

SIMULAZIONE TRIDIMENSIONALE DEL COMPORTAMENTO TERMODINAMICO DI UN EDIFICIO

Cristiana Bagozzi¹, Paolo Baggio¹, Piercarlo Romagnoni², Andrea Gasparella³, Marco Baratieri¹, Maurizio Grigiante¹

1 - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento – Via Mesiano, 77 - 38050 Povo – Trento (TN) – tel 0461 - 882639 – email: paolo.baggio@ing.unitn.it

2 - Dipartimento di Costruzione dell'Architettura, Università Iuav di Venezia

3 - Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali, Università degli Studi di Padova, Vicenza

SOMMARIO

In questo lavoro è stata effettuata una simulazione tridimensionale agli elementi finiti del comportamento termodinamico di un edificio. L'analisi, sviluppata attraverso l'uso di un software commerciale (Comsol Multiphysics®), considera l'influenza sia delle condizioni climatiche esterne, sia delle caratteristiche geometriche e fisiche dell'involucro edilizio.

Il caso di studio è un edificio sviluppato su due piani, il quale presenta una geometria estremamente semplificata e simmetrica, a causa degli oneri computazionali dovuti al numero di gradi di libertà richiesti per una analisi tridimensionale in regime transiente. Per l'analisi è stato necessario utilizzare i dati meteorologici orari del giorno medio mensile estivo ed i risultati sono stati confrontati con i calcoli effettuati con la norma ISO FDIS 13790.

1 INTRODUZIONE

Negli ultimi anni il problema del raffrescamento estivo sta divenendo sempre più importante e risulta di particolare interesse la scelta della metodologia utilizzata per definire in modo chiaro i diversi contributi al carico estivo, se cioè riferirsi all'analisi statica o dinamica.

Durante l'estate, per il clima italiano, si può verificare che le differenze di temperatura tra l'aria interna e quella esterna sono basse, per cui si assiste ad un'inversione del flusso di calore. Inoltre risulta di fondamentale importanza la valutazione dei guadagni solari intermittenti: infatti il flusso di energia solare che raggiunge un metro quadrato di superficie è pari a 1000 W/m^2 , ma non è costante e varia, in un certo luogo, in funzione del tempo e del periodo dell'anno.

Alle considerazioni sopra citate, si aggiunga anche che la capacità termica delle murature crea uno sfasamento tra l'andamento della temperatura interna ed esterna.

Gli aspetti sopra descritti mostrano l'importanza di verificare mediante simulazioni al calcolatore il comportamento estivo di un edificio in modalità dinamica.

Per stimare il carico di raffrescamento, usualmente vengono utilizzati modelli basati su reti di resistenze e capacità. Questo approccio considera il sistema studiato come un insieme di elementi correlati che contribuiscono alla creazione del modello. Tuttavia, l'uso di parametri termofisici definiti da costanti concentrate, non sempre stima correttamente il ruolo degli elementi con capacità termica elevata.

La simulazione a elementi finiti tridimensionali cerca invece di modellare il reale comportamento dinamico di un edificio. Infatti la creazione del modello segue una serie di step che includono:

- la definizione del dominio fisico e condizioni al contorno;
- la discretizzazione del dominio di calcolo (creazione della mesh);
- la risoluzione del modello;
- il post processing della soluzione.

2 CASO DI STUDIO

Il caso studiato è rappresentato da un edificio sviluppato su due piani.

Sono stati creati gli elementi estrudendoli uno alla volta: tre strutture orizzontali, quali il pavimento sopra una cavità aerata, il solaio intermedio, la copertura piana e otto strutture verticali che rappresentano i muri perimetrali esterni.

