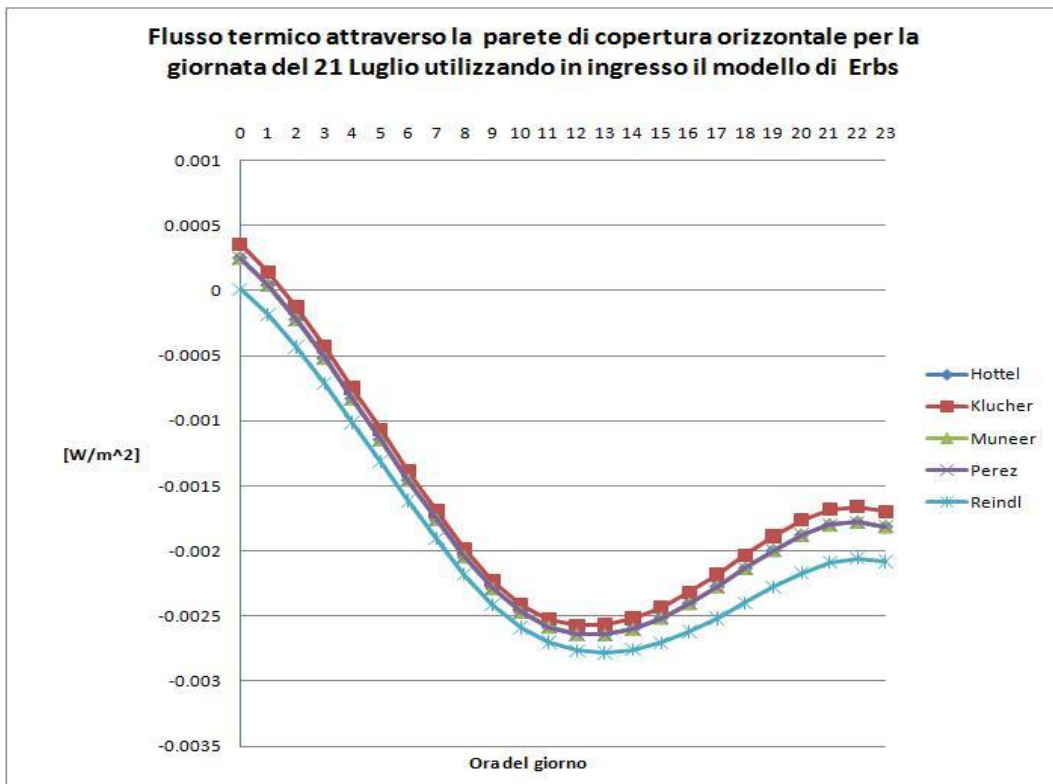
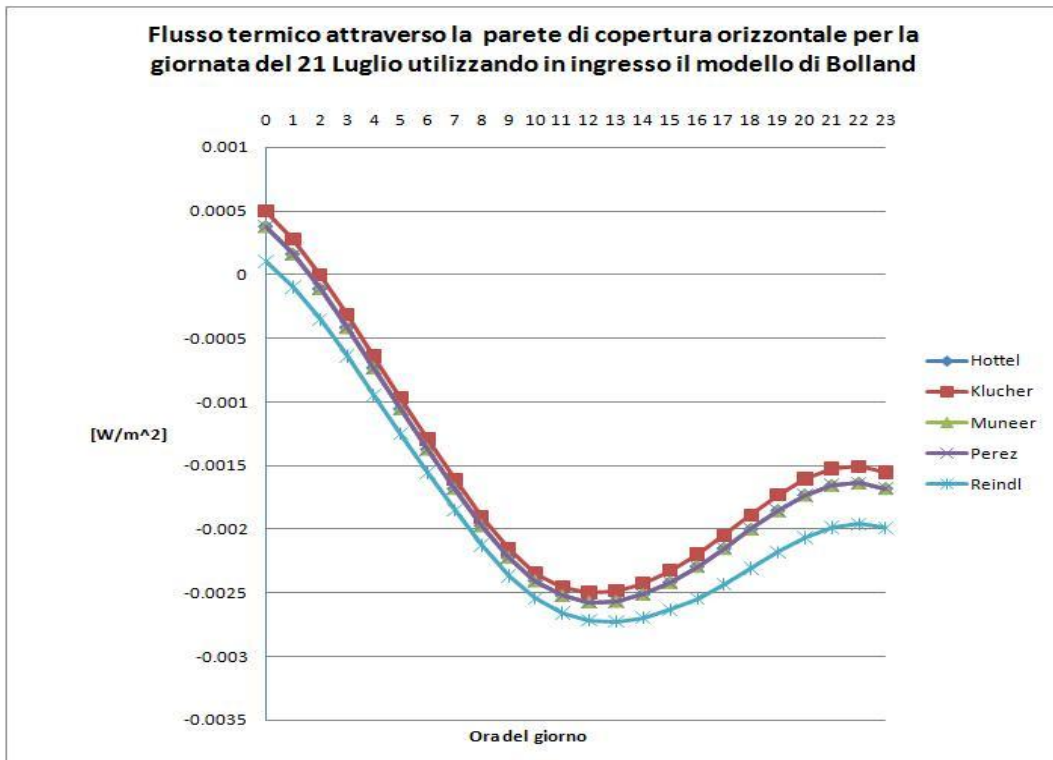


