



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

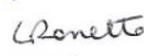
Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova

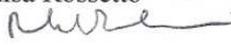
Dipartimento di INGEGNERIA INDUSTRIALE

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN: INGEGNERIA INDUSTRIALE
INDIRIZZO: ENERGETICA
CICLO XXV

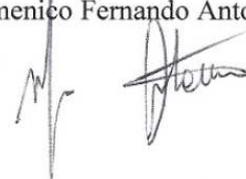
IL METODO DI CALCOLO QUASI-STAZIONARIO DEL FABBISOGNO ENERGETICO DI RAFFRESCAMENTO IN ITALIA

Direttore della Scuola : Ch.mo Prof. Paolo Colombo

Coordinatore d'indirizzo : Ch.ma Prof.ssa Luisa Rossetto 

Supervisore : Ch.mo Prof. Roberto Zecchin 

Dottorando : Domenico Fernando Antonucci



SOMMARIO

Le norme nazionali vigenti per la determinazione della prestazione energetica degli edifici, sono le quattro parti della serie delle UNI TS 11300, che forniscono le procedure di calcolo per la determinazione dell'energia termica e primaria e per l'utilizzo delle energie rinnovabili per la climatizzazione estiva ed invernale, nonché per la produzione di acqua calda sanitaria.

Nella UNI TS 11300-1:2008. "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica per la climatizzazione estiva ed invernale", e nel documento CTI 010200043. *DRAFT*, "Revisione della specifica tecnica UNI/TS 11300-1", del 20/03/2012, il calcolo del fabbisogno di energia termica in modalità di raffrescamento, viene effettuato mediante il metodo mensile quasi-stazionario, in cui il fattore di utilizzazione delle dispersioni, consente di tenere conto degli effetti dinamici.

La letteratura che riguarda la prestazione energetica degli edifici, annovera tra gli ultimi lavori, numerosi scritti inerenti il confronto dei metodi di simulazione dinamica, ed altrettanti elaborati che mirano a verificare le ipotesi fondamentali dei metodi semplificati per la determinazione del fabbisogno di energia termica in modalità di raffrescamento. Nel presente lavoro, una esposizione classica delle teorie e degli studi che si sono avvicinati, si trova nel capitolo IV. Contemporaneamente, ha avuto un notevole impulso la *Building simulation*, di cui si sono evidenziati (capitolo V) i fondamenti e la modellazione energetica dell'ambiente confinato mediante il bilancio sull'aria, di massa e di energia, indicando i termini e le equazioni fondamentali. L' ambito specifico di riferimento è quello delle procedure di validazione, nel senso e nei termini del capitolo VII, del metodo di calcolo mensile del fabbisogno termico per raffrescamento, attraverso il fattore di utilizzazione delle dispersioni. Partendo dall'analisi dei valori calcolati con il *software* adottato nelle linee guida per la certificazione energetica degli edifici sul territorio nazionale, e analizzando in dettaglio la procedura di calcolo delle norme nazionali ed europee ai fini della determinazione del fabbisogno di energia termica per il raffrescamento, nonché il significato e la determinazione dei parametri dinamici, ci si è inseriti nel solco della validazione, andando a valutare le effettive condizioni di temperatura interna, che sono alla base del significato attribuito al fattore di utilizzazione delle dispersioni per il calcolo dell'energia termica, che è necessaria per mantenere all'interno di una zona termica delle prefissate condizioni di temperatura.

La zona termica considerata nelle simulazioni è quella della UNI EN 15265:2008, "Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti mediante metodi dinamici", e le condizioni di prova sono il "Test 1" e il "Test 4" della medesima norma, che è stata adoperata nel procedimento di validazione del metodo mensile della UNI EN ISO 13790 : 2008, "Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento". Le condizioni meteorologiche, sono quelle attualmente disponibili, fornite dal Comitato Termotecnico Italiano nella bozza della UNI 10349 : 2012, " Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici", opportunamente elaborate con il codice *TRNSYS* ed ulteriormente sviluppate per renderle compatibili con il codice scelto per effettuare le simulazioni dinamiche, *Energy Plus*, perché si è rilevata una notevole differenza (capitolo VI) con i dati climatici forniti dal Ministero dell' Energia statunitense (*Department of Energy*, *DOE*), che per l' ITALIA sono sostanzialmente basati sui dati " G. De Giorgio ", con cui, finora, si conducono le simulazioni dinamiche.

I risultati ottenuti, riguardo le condizioni di temperatura interna, non giustificano l'adozione del coefficiente di utilizzazione delle dispersioni, perché il valore di temperatura interna non presenta le

variazioni che porterebbero a calcolare uno scambio termico superiore a quello che realmente si realizza, facendo riferimento al valore della temperatura di regolazione.

Un altro aspetto importante, da tenere in considerazione nelle valutazioni energetiche di cui si tratta, è quello della congruenza dei dati climatici posti a base dei calcoli. A tal fine, utilizzando l'approccio "black box", presente nella UNI EN ISO 13790: 2008, relativamente ai primi due calcoli in esso elencati, si sono confrontati i fabbisogni di energia termica in modalità di raffrescamento, per una zona termica di tipo residenziale, simulata nelle condizioni dei dati climatici "G. De Giorgio", e nelle condizioni, indicate come "Anno tipo CTI", mettendo in evidenza le notevoli differenze riscontrate per ogni località e le particolarità osservate.

I risultati ottenuti studiando la temperatura operativa, nel capitolo VII, hanno ulteriormente confermato l'idea di determinare e confrontare i vari termini che entrano nel bilancio termico mensile, per identificare le criticità e successivamente ricercare i parametri fondamentali su cui poter fare le elaborazioni necessarie per ottenere un adeguato accordo tra i valori di fabbisogno energetico ricavati con un metodo di simulazione dinamica e quelli ricavati con un metodo di calcolo stazionario o semi-stazionario.

A tal proposito, per una zona termica di tipo residenziale, e per undici contesti meteo climatici nazionali, opportunamente scelti per rappresentare le usuali condizioni meteorologiche nazionali, si sono determinati i termini di scambio e i termini che derivano dagli apporti, calcolati con un metodo di simulazione dinamica, e con un metodo quasi stazionario, sul quale però non è stato possibile apportare le correzioni che impongono i nuovi dati climatici, ottenendo, pertanto, risultati di natura orientativa. Questi, comunque, rappresentano il primo passo nel campo della ricerca che si deve compiere, e che nelle simulazioni dinamiche, utilizza, i nuovi valori di temperatura esterna, umidità relativa, irradiazione e velocità del vento che sono stati elaborati per identificare l'anno tipo dei capoluoghi delle province nazionali.

Un ulteriore aspetto importante è quello legato alla determinazione dei fabbisogni energetici per la valutazione degli edifici. Nel capitolo II si riporta il contributo fornito nell'ambito della revisione delle UNI TS 11300-1 e 11300-2, (*draft*) "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione", che ha messo in evidenza una modalità più corretta per la valutazione della quota parte di fabbisogno di energia primaria dovuta alla ventilazione, attraverso una appropriata valutazione del fabbisogno di energia termica.

ABSTRACT

Current national standards for determining the energy performance of buildings, are four parts of UNI TS 11300, which provide the calculation procedures in order to determine the thermal and primary energy and the use of renewable energy for air conditioning in winter and summer , as well as for the production of domestic hot water. In UNI TS 11300-1:2008. Energy performance of buildings - Part 1: Determination of thermal energy demand for air conditioning in winter and summer , and in the document CTI 010200043. DRAFT, Revision of the technical specification UNI / TS 11300-1, of 20/03/2012, the calculation of the thermal energy demand in the cooling operation, is carried out by the monthly quasi-steady state method, in which the utilization factor of the dispersions is used to take into account the dynamic effects.

The literature regarding the energy performance of buildings, counts among recent works, many papers concerning the comparison of methods of dynamic simulation, and many developed that aim to verify the basic assumptions of the simplified methods for the determination of cooling energy demand . In the present work, an exhibition of classic theories and studies is provided in Chapter IV. At the same time, the Building simulation fundamentals are analyzed (Chapter V). The specific field of reference is that of validation procedures, in the sense and in terms of Chapter VII of the calculation method of monthly cooling demand, through the utilization factor of the dispersions. Based on the analysis of the calculated values with the software adopted in the guidelines for the energy certification of buildings throughout the country, and analyzing in detail the procedure for calculating the national and European standards for the determination of the cooling energy demand , and the significance and determination of dynamic parameters, the validation procedure is analyzed, evaluating the internal temperature, on which is based the utilization factor of the dispersions for the calculation of the thermal energy, which is necessary to maintain within a thermal zone of predetermined conditions of temperature. The thermal zone of UNI EN 15265:2008 has been considered, , which was worked in the process of method validation monthly UNI EN ISO 13790: 2008, Calculation of energy use for heating and cooling; moreover the test conditions Test 1 and Test 4 of the same Standard have been applied,. The weather data, provided by the Italian Thermotechnical Committee in the draft UNI 10349: 2012, Climatic data, have been used; furthermore these data have been properly processed with the code TRNSYS to be compatible with the chosen code to perform dynamic simulations, Energy Plus, because there was a significant difference (Chapter VI) with climate data provided by the US Department of Energy (DOE), that are climate data "G. De Giorgio, usually used in dynamic simulations.