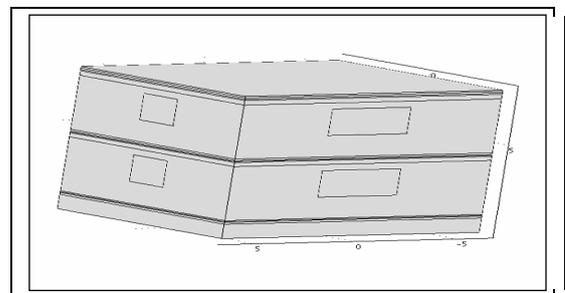


Figura 1: vista 3D dell'edificio analizzato

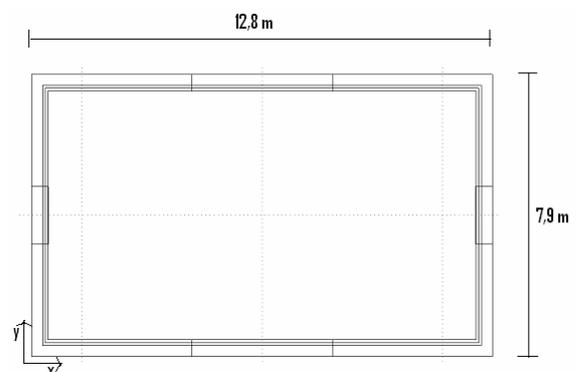


Figura 2: pianta dell'edificio analizzato

3 CONDIZIONI AL CONTORNO

La durata della radiazione solare in un luogo rappresenta un fattore determinante relativamente alla definizione del comportamento estivo di un edificio; essa è dovuta a due caratteristiche fondamentali: il fattore geografico, che incide sulla durata del giorno, in funzione dell'altezza del sole sull'orizzonte, e il fattore di sito, che stabilisce la massima durata nella quale il sole può essere visto senza ostacoli naturali, come le montagne o gli edifici.

Per coprire gli scostamenti dovuti alle diverse condizioni, l'analisi è stata effettuata considerando tre diversi capoluoghi di provincia italiani: Nuoro, Potenza, Matera a 40° di latitudine nord, ma a diverse quote sul livello del mare:

Potenza: altitudine 819 m. s.l.m.;

Nuoro: altitudine 546 m. s.l.m.;

Matera: altitudine 200 m. s.l.m.

I dati orari necessari per la simulazione dinamica sono stati ottenuti dal metodo proposto da Romagnoni e Schibuola [4] per valutare l'andamento orario di temperatura per diverse località. Questo metodo è basato su dati reali, raccolti in 22 diverse località del territorio italiano, e considera l'influenza della posizione geografica sulla valutazione della temperatura (si osserva uno scostamento pari ad un'ora tra l'andamento della temperatura nel Sud e nel Nord Italia), dal programma Trnsys per valutare l'andamento orario di irradiazione per le diverse orientazioni in una determinata località.

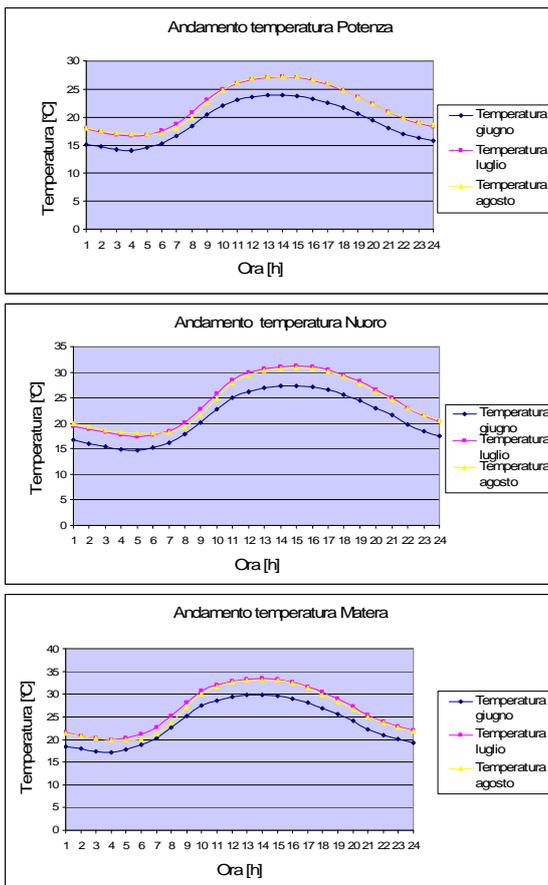


Figura 3: Andamento della temperatura per la città di Potenza, Nuoro e Matera

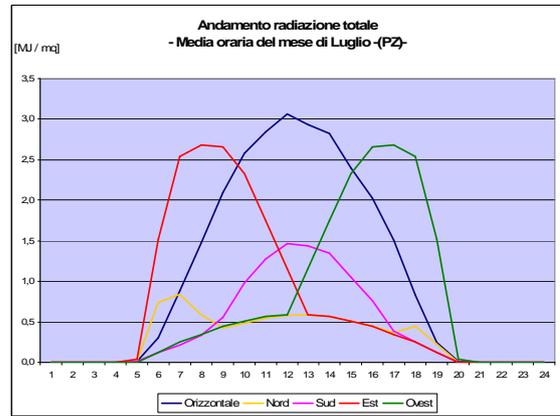


Figura 4: Andamento della radiazione solare ricavata con Trnsys per la città di Potenza in luglio