APPENDICE 2

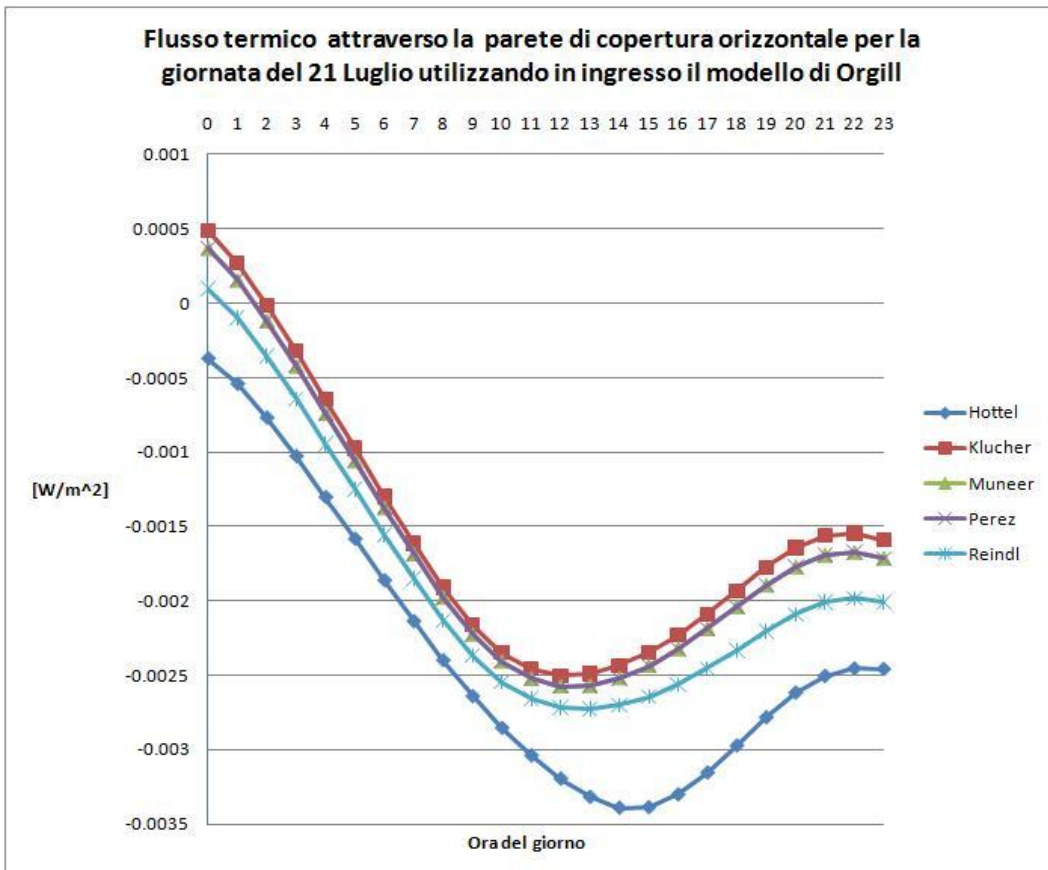