The results of obtained internal temperature do not justify the adoption of the coefficient of utilization of dispersions, because the value of internal temperature does not presents the changes that would lead to calculate a greater heat exchange than real case, by referring to the value of the control temperature.

Another important issue is related to the weather data used for building simulation. To this purpose, using the approach of "black box", present in the UNI EN ISO 13790: 2008, in relation to the first two calculations listed therein, the needs of thermal energy in cooling mode were compared. In detail a thermal zone residential has been simulated in conditions of climate data "G. De Giorgio, and then in the conditions, referred to as " type CTI Year ", highlighting the significant differences

for each location and special look. The results obtained by studying the operative temperature, in Chapter VII, have further confirmed the idea to determine and compare the various terms entering the monthly heat balance, to identify problems and then search for the key parameters on which to make the necessary processing to get an agreement between the energy needs by a dynamic simulation method and by a calculation based on a stationary or semi-stationary method. To this purpose, for a thermal zone of residential type, and for eleven national weather climates, suitably chosen to represent the usual national meteorological conditions, the energy demand has been determined the terms of exchange and the terms arising from the contributions, by the dynamic method, and with the quasi-stationary method,. These, however, are the first step in research that must be done, and that in dynamic simulations, using the new values of outdoor temperature, relative humidity, solar radiation and wind speed which have been developed to identify the test reference year. Chapter II reports the study carried out as part of the review of UNI TS 11300-1 and 11300-2 (draft) Determination of primary energy demand and yields for winter heating and production of hot water, for ventilation and lighting. This study involves a more correct way to evaluate the primary energy rate of the ventilation by means of a suitable evaluation of the thermal energy need..

INDICE

INTRODUZIONE

CAPITOLO I. – Il fabbisogno di energia termica dell'edificio

- 1.1. Generalità
 - 1.1.1. Metodi quasi stazionari
 - 1.1.2. Metodi dinamici
- 1.2. I carichi termici
 - 1.2.1. Ipotesi fondamentali per il metodo mensile
 - 1.2.2. Scambio termico totale
 - 1.2.3. Apporti termici totali
- 1.3. Il calcolo del fabbisogno di energia termica con il metodo mensile
- 1.4. Il fattore di utilizzazione degli apporti per il riscaldamento
- 1.5. Il fattore di utilizzazione delle dispersioni per il raffrescamento
- 1.6. Il significato dei fattori di correlazione nel metodo mensile quasi stazionario
 - 1.6.1. Il rapporto di bilancio termico
 - 1.6.2. Spiegazione del fattore di utilizzazione degli apporti per il riscaldamento
 - 1.6.3. Spiegazione del fattore di utilizzazione delle dispersioni per il raffrescamento
 - 1.6.4. La costante di tempo
- 1.7. Dati climatici per il calcolo del fabbisogno di energia dell'edificio

CAPITOLO II. – Il recupero termico di ventilazione nel calcolo del fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento dell'edificio, ai fini della prestazione energetica

- 2.1. Il calcolo del coefficiente globale di scambio termico per ventilazione, secondo il documento n°174
- 2.2. L'influenza del recupero termico di ventilazione, nella determinazione del fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento
 - 2.2.1. Zona termica e caratteristiche
 - 2.2.2. Risultati delle simulazioni
 - 2.2.3. Analisi dei risultati
 - 2.2.4. Conclusioni
 - 2.2.5. Effetti nella stesura della norma
- 2.3. Bibliografia

CAPITOLO III . — **Verifica dei valori del fattore di utilizzazione delle dispersioni per il raffrescamento, con il *software* DOCET per la certificazione energetica degli edifici**

- 3.1. Introduzione
- 3.2. Riferimenti nazionali per la valutazione qualitativa delle caratteristiche dell'involucro edilizio volte a contenere il fabbisogno per la climatizzazione estiva
- 3.3. Caratteristiche di DOCET
- 3.4. Calcolo del fattore di utilizzazione delle dispersioni dell'equazione di bilancio termico mensile per la determinazione dell'energia termica per il raffrescamento
 - 3.4.1. Zona termica e caratteristiche
 - 3.4.2. Risultati
 - 3.4.3. Analisi dei risultati

CAPITOLO IV . — **Le ricerche sul fattore di utilizzazione e sui metodi approssimati.**

- 4.1. Introduzione
- 4.2. La verifica della norma olandese nelle condizioni climatiche italiane
- 4.3. Il fattore di utilizzazione nelle condizioni climatiche italiane
- 4.4. Il significato del fattore di utilizzazione dal principio di sovrapposizione degli effetti (Corrado e Fabrizio 2008)
- 4.5. La caratterizzazione dei parametri numerici adimensionali e della costante di tempo di riferimento nelle condizioni climatiche italiane
- 4.6. Correlazioni numerico-sperimentali per archetipi edilizi
 - 4.6.1. L'equazione del bilancio energetico
 - 4.6.2. Procedura per l'identificazione e il calcolo delle correlazioni
 - 4.6.3. Correlazioni e risultati
- 4.7. I confronti tra i risultati della procedura semplificata con quelli delle simulazioni dinamiche
- 4.8. Analisi di sensitività del fattore di utilizzazione delle dispersioni

CAPITOLO V . — **La *Building Simulation* per l'analisi energetica degli edifici**

- 5.1. Generalità
- 5.2. L'analisi energetica degli edifici
 - 5.2.1. Generalità sui modelli diretti ed indiretti
 - 5.2.2. Elementi comuni e risultati dei modelli classici
- 5.3. La classificazione dei modelli di calcolo diretti
 - 5.3.1. Modellazione degli impianti
- 5.4. I fondamenti della modellazione energetica dell'ambiente confinato mediante il bilancio sull'aria.
 - 5.4.1. Bilancio di massa d'aria
 - 5.4.2. Bilancio di massa di vapore acqueo
 - 5.4.3. Bilancio di energia termica
- 5.5. Derivazione del fattore di utilizzazione da simulazioni dinamiche

CAPITOLO VI . — Confronto dei dati climatici dei mesi estivi per la identificazione delle condizioni al contorno che caratterizzano il regime termico estivo.

- 6.1. Dati climatici per il calcolo del fabbisogno di energia dell'edificio
- 6.2. Creazione dati climatici “ G. De Giorgio”
- 6.3. Dati climatici del Comitato Termotecnico Italiano
 - 6.3.1. Caratteristiche dell'anno tipo per le località considerate
- 6.4. Confronto dei dati orari di temperatura
- 6.5. Costruzione dell'Energy Plus Weather data file dell'anno tipo CTI

CAPITOLO VII . — Analisi delle condizioni di temperatura interna per la validazione del metodo mensile fondato sul fattore di utilizzazione delle dispersioni.

- 7.1. Generalità
- 7.2. Tipologia di validazione
 - 7.2.1. Casi di prova e risultati del CEN TC 89
- 7.3. Zona termica per le simulazioni
- 7.4. Piano delle simulazioni
- 7.5. Modello matematico
- 7.6. Risultati delle simulazioni
- 7.7. Conclusioni

CAPITOLO VIII . — Confronto dei fabbisogni di energia termica, in modalità di raffrescamento, calcolati con il metodo dinamico, ma con diversi dati meteo, per una zona termica di tipo residenziale.

- 8.1. Generalità
- 8.2. I termini dell'approccio “black-box”
 - 8.2.1. Il “caso 1”
- 8.3. Il calcolo con i dati De Giorgio
- 8.4. I risultati, il confronto tra i due fabbisogni mensili di energia termica e le conclusioni

CAPITOLO IX . — Confronto dei fabbisogni di energia termica, in modalità di raffrescamento, per una zona termica di tipo residenziale, calcolati con il metodo dinamico e mensile.