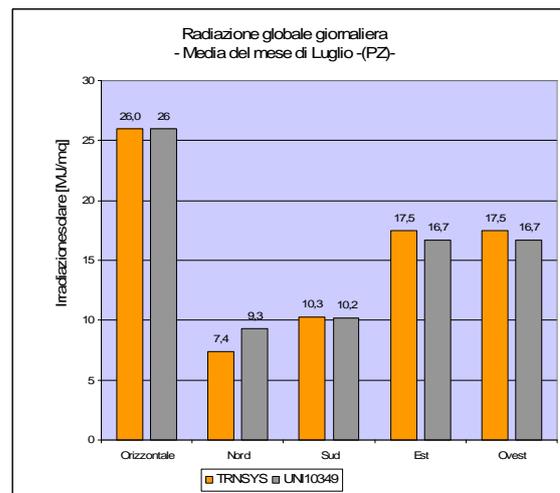


Figura 5: Scostamento mensile della radiazione solare per le diverse orientazioni ricavata con Trnsys rispetto alla norma UNI 10349 per la città di Potenza in luglio

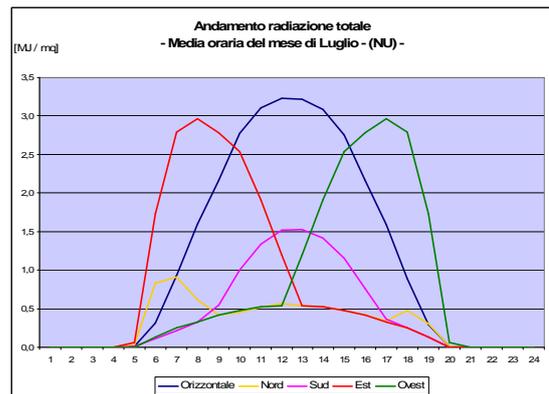


Figura 6: Andamento della radiazione solare ricavata con Trnsys per la città di Nuoro in luglio

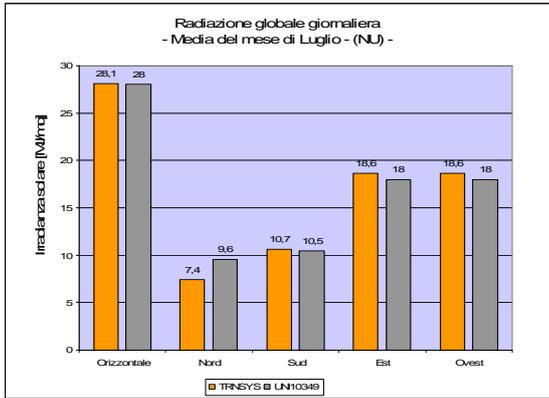


Figura 7: Scostamento mensile della radiazione solare per le diverse orientazioni, ricavata con Trnsys, rispetto alla norma UNI 10349 per la città di Nuoro in luglio

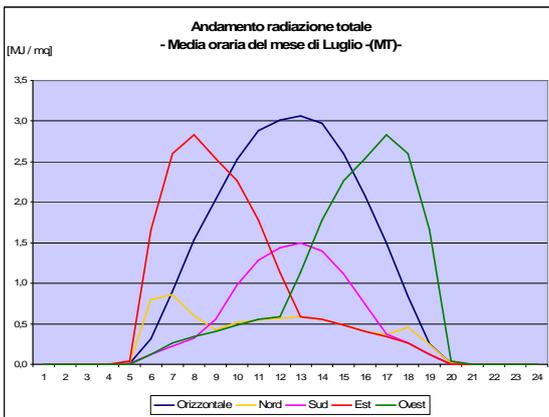


Figura 8: Andamento della radiazione solare ricavata con Trnsys per la città di Nuoro in luglio