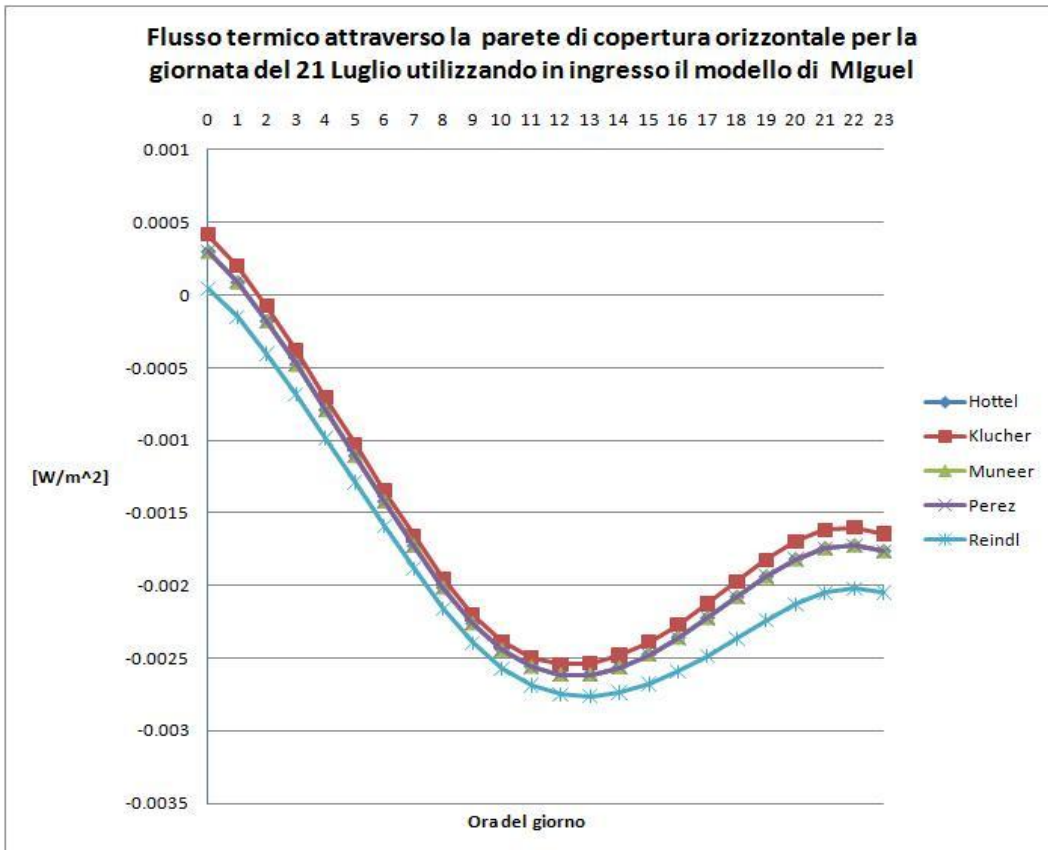