- 9.1. Generalità
- 9.2. Metodo e obiettivi
- 9.3. Piano delle simulazioni
 - 9.3.1. Il calcolo del caso 1
- 9.4. Risultati delle simulazioni e confronto
- 9.5. Conclusioni

CONCLUSIONI

BIBLIOGRAFIA
SITOGRAFIA

INTRODUZIONE

La riduzione del consumo energetico e il maggior utilizzo di energia da fonti rinnovabili rappresentano strumenti importanti per promuovere il risparmio energetico, la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e gli sviluppi tecnologici.

Gli edifici sono responsabili del 40 % del consumo globale di energia nell'Unione Europea. Il settore è in espansione, e ciò è destinato ad aumentarne il consumo energetico. Pertanto, la riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili nel settore dell'edilizia costituiscono misure importanti necessarie per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione Europea e le emissioni di gas a effetto serra. Unitamente ad un maggior utilizzo di energia da fonti rinnovabili, le misure adottate per ridurre il consumo di energia nell'Unione Europea consentirebbero di conformarsi al protocollo di Kyoto allegato alla convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) e di rispettare sia l'impegno a lungo termine di mantenere l'aumento della temperatura globale al di sotto di 2 °C, sia l'impegno di ridurre entro il 2020 le emissioni globali di gas a effetto serra di almeno il 20 % al di sotto dei livelli del 1990 e del 30 % qualora venga raggiunto un accordo internazionale.

La direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia, è stata modificata dalla Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio (19 maggio 2010), sulla prestazione energetica nell'edilizia, che promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici all'interno dell'Unione, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi.

In essa si parte dal presupposto che la prestazione energetica degli edifici deve essere calcolata in base ad una metodologia, che può essere differenziata a livello nazionale e regionale, comprendendo, oltre alle caratteristiche termiche, altri fattori che svolgono un ruolo di crescente importanza - il tipo di impianto di riscaldamento e condizionamento, l'impiego di energia da fonti rinnovabili, gli elementi passivi di riscaldamento e rinfrescamento, i sistemi di ombreggiamento, la qualità dell'aria interna, un'adeguata illuminazione naturale e le caratteristiche architettoniche dell'edificio - e si indica un : << quadro comune generale di una metodologia per il calcolo della prestazione energetica integrata degli edifici e delle unità immobiliari >>, relativo alla prestazione energetica annuale dell' edificio che tenga conto delle norme europee vigenti.

La Direttiva presenta diverse novità, a partire dalle definizioni, che contemplano quella di «edificio a energia quasi zero», cioè di un edificio ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente ad un suo allegato (All. I), il cui fabbisogno energetico, molto basso o quasi nullo, dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze.

L'allegato I della Direttiva, riporta il :«Quadro comune generale per il calcolo della prestazione energetica degli edifici >>, in cui si specifica che la prestazione energetica dell'edificio deve essere determinata sulla base della quantità di energia, reale o calcolata, consumata annualmente per soddisfare le varie esigenze legate ad un uso normale dell'edificio e corrispondere al fabbisogno energetico per il riscaldamento e il rinfrescamento (energia necessaria per evitare un surriscaldamento) che consente di mantenere la temperatura desiderata dell'edificio e coprire il fabbisogno di acqua calda nel settore domestico.

Si rimarca che la prestazione energetica di un edificio deve essere espressa in modo chiaro e comprendere anche un indicatore di prestazione energetica e un indicatore numerico del consumo di energia primaria, basato su fattori di energia primaria per vettore energetico, eventualmente basati su medie ponderate annuali nazionali o regionali o un valore specifico per la produzione in loco. Inoltre , si mette in evidenza che la metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici deve tener conto delle norme europee ed essere coerente con la pertinente legislazione dell'Unione, compresa la direttiva 2009/28/CE.

Il quadro comune, indica gli aspetti che la determinazione della metodologia deve necessariamente comprendere:

a) le seguenti caratteristiche termiche effettive dell'edificio, comprese le sue divisioni interne:

capacità termica;

isolamento;

riscaldamento passivo;

elementi di rinfrescamento;

ponti termici;

b) impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda, comprese le relative caratteristiche di isolamento;

c) impianti di condizionamento d'aria;

d) ventilazione naturale e meccanica, compresa eventualmente l'ermeticità all'aria;

e) impianto di illuminazione incorporato (principalmente per il settore non residenziale);

f) progettazione, posizione e orientamento dell'edificio, compreso il clima esterno;

g) sistemi solari passivi e protezione solare;

h) condizioni climatiche interne, incluso il clima degli ambienti interni progettato;

i) carichi interni.

Quando è opportuno, il calcolo deve tener conto dei vantaggi insiti nelle seguenti opzioni:

condizioni locali di esposizione al sole, sistemi solari attivi ed altri impianti di generazione di calore ed elettricità a partire da energia da fonti rinnovabili;

sistemi di cogenerazione dell'elettricità;

impianti di teleriscaldamento e telerinfrescamento urbano o collettivo;

illuminazione naturale.

Infine, il << Quadro metodologico comparativo ai fini dell'individuazione dei livelli ottimali in funzione dei costi dei requisiti di prestazione energetica per edifici ed elementi edilizi >>

consente di determinare la prestazione energetica di edifici ed elementi edilizi e gli aspetti economici delle misure legate alla prestazione energetica, e di collegarli al fine di individuare il livello ottimale in funzione dei costi. Infatti specifica le regole per comparare le misure di efficienza

energetica, le misure che incorporano l'energia da fonti rinnovabili e i pacchetti e le varianti di tali misure, sulla base della prestazione energetica primaria e del costo assegnato alla loro attuazione. Stabilisce anche le modalità di applicazione di tali norme a determinati edifici di riferimento al fine di identificare livelli ottimali in funzione dei costi dei requisiti minimi di prestazione energetica.

Allo stato attuale, in Italia è vigente il D.Lgs. 3 marzo 2011, n. 28 Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE, entrato in vigore il 29/03/2011, che all' art. 11 (Obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici di nuova costruzione e negli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni rilevanti) prescrive che i progetti di edifici di nuova costruzione ed i progetti di ristrutturazioni rilevanti degli edifici esistenti prevedano l'utilizzo di fonti rinnovabili per la copertura dei consumi di calore, di elettricità e per il raffrescamento. secondo i principi minimi di integrazione e le decorrenze stabilite nell'allegato 3 del medesimo Decreto. In particolare, per edifici nuovi o sottoposti a ristrutturazioni rilevanti, gli impianti di produzione di energia termica devono essere progettati e realizzati in modo da garantire il contemporaneo rispetto della copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e delle seguenti percentuali della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento:

- a) il 20 per cento sino al 31 dicembre 2013;
- b) il 35 per cento quando la richiesta del titolo edilizio è presentata sino al 31 dicembre 2016;
- c) il 50 per cento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è rilasciato dal 1° gennaio 2017.

Sulle problematiche inerenti le prescrizioni del Decreto è disponibile un documento AiCARR (Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione) : Posizione di AiCARR sul D.Lgs. 28/11 per gli aspetti riguardanti le rinnovabili termiche, in cui sono presentati e analizzati criticamente i problemi e le difficoltà in cui il progettista potrebbe incorrere in alcuni casi, se adottasse un'interpretazione non corretta del Decreto.

Per quanto riguarda i metodi di calcolo, in un passato che possiamo definire prossimo, essi erano mirati al dimensionamento degli impianti, per esempio, con riferimento agli impianti di climatizzazione, i metodi di calcolo da utilizzare per il dimensionamento dei sistemi e dei componenti erano basati sul calcolo in regime stazionario riferito alla convenzionale "temperatura esterna di progetto" per il riscaldamento e sul calcolo del profilo giornaliero del carico termico nel giorno estivo più critico per il condizionamento dell'aria (metodo Carrier), non si aveva a disposizione alcuno strumento di calcolo utile per simulare il comportamento dei sistemi impiantistici al di fuori delle condizioni di progetto, cioè in condizioni di carico termico di picco (misurato in unità di potenza, watt).

Il fabbisogno termicoenergetico dell'edificio (misurato in unità di energia, joule), nel caso di climatizzazione invernale veniva stimato con il metodo dei gradi giorno, tenendo grossolanamente conto di apporti gratuiti e inerzia termica della costruzione in caso di funzionamento intermittente dell'impianto. Il fabbisogno per la climatizzazione estiva era invece del tutto ignorato, in quanto non si era in grado di calcolarlo.