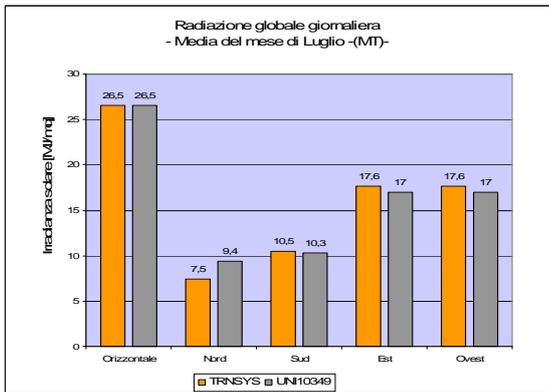


Figura 9: Scostamento mensile della radiazione solare per le diverse orientazioni, ricavata con Trnsys, rispetto alla norma UNI 10349 per la città di Nuoro in luglio

L'andamento della temperatura e della radiazione solare ottenuto per le diverse località è stato infine interpolato mediante funzioni sinusoidali.

L'andamento orario della temperatura assume questa forma:

$$T(t) = A \sin(\omega t - \phi) + B \quad (1)$$

Tabella 1: coefficienti che descrivono l'andamento della temperatura in Luglio

	Potenza		
	Giugno	Luglio	Agosto
A	4.95	5.243	5.141
f	2.355	2.355	2.355
w	$7.27 \cdot 10^{-5}$	$7.27 \cdot 10^{-5}$	$7.27 \cdot 10^{-5}$
B	19.1	21.9	21.91
	Nuoro		
	Giugno	Luglio	Agosto
A	6.336	6.958	6.402
f	2.355	2.355	2.355
w	$7.27 \cdot 10^{-5}$	$7.27 \cdot 10^{-5}$	$7.27 \cdot 10^{-5}$
B	21.1	24.3	24.11
	Matera		
	Giugno	Luglio	Agosto
A	6.336	6.713	6.5475
f	2.355	2.355	2.355
w	$7.27 \cdot 10^{-5}$	$7.27 \cdot 10^{-5}$	$7.27 \cdot 10^{-5}$
B	23.6	26.7	26.21

L'andamento orario della radiazione solare assume questa forma:

$$I(t) = -A \cos(\omega t + \phi) + B \quad (2)$$

Tabella 2: Coefficienti che descrivono l'andamento della radiazione solare per le diverse orientazioni in Luglio

	Potenza				
	Orizzontale	Nord	Sud	Est	Ovest
A	656.307	186.139	259.967	1014.722	1014.72
ϕ	0	0	0	3	-3
ω	0.26167	0.26167	0.26167	0.26167	0.26167
B	169.864	48.1763	67.2843	262.6293	262.629
	Nuoro				
	Orizzontale	Nord	Sud	Est	Ovest
A	709.364	187.13	268.93	1079.659	1079.66
ϕ	0	0	0	3	-3
ω	0.26167	0.26167	0.26167	0.26167	0.26167
B	183.7263	48.4329	69.604	-279.436	279.436
	Matera				
	Orizzontale	Nord	Sud	Est	Ovest
A	669.49	188.133	263.892	1021.603	1021.6
ϕ	0	0	0	3	-3
ω	0.26167	0.26167	0.26167	0.26167	0.26167
B	173.277	48.6926	68.30034	264.4104	-264.41

Potenza

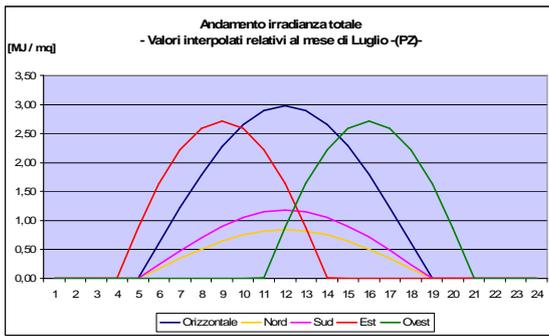


Figura 10: Andamento orario della radiazione solare –valori interpolati- per la città di Potenza in Luglio