GRAFICI DEI FLUSSI TERMICI RELATIVI AL 21 GENNAIO E AL 21 LUGLIO

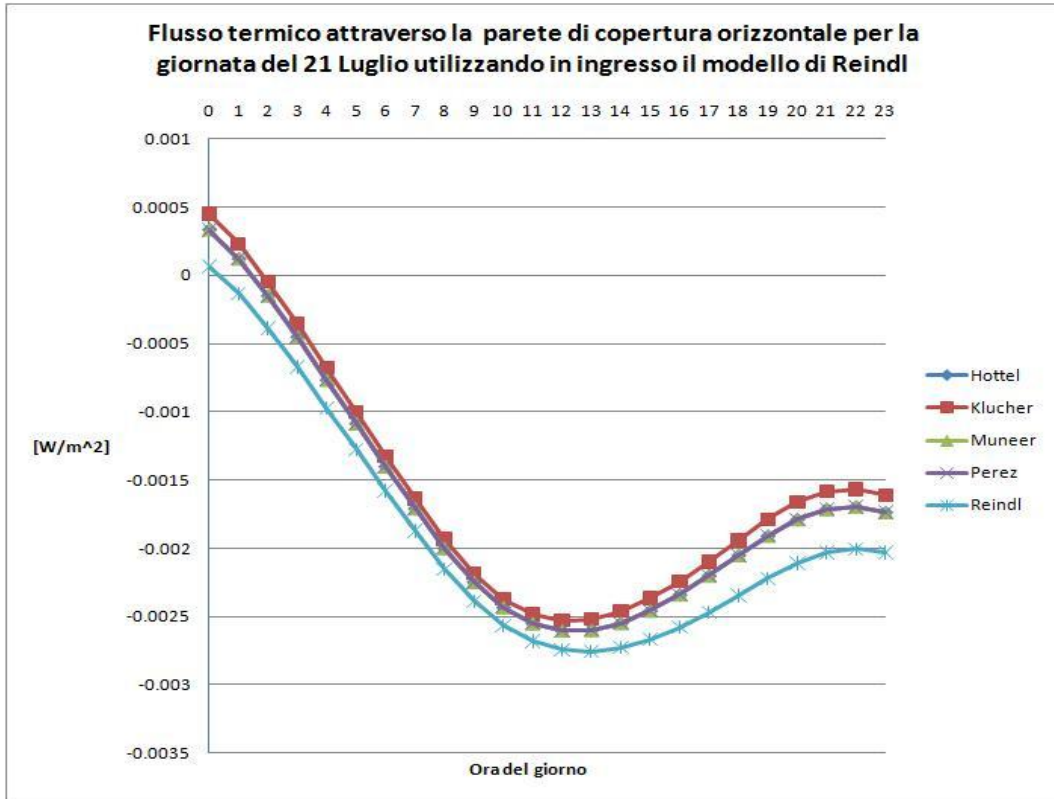
2.2.5.Parete di copertura orizzontale



APPENDICE 2



GRAFICI DEI FLUSSI TERMICI RELATIVI AL 21 GENNAIO E AL 21 LUGLIO



Conclusioni

In un'ottica globale in cui il risparmio energetico assume sempre maggior rilievo a causa della scarsità ed al costo delle risorse energetiche primarie, quali i combustibili fossili, il petrolio e suoi derivati, sono state promosse a livello mondiale politiche atte al miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici: un esempio è la direttiva europea 2010/31/CE sulla prestazione energetica nell'edilizia.

La valutazione e il miglioramento delle prestazioni dell'involucro edilizio inteso come elemento dinamico che interagisce e scambia energia con l'esterno presuppone la conoscenza delle condizioni a contorno che agiscono sull'edificio stesso.

Le azioni termiche che agiscono sull'involucro edilizio sono da ricondursi a fenomeni conduttivi e convettivi, a dispersioni infrarosse verso la volta celeste e alla radiazione solare.

I primi due contributi sono funzione della temperatura e velocità dell'aria e sono facilmente stimabili grazie ai numerosi dati disponibili per le varie località e all'utilizzo di modelli di derivazione empirica.

Viceversa i profili di radiazione sulle varie pareti nelle diverse località sono raramente disponibili, ciò comporta l'utilizzo di modelli di previsione con cui stimare l'effettivo carico radiante.

Data l'innumerabile presenza di modelli di previsione elaborati in epoche e località diverse sorge il problema della scelta di un modello che meglio approssimi la radiazione effettiva.

Tra i modelli per la previsione della radiazione diffusa sul piano orizzontale e su superfici inclinate, si sono scelti i più noti in letteratura per ogni categoria testandone le prestazioni singolarmente mediante il confronto con dati sperimentali o medi statistici.

Le località selezionate per la verifica delle prestazioni sono: Roma, Torino e Golden (Colorado). I dati di Roma e Torino si riferiscono a serie di dati medi statistici e sono disponibili solo per l'orizzontale mentre Golden si riferisce a dati sperimentali disponibili anche per il piano inclinato.

L'analisi delle deviazioni rispetto ai riferimenti ha portato alla constatazione che i modelli con le prestazioni migliori per la stima sull'orizzontale sono quelli sviluppati da Erbs, Bolland, Miguel, Reindl, Orgill mentre per il piano inclinato sono i modelli di Klucher, Hay Davies, Muneer, Perez.