Con l'avvento della Legge 10 del 1991 e del successivo Decreto attuativo D.P.R. 412 del 1993 venne radicalmente modificato, almeno per quanto riguarda il tema del riscaldamento, l'approccio progettuale originariamente proposto dalla Legge 373 del 1976, divenne necessario assicurarsi che la potenza termica installata risultasse inferiore al valore massimo ammissibile, inoltre divenne necessario garantire che il fabbisogno termicoenergetico convenzionale dell'edificio non superasse determinati valori limite in relazione alla zona climatica e al fattore di forma (S/V) dell'edificio. Con la Legge 10/91 ci si avviò al raggiungimento di un maggiore livello di consapevolezza da parte dei progettisti e degli studiosi del settore, che non dovevano soltanto considerare e contenere le dispersioni termiche per trasmissione e per ventilazione dell'edificio, ma dovevano radicalmente modificare la concezione del progetto dell'edificio, inteso secondo la definizione della UNI/TS

11300_ revisionata, (Sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno), vissute fino ad allora come fasi distinte destinate ad accavallarsi e a mettersi in relazione solo nella fase di realizzazione dell'opera. La struttura completa del metodo di calcolo era presente nella norma UNI 10344 "Riscaldamento degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia" (poi seguita dalla norma UNI 10379 "Riscaldamento degli edifici. Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato. Metodo di calcolo" del 1993 e nella UNI EN 832 "Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento. Edifici residenziali" del 2001), che per prima fornì un vero e proprio metodo di calcolo della quantità di energia richiesta per il riscaldamento durante la stagione invernale, introducendo la valutazione analitica degli apporti termici gratuiti, solari o endogeni, e definendo un fabbisogno energetico normalizzato (FEN).

Il fatto di avere a disposizione una metodologia che consentiva il calcolo del fabbisogno termoenergetico di un edificio sollecitò gli studiosi ed i progettisti più sensibili a confrontare le prestazioni energetiche corrispondenti a differenti alternative progettuali, edilizie e impiantistiche, a stimare l'effetto di possibili misure di risparmio energetico su un edificio esistente o a ricercare soluzioni innovative per soddisfare i requisiti minimi di prestazione energetica espressi da leggi, regolamenti e norme tecniche. Si passò così gradualmente da un concetto di "progettazione termotecnica" ad un concetto di "progettazione energetica".

Il D.Lgs. 192 del 2005, in attuazione della Direttiva Europea 2002/91/CE, ed i successivi: D.Lgs. 311 del 2006 e D.P.R. 59 del 2009, ad oggi vigenti, confermano il riferimento cogente al fabbisogno energetico dell'edificio piuttosto che alla potenza installata, e definiscono indici di prestazione energetica EP espressi sotto forma di energia primaria e nell'unità di misura kWh/(m²anno), riferiti non solo alla climatizzazione invernale, ma anche alla climatizzazione estiva, alla produzione di acqua calda per usi sanitari e all'illuminazione artificiale.

L' art. 3.del D.P.R. 59 del 2009(Metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici e degli impianti) stabilisce che per le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici si adottino le norme tecniche nazionali, definite nel contesto delle norme EN a supporto della direttiva 2002/91/CE, della serie UNI/TS 11300 e loro successive modificazioni.

Attualmente è allo studio un decreto che sostituirà il D.P.R. 59 del 2009, introducendo i contenuti della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio (19 maggio 2010).

CAPITOLO I

IL FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA DELL'EDIFICIO

1.1. *Generalità*

I fabbisogni di energia termica dell'edificio per il riscaldamento e il raffrescamento sensibili, sono calcolati sulla base del bilancio termico delle zone in cui è suddiviso, quando non sia considerato come una singola zona. Il bilancio di energia termica è incorporato nel bilancio termico o di energia a livello dell'edificio, che rappresenta l'oggetto della ricerca, e nel bilancio di energia a livello dell'impianto, che in questo lavoro non viene trattato. Tuttavia, i fabbisogni di energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento sono i dati di ingresso nel bilancio energetico degli impianti di riscaldamento e di raffrescamento e degli impianti di ventilazione.

I metodi di calcolo presenti nella normativa di settore, sono fondamentalmente di due tipi:

- metodi quasi stazionari, con il calcolo del bilancio termico su un tempo sufficientemente lungo (tipicamente, un mese o un'intera stagione), che consente di tener conto degli effetti dinamici attraverso un fattore di utilizzazione degli apporti e/o delle dispersioni determinato empiricamente;
- metodi dinamici, con il calcolo del bilancio termico con passi di tempo brevi (tipicamente un'ora) che tengono conto del calore accumulato, e rilasciato, dalla massa dell'edificio.

1.1.1. *Metodi quasi stazionari*

Nei metodi quasi stazionari, gli effetti dinamici sono tenuti in considerazione mediante l'introduzione di fattori di correlazione.

Per il riscaldamento, un fattore di utilizzazione degli apporti termici interni e solari tiene in considerazione il fatto che solo parte degli apporti termici interni e solari è utilizzata per ridurre il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, poiché la restante parte porta ad un incremento indesiderato della temperatura interna al di sopra del valore di regolazione.

Per il raffrescamento, ci sono due modi differenti per rappresentare lo stesso metodo:

- a) fattore di utilizzazione delle dispersioni: un fattore di utilizzazione dello scambio termico per trasmissione e ventilazione tiene in considerazione il fatto che solo parte dello scambio termico per trasmissione e ventilazione è utilizzata per ridurre i fabbisogni di raffrescamento, in quanto gli scambi termici per trasmissione e ventilazione "non utilizzati" si manifestano durante periodi o intervalli (per esempio, nella notte) quando essi non hanno alcun effetto sui fabbisogni di raffrescamento che si manifestano durante altri periodi o momenti (per esempio di giorno);
- b) fattore di utilizzazione degli apporti (simile a quello per il riscaldamento): un fattore di

utilizzo degli apporti termici interni e solari tiene in considerazione il fatto che solo parte degli apporti termici interni e solari è compensata dallo scambio termico per trasmissione e ventilazione, assumendo un determinato valore massimo della temperatura interna. La parte restante ("non utilizzata") porta a fabbisogni di raffrescamento per evitare un aumento indesiderato della temperatura interna al di sopra del valore di regolazione.

In entrambi i casi, l'effetto dell'inerzia termica per funzionamento intermittente o spegnimento è tenuto in considerazione separatamente.

1.1.2. *Metodi dinamici*

Nei metodi dinamici, un eccesso istantaneo di calore durante il periodo di riscaldamento produce l'effetto di un aumento della temperatura interna al di sopra del valore di regolazione, con conseguente rimozione del calore in eccesso mediante extra trasmissione, ventilazione e accumulo, quando non opera un sistema di raffrescamento meccanico. Inoltre, un termostato di attenuazione o lo spegnimento potrebbero non portare direttamente ad una diminuzione della temperatura interna, a causa dell'inerzia dell'edificio (calore rilasciato dalla massa dell'edificio). Una situazione simile si verifica per il raffrescamento.

Un metodo dinamico realizza il modello della trasmissione termica, del flusso termico per ventilazione, dell'accumulo termico e degli apporti termici interni e solari all'interno della zona dell'edificio. Numerosi metodi rendono possibile questo, crescendo in complessità da metodi semplici a molto dettagliati, come sarà trattato nel capitolo relativo alla *Building Simulation*.

La norma UNI EN 15265:2008 *Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods – General criteria and validation procedures*, definisce una serie di assunti, requisiti e prove di validazione per le procedure utilizzate per il calcolo del fabbisogno annuale di energia per il riscaldamento ed il raffrescamento di un ambiente in un edificio, dove i calcoli sono eseguiti su base oraria o con un intervallo di tempo inferiore. Lo scopo della norma è di validare i metodi di calcolo utilizzati per valutare la prestazione energetica di ogni ambiente di un edificio, nonché fornire dati sull'energia che siano utilizzati come interfaccia con l'analisi della prestazione dei sistemi stabilmente presenti al suo interno.

1.2. *I carichi termici*

Il calcolo dei carichi termici ha un ruolo fondamentale, qualunque sia il campo di applicazione, che può essere distinto in due ambiti generali, quello della progettazione e quello della verifica.

Il calcolo di progetto (o di dimensionamento) è sempre riferito a condizioni di picco ed è effettuato per il dimensionamento dei componenti dell'edificio e degli impianti di qualunque tipo (riscaldamento; raffrescamento; climatizzazione).

Il calcolo di verifica può, invece, essere eseguito per due motivi:

- valutare il comportamento termo-igrometrico dell'edificio come sistema passivo (ambienti non climatizzati) o nelle reali condizioni di funzionamento dell'impianto di climatizzazione;
- determinare il fabbisogno annuo per climatizzazione, avendo fissato le condizioni termoigrometriche dell'ambiente interno.