Nuoro

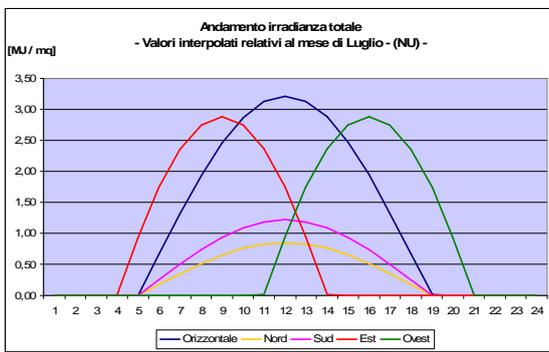


Figura 11: Andamento orario della radiazione solare -valori interpolati- per la città di Nuoro in Luglio

Matera

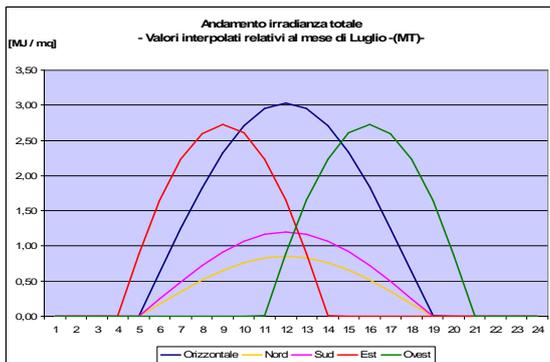


Figura 12: Andamento orario della radiazione solare -valori interpolati- per la città di Matera in Luglio

4 GENERAZIONE DELLA MESH

L'edificio modellato presenta una geometria estremamente semplificata, sia in direzione x che in direzione y, per ridurre i problemi di ordine computazionale dovuti ad un'analisi dinamica come quella effettuata.

Test preliminari mostrano come geometrie complesse (es: coperture inclinate e piccoli elementi) nella successiva discretizzazione del dominio generano un numero di elementi eccessivo, che rallenta la soluzione da parte del programma.

Pertanto nell'analisi sono stati trascurati gli strati sottili

dell'involucro edilizio, come l'intonaco e il pavimento.

E' stata adottata una conduttività equivalente, in accordo con la norma ISO 13370 [7s] e la EN ISO 10077-1 [1s] per poter valutare il trasferimento di calore attraverso il pavimento sopra un'intercapedine d'aria e attraverso le superfici finestrate.

Prima di procedere con la soluzione del problema, il programma richiede la discretizzazione del dominio analizzato.

Questo step risulta particolarmente importante nell'analisi effettuata, perchè la scelta della dimensione degli elementi influenza sia la loro qualità, sia il tempo richiesto per la soluzione.

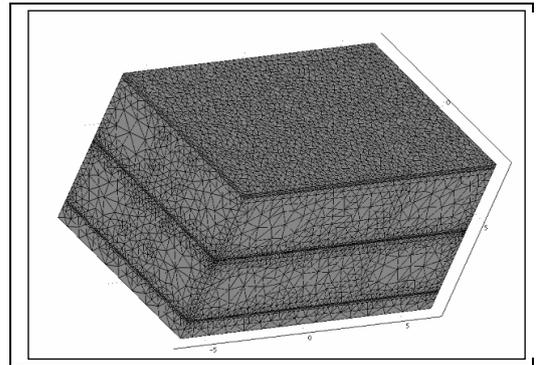


Figura 13: mesh del modello 3D

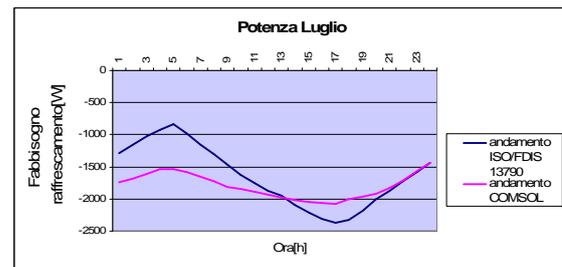
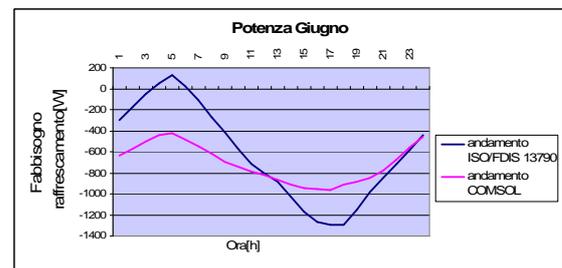
La mesh risultante dell'intero edificio consiste in 320.000 elementi.