I modelli di previsione della radiazione diffusa sul piano inclinato stimano la radiazione in funzione della corrispondente frazione diffusa sull'orizzontale, quindi accoppiando i modelli se ne ottiene uno composito che permette la stima della radiazione sul piano inclinato con la sola conoscenza della radiazione extraterrestre sull'orizzontale e della radiazione globale orizzontale.

Scelti quindi i cinque modelli con le migliori prestazioni per ogni categoria, si sono ottenute venticinque combinazioni a cui corrispondono altrettanti profili di radiazione per ogni orientazione considerata .

Si sono effettuate delle simulazioni dinamiche in TRNSYS dalle quali si è potuto verificare l'incidenza dei diversi profili di radiazione ottenuti dalle combinazioni di modelli sugli scambi energetici attraverso un involucro edilizio, nel caso in questione composto di sole pareti opache, quattro verticali orientate nelle direzioni cardinali ed una orizzontale studiate singolarmente.

I risultati forniti dalle simulazioni sono il flusso orario entrante/uscente e il rispettivo integrale mensile ed annuale, il confronto fra i risultati delle varie combinazioni è stato fatto rispetto all'accoppiamento (Erbs-Perez), che costituisce un riferimento normativo in quanto i singoli modelli della combinazione sono citati dalla normativa europea ENISO 15927-1:2004 e implementati in numerosi codici di simulazione dinamica dell'edificio.

I risultati ottenuti hanno mostrato delle variazioni annuali rispetto alla combinazione di riferimento abbastanza contenute in media dell'ordine del 5% per l'integrale dei flussi uscenti in condizioni invernali e indicativamente intorno al 30 % per l'integrale dei flussi entranti in condizioni estive.

Si è notato inoltre che la combinazione (Orgill-Hottel) per tutte le orientazioni fornisce uno scostamento dal riferimento superiore alle altre combinazioni, che assume segno opposto per le orientazioni nord ed est.

Per quel che riguarda l'integrale mensile dei flussi entranti e uscenti si apprezza un aumento delle deviazioni nei mesi estivi, fenomeno meno accentuato per la parete Nord.

L'analisi dei flussi giornalieri mostra che il modello di Orgill-Reindl fornisce stime di radiazione molto diverse dalle altre combinazioni per tutte le orientazioni sia in estate che in inverno.

Valutata l'incidenza delle combinazioni di modelli sugli scambi energetici attraverso l'involucro edilizio ci si è posto il problema dell'incidenza dell'orografia sulla stima della radiazione e conseguentemente sugli scambi termici a parete.

Si è scelto quindi di modificare il modello di Perez in funzione dell'ostacolo orografico e di effettuare le opportune simulazioni dinamiche, la località presa in esame per la verifica è Trento.

L'analisi dei dati ottenuti dalle simulazioni ha mostrato la scarsa incidenza della modifica al modello di Perez in termini di flussi e fabbisogni energetici, le variazioni massime si sono presentate per l'integrale annuale dei flussi entranti dalla parete di copertura orizzontale con una variazione minore del 4%.

Nel presente lavoro si è analizzato esclusivamente il comportamento di pareti opache tralasciando lo studio delle superfici vetrate, che di fatto costituiscono lo sviluppo futuro di quanto sviluppato finora.

Infatti, se per le pareti opache la scelta del modello di previsione e l'incidenza dell'orografia influiscono in via marginale alla determinazione dei fabbisogni energetici, questo non è valido per pareti parzialmente vetrate le quali hanno fattori di riflessione, trasmissione e assorbimento della radiazione nettamente diversi dalla superficie opaca.

Uno studio approfondito di queste tematiche comporterebbe inoltre la valutazione degli scambi energetici utilizzando diversi tipi di superficie vetrata, dal vetrocamera mono o multistrato fino al vetro con pellicola antisolare

Ringrazio la mia famiglia per il sostegno ricevuto durante il percorso di studi intrapreso.

Un sentito ringraziamento va inoltre all' Ingegnere Pernigotto e al Professor Gasparella che con la loro disponibilità hanno contribuito in maniera significativa alla realizzazione di questo lavoro di tesi.