Il calcolo del fabbisogno energetico può, a sua volta, essere finalizzato a confrontare le prestazioni termo-energetiche di varie alternative progettuali edilizie ed impiantistiche, nel qual caso si parla di ottimizzazione progettuale; stimare l'effetto di possibili misure di risparmio energetico su un edificio esistente, siamo allora nella diagnosi energetica; valutare il rispetto di requisiti di prestazione energetica espressi da leggi, regolamenti e norme tecniche, cioè verifiche di legge.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, il calcolo del fabbisogno di energia è sempre riferito a condizioni medie (o caratteristiche), mentre la verifica del comportamento dell' edificio come sistema passivo può essere riferita a condizioni qualsiasi (generalmente a condizioni di picco se si vuole valutare il massimo livello di discomfort raggiunto in ambiente).

La normativa tecnica di settore, pur basando il calcolo dei carichi termici (sensibili e latenti) e dei fabbisogni di energia, nonché della temperatura interna o dell'umidità in assenza di impianto, sulla risoluzione delle equazioni di bilancio di energia e di massa dell'ambiente costruito, fornisce due indicazioni alternative:

- alcune norme non impongono uno specifico metodo di calcolo, ma definiscono i criteri generali, le condizioni al contorno e le procedure di validazione cui devono sottostare i metodi proposti, con riferimento rispettivamente al calcolo di temperatura estiva (UNI EN ISO 13791, UNI EN ISO 13792), del carico termico estivo (UNI EN 15255) e del fabbisogno di energia (UNI EN 15265);

- altre norme (o alle volte appendici informative delle norme del primo gruppo) descrivono uno o più metodi semplificati rispettivamente per il calcolo della temperatura estiva (UNI EN ISO 13792 all. A, UNI 10375), del carico termico invernale di progetto (UNI EN 12831), del carico termico estivo (UNI EN 15255 all. A) e del fabbisogno di energia per la climatizzazione (UNI EN ISO 13790, UNI/TS 11300).

I carichi termici dei metodi quasi stazionari, per la determinazione del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento o per il raffrescamento, cioè del calore che deve essere fornito, o sottratto, ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo di tempo, sono espressi dal termine di scambio termico totale, per entrambe le modalità di climatizzazione (riscaldamento e raffrescamento) e dal termine che fornisce gli apporti termici totali.

1.2.1. *Ipotesi fondamentali per il metodo mensile*

Si riportano le ipotesi fondamentali di base per il metodo mensile quasi-stazionario:

- l'ambiente interno è uno spazio chiuso, all'interno del quale la temperatura dell'aria è uniforme, delimitato da elementi di chiusura, la cui superficie è misurata sul lato interno dell'ambiente;
- le proprietà termo-fisiche dei materiali che costituiscono gli elementi di chiusura sono indipendenti dal tempo, le intercapedini d'aria all'interno degli elementi d'involucro sono considerate strati d'aria limitati da due superfici isoterme, la conduzione termica attraverso ciascun elemento di chiusura è mono-dimensionale, le superfici delimitanti ciascun elemento di chiusura sono isoterme;
- la conduzione termica verso il terreno attraverso gli elementi edilizi è trattata attraverso un flusso termico mono-dimensionale equivalente (secondo la UNI EN ISO 13370);
- i ponti termici sono trattati attraverso calcoli in condizioni stazionarie, trascurando eventuali fenomeni di accumulo termico;
- gli scambi termici convettivi e radianti ad alta lunghezza d'onda sulle superfici interne sono considerati separatamente;
- i coefficienti di scambio termico convettivo sulla superficie esterna dipendono dalla velocità e dalla direzione del vento, sulla superficie interna dipendono dalla direzione del flusso termico;
- i coefficienti di scambio termico radiativo sulla superficie esterna sono indipendenti dal tempo;
- la distribuzione spaziale della radiazione solare all'interno dell'ambiente è indipendente dal tempo;
- la distribuzione spaziale del flusso termico radiante dovuto alle sorgenti interne è uniforme;
- la temperatura radiante dell'ambiente esterno (esclusa la volta celeste) è pari alla temperatura dell'aria esterna;

- la temperatura media radiante interna è calcolata come la media pesata sulle aree delle temperature superficiali interne di ciascun componente;
- la temperatura operante interna è la media aritmetica della temperatura dell'aria interna e della temperatura media radiante.

1.2.2. Scambio termico totale

Per ciascuna zona dell'edificio e ciascun passo di calcolo (mese o stagione), lo scambio termico totale, Q_{ht} , è dato dall'equazione (1):

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (I.1)$$

dove, per ciascuna zona dell'edificio e per ciascun passo di calcolo:

Q_{tr} è lo scambio termico totale per trasmissione, espresso in megajoule;

Q_{ve} è lo scambio termico totale per ventilazione, espresso in megajoule.

Gli scambi termici si calcolano come segue :

$$Q_{H/C,tr} = H_{tr,adj} (\theta_{int,set,H/C} - \theta_e) t + \{ \sum_k F_{sk,k} \Phi_{r,mn,k} \} t \quad (I.2)$$

$$Q_{H/C,ve} = H_{ve,adj} (\theta_{int,set,H/C} - \theta_e) t \quad (I.3)$$

dove $H_{tr,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno;

$H_{ve,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno;

$\theta_{int,set,H/C}$ è la temperatura interna di regolazione per il riscaldamento/raffrescamento della zona considerata;

θ_e è la temperatura media mensile dell'ambiente esterno;

$F_{sk,k}$ è il fattore di forma tra il componente edilizio k-esimo e la volta celeste;

$\Phi_{r,mn,k}$ è l'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k-esimo, mediato sul tempo; si vuole fare presente che nella norma UNI EN ISO 13790: 2008 Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento, tale termine non compare nel scambio per trasmissione, ma viene sottratto al flusso termico da apporto solare attraverso l'elemento edilizio, cioè nell'equazione (10);

t è la durata del mese considerato.

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione si ricava come:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A \quad (I.4)$$

$$H_x = b_{tr,x} (\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j) \quad (I.5)$$

dove H_D , H_g , H_U , H_A sono i coefficienti di scambio termico per trasmissione, direttamente verso l'ambiente esterno (D), verso il terreno (g), attraverso gli ambienti non climatizzati (U), verso altre zone interne o meno all'edificio climatizzate a temperatura diversa (A); $b_{tr,x}$ è il fattore di correzione dello scambio termico per trasmissione.

Nella tabella I .1 si riportano i riferimenti normativi per la determinazione dei parametri degli scambi termici per trasmissione.

Il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione è dato da:

$$H_{ve,adj} = \rho_a c_a \{ \sum_k b_{ve,k} f_{ve,t,k} q_{ve,k} \} \quad (I.6)$$

dove

$\rho_a c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria;

$q_{ve,k}$ è la portata volumica del flusso d'aria k-esimo;

$b_{ve,k}$ è il fattore di correzione della temperatura per il flusso d'aria k-esimo ($b_{ve,k} \neq 1$ nel caso di pre-riscaldamento, preraffrescamento o di recupero termico sulla ventilazione);

$f_{ve,t,k}$ è la frazione di tempo in cui si verifica il flusso d'aria k-esimo.

1.2.3. Apporti termici totali

Gli apporti termici totali, Q_{gn} , della zona dell'edificio per un dato passo di calcolo, sono calcolati utilizzando l'equazione (7):

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (I.7)$$

dove, per ciascuna zona dell'edificio e per ciascun passo di calcolo :

Q_{int} è la somma degli apporti termici interni su un dato periodo, espressi in megajoule;

Q_{sol} è la somma degli apporti termici solari su un dato periodo, espressi in megajoule.