5 RISULTATI E DISCUSSIONE

Nell'analisi è stato effettuato un confronto tra i risultati ottenuti in accordo con la norma ISO FDIS 13790:2007 (E) [2s] e quelli ottenuti mediante il programma a elementi finiti.

I grafici in fig.7 mostrano il confronto tra l'andamento orario del fabbisogno di condizionamento calcolato mediante la ISO FDIS 13790 e quello ottenuto con il programma a elementi finiti per le città di Potenza, Nuoro e Matera.

Per la città di Potenza:



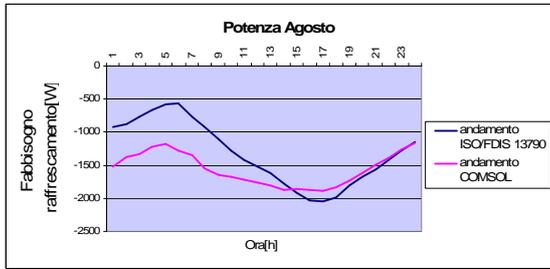


Figura 14: confronto tra l'andamento orario del fabbisogno di condizionamento derivato dalla ISO FDIS 13790 e con quello ottenuto dal programma a Cmsol per la città di Potenza.

Per la città di Nuoro:

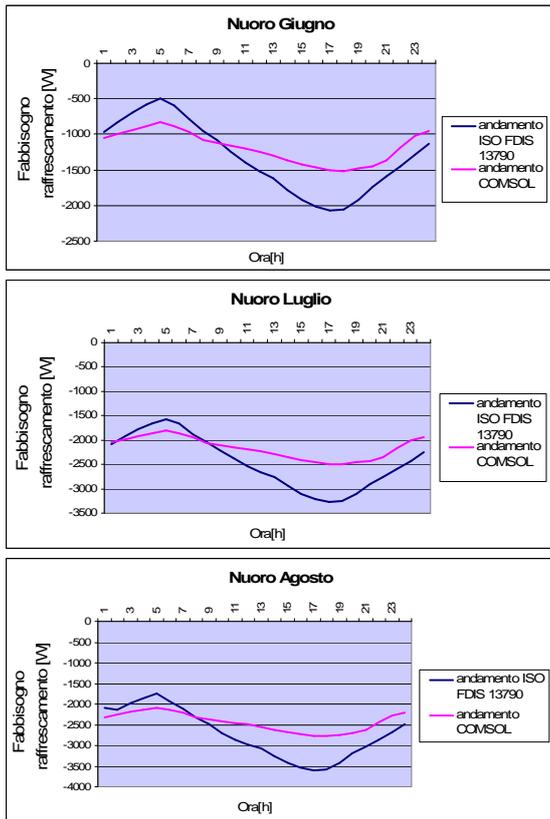


Figura 15: confronto tra l'andamento orario del fabbisogno di condizionamento derivato dalla ISO FDIS 13790 e quello ottenuto dal programma Cmsol per la città di Nuoro.

Per la città di Matera

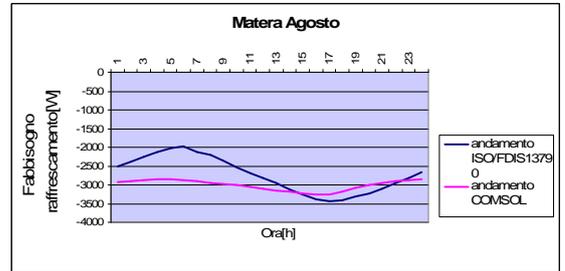
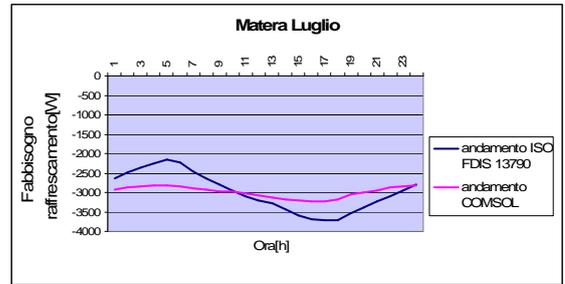
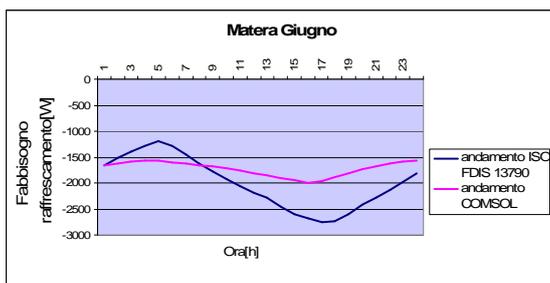
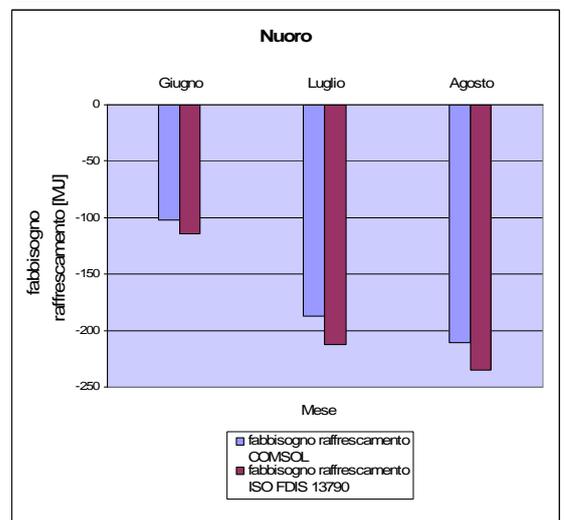
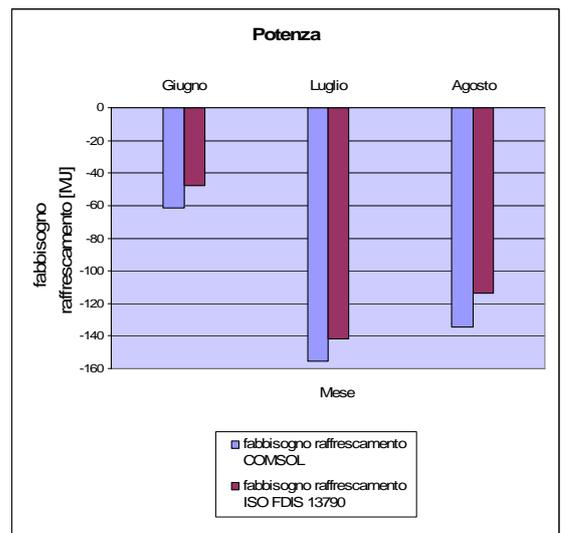


Figura 16: confronto tra l'andamento orario del fabbisogno di condizionamento derivato dalla ISO FDIS 13790 e con quello ottenuto dal programma a Cmsol per la città di Matera.

L'andamento ottenuto con il programma a elementi finiti risulta più appiattito. Lo scostamento tra i due andamenti è maggiore per città situate a quota maggiore sul livello del mare .



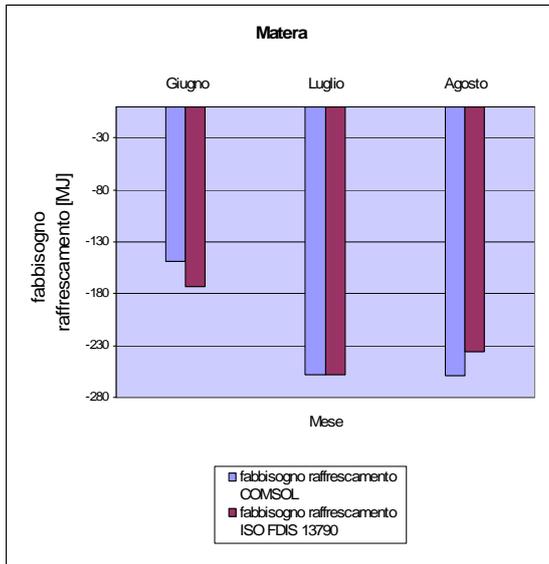


Figura 17: confronto del fabbisogno di condizionamento giornaliero per le città prese in analisi

Queste immagini [figura 17] rilevano chiaramente come la ISO 13790 – metodo orario – sovrastimi il fabbisogno di raffrescamento per città situate a quote basse slm e lo sottostimi per città situate a quote alte slm rispetto al modello a elementi finiti.