Tabella I.1. *Riferimenti normativi per i parametri di scambio termico.*

Simbolo e unità di misura	Parametro	Norma tecnica
R_s [(m ² K)/W]	Resistenza superficiale	UNI EN ISO 6946
λ [W/ (mK)]	Conduktività termica -determinazione di valori dichiarati e di progetto -valori tabulati -terreno	UNI EN ISO 10456 UNI 10351 UNI EN ISO 13370
R [(m ² K)/W]	Resistenza termica -strati non omogenei -cavità d'aria (ventilate / non ventilate) -cavità d'aria all'interno dei vetri	UNI EN ISO 6946 UNI EN ISO 6946 UNI EN 673
U [W/ (m ² K)]	Trasmittanza termica -componenti opachi -finestre porte e chiusure oscuranti: a) vetri b)telai (metodo numerico) -facciate continue -elementi a contatto con il terreno	UNI EN ISO 6946 UNI EN ISO 10077-1 UNI EN 673 UNI EN ISO 10077-2 UNI EN 13947 UNI EN ISO 13370
f [-]	Fattore di attenuazione	UNI EN ISO 13786
Δt_f [h]	Ritardo temporale(sfasamento)	UNI EN ISO 13786
Y_i [W/ (m ² K)]	Ammettenza termica interna	UNI EN ISO 13786
κ_i [kJ/ (m ² K)]	Capacità termica areica interna	UNI EN ISO 13786
Ψ [W/ (mK)]	Trasmittanza termica lineare -calcolo dettagliato -calcolo semplificato	UNI EN ISO 10211 UNI EN ISO 14683
χ [W/K]	Trasmittanza termica puntuale	UNI EN ISO 10211

Gli apporti termici si calcolano con le seguenti formule:

$$Q_{int} = \{ \sum_k \Phi_{int,mn,k} \} t + \{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \Phi_{int,mn,u,l} \} t \quad (I.8)$$

$$Q_{sol} = \{ \sum_k \Phi_{sol,mn,k} \} t + \{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \Phi_{sol,mn,u,l} \} t \quad (I.9)$$

dove le due sommatorie si riferiscono rispettivamente ai flussi, tutti mediati sul tempo, entranti e/o generati nella zona climatizzatae negli ambienti non climatizzati,ed inoltre $b_{tr,l}$ è il fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato avente la sorgente di calore interna l-esima oppure il flusso termico l-esimo di origine solare; $\Phi_{int,mn,k}$ è il flusso termico prodotto dalla k-esima sorgente di calore interna; $\Phi_{int,mn,u,l}$ è il flusso termico prodotto dalla l-esima sorgente di calore interna nell'ambiente non climatizzato adiacente u;

$\Phi_{sol,mn,k}$ è il flusso termico di origine solare nell'ambiente climatizzato attraverso la k-esima superficie d'involucro; $\Phi_{sol,mn,u,l}$ è il flusso termico l-esimo di origine solare nell'ambiente u.

Il flusso $\Phi_{sol,mn,k}$ si calcola come:

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,mn,k} A_{sol,mn,k} I_{sol,mn,k} \quad (I.10)$$

dove

$F_{sh,ob,mn,k}$ è il valore medio mensile del fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni relativo all'area di captazione solare effettiva;

$A_{sol,mn,k}$ è l'area di captazione solare effettiva media mensile;

$I_{sol,mn,k}$ è l'irradianza solare media mensile.

L'area di captazione solare effettiva del componente vetrato si ricava come:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} g_{gl} (1 - F_F) A_{w,p} \quad (I.11)$$

dove $F_{sh,gl}$ è il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili;
 g_{gl} è la trasmittanza di energia solare totale della parte trasparente del componente; F_F è la frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del

componente finestrato; $A_{w,p}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra).

La trasmittanza di energia solare totale, g_{gl} , è ricavata dal prodotto della trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale, $g_{gl,n}$, per un fattore di esposizione, assunto convenzionalmente pari a 0,9. Sono reperibili in letteratura valori di $g_{gl,n}$ per diversi tipi di vetro. L'area di captazione solare effettiva di una parete opaca si ricava come:

$$A_{sol} = \alpha_{sol,c} R_{se} U_c A_c \quad (I.12)$$

dove $\alpha_{sol,c}$ è il fattore di assorbimento solare del componente opaco; R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna del componente; U_c è la trasmittanza termica del componente; A_c è l'area proiettata del componente.

1.3. Il calcolo del fabbisogno di energia termica con il metodo mensile

Si vuole fare presente che saranno trattati entrambe i regimi di climatizzazione, perché il Capitolo secondo e il Capitolo terzo, riguardano sia il servizio di riscaldamento che quello di raffrescamento. Per ciascuna zona dell'edificio e ciascun passo di calcolo, il mese, il fabbisogno di energia termica dell'edificio per il riscaldamento ambiente, $Q_{H,nd}$, in condizioni di riscaldamento continuo, è calcolato come indicato dall'equazione (13):

$$Q_{H,nd} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} (Q_{int} + Q_{sol}) \quad (I.13)$$

Per ciascuna zona dell'edificio e ciascun passo di calcolo, il mese, il fabbisogno di energia termica dell'edificio per il raffrescamento ambiente, $Q_{C,nd}$, in condizioni di raffrescamento continuo, è calcolato come indicato dall'equazione (14):

$$Q_{C,nd} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} (Q_{C,tr} + Q_{C,ve}) \quad (I.14)$$

Pertanto, per ogni mese, e per ogni zona, si devono calcolare il termine di scambio, gli apporti totali ed i fattori di utilizzazione degli apporti $\eta_{H,gn}$ e delle dispersioni $\eta_{C,ls}$.

Il fabbisogno annuale è dato dalla somma dei valori mensili per la UNI EN ISO 13790 2008. Prestazione energetica degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.

La UNI TS 11300-1: 2008. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica per la climatizzazione estiva ed invernale, considera invece le frazioni di mese che derivano dai limiti di esercizio degli impianti termici, fissati dalla legislazione nazionale.

1.4. Il fattore di utilizzazione degli apporti per il riscaldamento

Definito il rapporto di bilancio termico, γ , come il rapporto tra gli apporti termici mensili e lo scambio termico mensile,

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (I.15)$$

il fattore di utilizzazione degli apporti per il riscaldamento, é calcolato con diverse formule, secondo il valore di γ_H :

1) se $\gamma_H > 0$ e $\gamma_H \neq 1$,

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}} \quad (I.16)$$

2) se $\gamma_H = 1$, allora

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad (I.17)$$

3) se $\gamma_H < 0$,

$$\eta_{H,gn} = 1/\gamma_H \quad (I.18)$$

a_H è un parametro numerico adimensionale che dipende dalla costante di tempo, τ , definito dall'equazione ,

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (I.19)$$

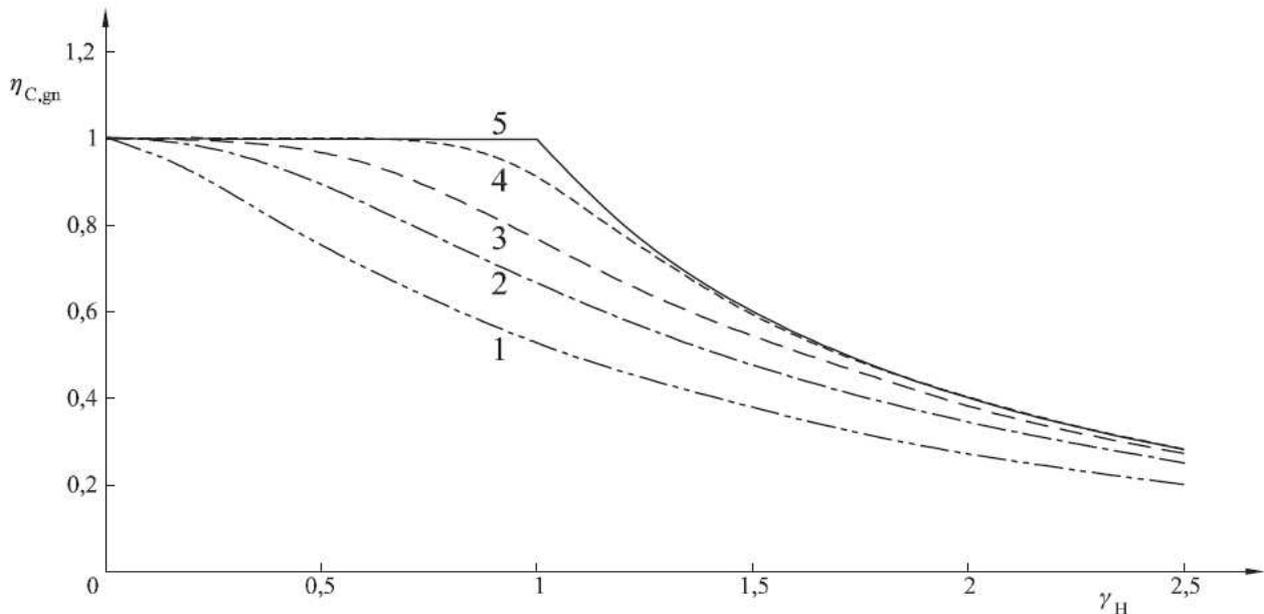
in cui compaiono il parametro numerico di riferimento adimensionale $a_{H,0}$ e la costante di tempo di riferimento $\tau_{H,0}$.