Sono stati poi separati i diversi contributi legati alle superfici opache e a quelle finestrata per il fabbisogno di raffrescamento a Nuoro nel mese di Luglio:

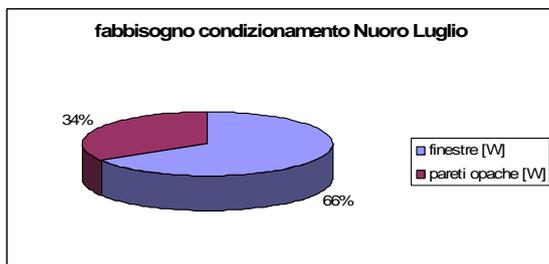


Figura 18: fabbisogno di raffrescamento dovuto alle superfici opache e a quelle trasparenti per la città di Nuoro in Luglio

Il contributo legato alle pareti opache è stato poi in seguito suddiviso tra pareti perimetrali e copertura:

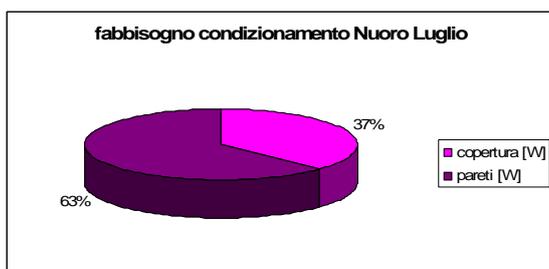


Figure 19: fabbisogno di raffrescamento dovuto alla copertura e alle pareti perimetrali per la città di Nuoro in Luglio

Questi risultati evidenziano l'importanza di utilizzare sistemi di oscuramento per ridurre il fabbisogno di raffrescamento estivo, fatto peraltro richiesto dalla legislazione vigente.

6 CONCLUSIONI

La presente analisi ha evidenziato come l'utilizzo di un modello a elementi finiti possa essere un utile strumento per:

- verificare la qualità degli altri modelli semplificati;
- effettuare l'analisi di sensibilità del sistema edilizio, modificando la geometria e le caratteristiche termo-fisiche dell'involucro edilizio.

Risulta evidente che le indicazioni proposte dalla ISO FDIS 13790 [2n] necessitano di ulteriore messa a punto soprattutto per i climi del sud Europa: un modello di calcolo ad elementi finiti consentirebbe di produrre ulteriori elementi di confronto.

7 RIFERIMENTI

- 1 Ashrae Handbook, Fundamentals, SI Edition (2005).
- 2 Roland W.Lewis, Perumal Nithiarasu, Kankanhalli N. Seetharamu, Fundamentals of the finite Element Method for Heat and Fluid Flow (2004).
- 3 F.P. Incropera and D.P.Dewitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer (1996).
- 4 L.Schibuola, P.Romagnoni, Procedura per la valutazione dell'andamento orario delle temperature nel giorno medio mensile", 52 Congresso nazionale ATI (Como) (1997).
- 5 A. K. Athienitis and M. Santamouris, Thermal Analysis and Design of Passive Solar Buildings (2002).
- 6 programma TRNSYS, www.trnsys.com.
- 7 programma COMSOL MULTIPHYSICS, www.comsol.com.

Norme:

1n EN ISO 10077-1, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica - Metodo semplificato.

2n ISO FDIS 13790:2007 (E), Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling, (28/2/2007).

3n Raccomandazione UNI - CTI (versione 16/5/2003), Prestazione termica degli edifici - Esecuzione della certificazione energetica - Dati relativi all'edificio.

4n UNI EN ISO 6946, Componenti ed elementi per l'edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.

5n UNI EN ISO 14683, Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento.

6n UNI EN ISO 13789, Prestazione termica degli edifici - Coefficiente di perdita di calore per trasmissione - Metodo di calcolo.

7n UNI EN ISO 13370, Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo.

8n UNI 10349, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici.

SUMMARY

In this work a three dimensional finite elements simulation of the thermal behaviour of a building in dynamic conditions has been performed. The analysis, carried out by a commercial software (Comsol Multiphysics®), considers both the influence of climate outside conditions, and geometrical and physical characteristics of the building envelope.

The case study is a building consisting of two floors. The modelled building presents a very simplified and symmetric geometry, because of the computational difficulties due to the number of dof's required for three dimensional formulation in transient regime. For the analysis, it was necessary to use the hourly meteorological data of a monthly average summer day. The results have been compared with calculations performed according to the standard ISO FDIS 13790.