I valori dei parametri sono valori empirici e sia la UNI EN ISO 13790: 2008, che la

UNI/TS 11300-1, forniscono $a_{H,0} = 1$ e $\tau_{H,0} = 15$ h .

In FIG. I.1. si riporta l'andamento del fattore di utilizzazione degli apporti parametrizzato sull'inerzia.

FIG. I.1. *Andamento del fattore di utilizzazione degli apporti per la modalità di riscaldamento, per costanti di tempo di 8 h (curva_1) , 1 d (curva_2) , 2 d (curva_3) , 7 d (curva_4) e infinita (curva_5) , valido per il metodo di calcolo mensile; (da UNI EN ISO 13790).*



1.5. Il fattore di utilizzazione delle dispersioni per il raffrescamento

Definito il rapporto di bilancio termico, γ_C , come il rapporto tra gli apporti termici mensili e lo scambio termico mensile,

$$\gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}} \quad (I.20)$$

il fattore di utilizzazione delle dispersioni per il raffrescamento, é calcolato con diverse formule, secondo il valore di γ_C :

1) se $\gamma_C > 0$ e $\gamma_C \neq 1$,

$$\eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}} \quad (I.21)$$

2) se $\gamma_C = 1$, allora

$$\eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C + 1} \quad (I.22)$$

3) se $\gamma_C < 0$,

$$\eta_{C,ls} = 1 \quad (I.23)$$

a_C è un parametro numerico adimensionale che dipende dalla costante di tempo, τ , definito dall'equazione

$$a_C = a_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}} \quad (I.24)$$

in cui compaiono il parametro numerico di riferimento adimensionale $a_{C,0}$ e la costante di tempo di riferimento $\tau_{C,0}$.

I valori dei parametri sono valori empirici e la UNI EN ISO 13790: 2008, fornisce $a_{C,0} = 1$ e $\tau_{C,0} = 15$ h, e specifica che possono essere calcolati a livello nazionale.

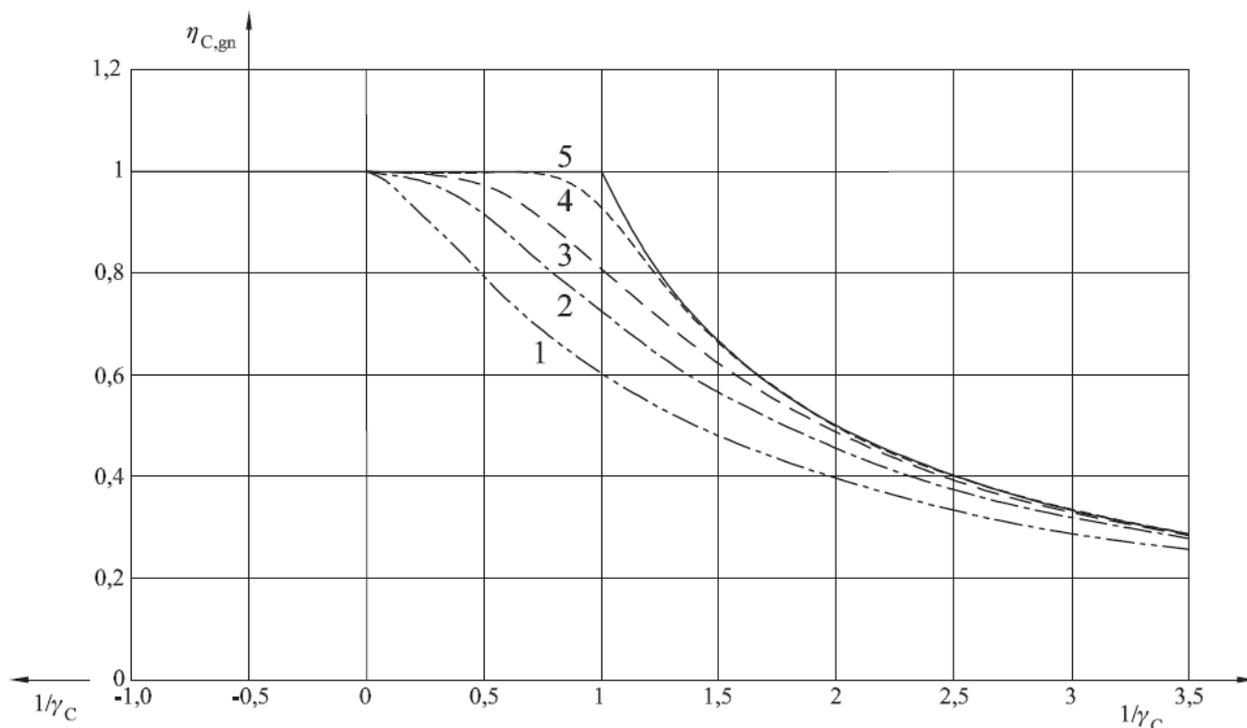
Nella UNI/TS 11300-1, in relazione alle ricerche compiute da Corrado e Fabrizio, si ha :

$$a_C = a_{C,0} + (\tau / \tau_{C,0}) - k (A_w / A_f) \quad (I.25)$$

dove, A_w è l'area finestrata ed A_f l'area climatizzata ; inoltre $a_{C,0} = 8,1$, $\tau_{C,0} = 17$ h, $k = 13$.

In FIG. I.2. si riporta l'andamento del fattore di utilizzazione delle dispersioni parametrizzato sull'inerzia.

FIG. I.2. Andamento del fattore di utilizzazione delle dispersioni per la modalità di raffrescamento, per costanti di tempo di 8 h (curva_1), 1 d (curva_2), 2 d (curva_3), 7 d (curva_4) e infinita (curva_5), valido per il metodo di calcolo mensile; (da UNI EN ISO 13790).



1.6. Fattori di correlazione nel metodo mensile quasi stazionario

In questo paragrafo si considerano le spiegazioni riportate nella UNI EN ISO 13790:2008, dei fattori di correlazione, rinviando al capitolo IV per il quadro dell'evoluzione della problematica ed i contributi presenti nella letteratura tecnica di settore, relativi ai metodi semplificati per la determinazione del fabbisogno di energia termica degli edifici, e, in tale contesto, al fattore di utilizzazione delle dispersioni per raffrescamento.

1.6.1. Il rapporto di bilancio termico

Il rapporto di bilancio termico, è stato definito come il rapporto tra gli apporti termici, Q_{gn} , e lo scambio termico per trasmissione e ventilazione, Q_{ht} .

Sebbene il rapporto, in particolare nella modalità di riscaldamento, sembri riguardare semplicemente il rapporto tra le quantità entranti di calore (apporti termici interni e solari) e il calore che esce dall'edificio o dalla zona dell'edificio (trasmissione e ventilazione), esiste una differenza che si vuole mettere in evidenza.

La differenza sostanziale è che gli "apporti" sono in realtà tutti i flussi termici (positivi o negativi) che sono (esattamente o per approssimazione) indicati come flusso termico costante, come gli apporti termici solari e interni, che non sono (o sono solo debolmente) dipendenti dalla temperatura interna. Se la temperatura interna aumenta a causa del surriscaldamento, ciò non comporta una diminuzione proporzionale degli apporti termici interni e solari.

Lo scambio termico, invece, riguarda tutti i flussi termici (positivi o negativi) che sono esattamente o per approssimazione fortemente dipendenti dalla temperatura interna, come lo scambio termico per trasmissione e ventilazione. Se la temperatura interna aumenta a causa del surriscaldamento, aumenterà, contemporaneamente, lo scambio termico per trasmissione e ventilazione dalla zona considerata verso l'esterno, in proporzione alla variazione della differenza di temperatura tra la temperatura interna ed esterna. Come per lo scambio termico entrante (scambio termico negativo, per esempio trasmissione da una zona calda adiacente, o ventilazione con temperatura dell'aria immessa costante più elevata rispetto alla temperatura interna della zona considerata) questo scambio termico negativo diminuirà proporzionalmente con la variazione della differenza di temperatura.

1.6.2. Spiegazione del fattore di utilizzazione degli apporti per il riscaldamento

Il fattore di utilizzazione degli apporti termici interni e solari tiene in considerazione il fatto che solo parte degli apporti termici interni e solari è utilizzata per ridurre il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, poiché la restante parte porta ad un indesiderato incremento della temperatura interna al di sopra del valore di regolazione.

Nell'equazione (13), gli apporti termici non utilizzati sono omessi, e ciò è controbilanciato dal fatto che lo scambio termico aggiuntivo per trasmissione e ventilazione risultante dagli apporti termici non utilizzati è anche omesso: lo scambio termico per trasmissione e ventilazione è calcolato sulla base della temperatura interna di regolazione per il riscaldamento, ignorando così il surriscaldamento (se presente). Gli apporti termici non utilizzati portano ad un incremento della temperatura interna al di sopra del valore di regolazione e conseguentemente ad uno scambio termico aggiuntivo per trasmissione e ventilazione. In altri termini, il fattore di utilizzazione degli apporti è una misura dell'entità del surriscaldamento.

Pertanto, il percorso (scambio termico basato sulla temperatura di regolazione → fattore di utilizzazione degli apporti → fabbisogno di energia termica per il riscaldamento e temperatura interna media) è necessario, perché il fattore di utilizzazione (e/o la temperatura interna media) è funzione, tra l'altro, del rapporto tra lo scambio termico basato sulla temperatura di regolazione e gli apporti termici.

1.6.3. Spiegazione del fattore di utilizzazione delle dispersioni per il raffrescamento

La funzione svolta dal fattore di utilizzazione delle dispersioni deriva dalla seguente ipotesi relativa alla distribuzione delle temperature nell'arco del periodo di fabbisogno di energia per raffrescamento:

<< Il fattore di utilizzazione dello scambio termico per trasmissione e ventilazione tiene in considerazione il fatto che solo parte dello scambio termico per trasmissione e ventilazione è utilizzato per ridurre i fabbisogni di raffrescamento; lo scambio termico per trasmissione e ventilazione "non utilizzato" si manifesta durante periodi o intervalli (per esempio di notte) quando non ha alcun effetto sui fabbisogni di raffrescamento che si manifestano durante altri periodi o momenti (per esempio di giorno).

In questo approccio, lo scambio termico per trasmissione e ventilazione nell'equazione di bilancio termico è calcolato sulla base della temperatura interna di regolazione per il

raffrescamento, ignorando così il fatto che questo valore di regolazione non sempre si raggiunge. Il fattore di utilizzazione delle dispersioni fornisce la correzione necessaria. Con questa formulazione si mostra esplicitamente come lo scambio termico contribuisca alla riduzione dei fabbisogni di energia termica dell'edificio per il raffrescamento>>.

In altri termini, lo scambio termico per trasmissione e ventilazione, $Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}$, è calcolato sulla base della temperatura interna massima desiderata, che è la temperatura di regolazione, mentre la temperatura interna (media) effettiva mediata sul tempo può essere più bassa, a causa di circostanze in cui si verificano temperature più basse del valore di regolazione. Pertanto, le dispersioni termiche effettive calcolate a partire da questa temperatura interna media effettiva sono anche più basse di quelle calcolate sulla base della temperatura di regolazione, questa differenza è rappresentata dal termine $-\Delta Q_{tr+ve}$.

Indicando con :

$Q_{C,ht}$ scambio termico totale per trasmissione e ventilazione dell'edificio, espresso in megajoule;

$Q_{H,ht,real}$ la trasmissione termica effettiva, espressa in megajoule;

$Q_{C,gn}$ gli apporti termici solari e interni totali dell'edificio, espressi in megajoule;

$\eta_{C,ls}$ è il fattore adimensionale di utilizzazione delle dispersioni per il raffrescamento;

allora l'equazione completa del fabbisogno mensile di energia termica per il raffrescamento ambiente è data dall'equazione (26):

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - Q_{C,ht,real} \quad (I.26)$$

Ora, per $\theta_{int, mn} < \theta_{reg}$

$$Q_{C,ht,real} = Q_{C,ht} - \Delta Q_{tr+ve}$$

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - Q_{C,ht,real} =$$

$$= Q_{C,gn} - (Q_{C,ht} - \Delta Q_{tr+ve}) = Q_{C,gn} - Q_{C,ht} + \Delta Q_{tr+ve},$$

In considerazione del fatto che, per il metodo del "fattore di utilizzazione" mensile, il ΔQ_{tr+ve} è uguale alla parte non utilizzata delle dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione,

assumendo

$$(1 - \eta_{C,ls}) Q_{C,ht} = \Delta Q_{tr+ve}, \quad (I.27)$$

contrariamente a quanto proposto nella UNI EN ISO 13790,

si avrà

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - Q_{C,ht} + (1 - \eta_{C,ls}) Q_{C,ht}$$

$$= Q_{C,gn} - Q_{C,ht} + Q_{C,ht} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht} =$$

$$= Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht} \quad (I.28)$$

che rappresenta l'equazione del bilancio presente nella norma.

1.6.4. La costante di tempo

La costante di tempo della generica zona termica dell'edificio, τ , rappresenta il rapporto tra le caratteristiche di accumulo termico e la somma delle caratteristiche di scambio termico, espresse dalla somma dei due coefficienti globali di scambio termico per trasmissione e per ventilazione:

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}} \quad (I.29)$$

C_m è la capacità termica interna della zona dell'edificio, in joule al kelvin, mentre, per i coefficienti di scambio, devono essere utilizzati dei valori rappresentativi della stagione dominante. Ad esempio, può essere il valore mensile per un mese invernale centrale nel caso di clima dominato dal riscaldamento, o il valore mensile per un mese estivo centrale nel caso di clima dominato dal raffrescamento.

La capacità termica interna della zona dell'edificio, C_m , in joule al kelvin, si calcola sommando le capacità termiche di tutti gli elementi edilizi a contatto termico diretto con l'aria interna della zona in esame, secondo la seguente equazione:

$$C_m = \sum \kappa_j \times A_j \quad (I.30)$$

in cui figurano l'area dell'elemento j-esimo in metri quadrati, A_j , e la capacità termica interna per unità di area κ_j .

La κ_j , si calcola secondo la UNI EN ISO 13786 : 2008 Prestazione termica dei componenti per l'edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo, che per gli strati piani ed omogenei è data da :

$$\kappa_1 = \frac{T}{2\pi} \left| \frac{Z_{11} - 1}{Z_{12}} \right| \quad (I.31)$$

$$\kappa_2 = \frac{T}{2\pi} \left| \frac{Z_{22} - 1}{Z_{12}} \right| \quad (I.32)$$

in cui figura la matrice di trasferimento del calore ed il periodo delle variazioni.

La matrice di trasferimento si esprime in funzione del rapporto, ξ , tra lo spessore dello strato (d) e la profondità di penetrazione periodica (δ):

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cos(\xi) + j \sinh(\xi) \sin(\xi);$$

$$Z_{12} = -\frac{\delta}{2\lambda} \left\{ \sinh(\xi) \cos(\xi) + \cosh(\xi) \sin(\xi) + j \left[\cosh(\xi) \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cos(\xi) \right] \right\}$$

La norma UNI EN ISO 13790 e la UNI/TS 11300-1, propongono anche il calcolo della capacità termica areica mediante il metodo semplificato della UNI EN ISO 13786, nonché l'adozione di valori che si trovano nei prospetti dei valori di default per i parametri dinamici in esse presenti.

1.7. *Dati climatici per il calcolo del fabbisogno di energia dell'edificio*

Le temperature esterne, già presenti nelle formule per la determinazione dei coefficienti di scambio e le altre grandezze caratterizzanti le condizioni climatiche da utilizzare, sono le seguenti:

- valori medi mensili della temperatura esterna;
- valori medi mensili dell'umidità esterna;
- valori medi mensili dell'irradianza solare sui diversi orientamenti dell' edificio;
- valore medio annuale della temperatura esterna (per il calcolo dello scambio termico attraverso il terreno).

I dati climatici medi mensili dei capoluoghi di provincia italiani, sono riportati nella UNI 10349 : 1994 , Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.

Per quanto riguarda la temperatura interna e ai fini del calcolo del fabbisogno di energia per riscaldamento si assumono i seguenti valori :

- 28°C per le piscine e le saune;
- 18 °C per le palestre e per gli edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali;
- 20°C per tutte le altre categorie di edifici.

Ai fini del calcolo del fabbisogno di energia per raffrescamento si assumono i seguenti valori della temperatura interna:

- 28°C per le piscine e le saune;
- 24 °C per le palestre;
- 26°C per tutte le altre categorie di edifici.

CAPITOLO II

RECUPERO TERMICO DI VENTILAZIONE NEL CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO DELL'EDIFICIO, AI FINI DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA

2.1. Il calcolo del coefficiente globale di scambio termico per ventilazione, secondo il documento n°174.

Durante la revisione della UNI/TS 11300-1 : Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, e UNI/TS 11300-2 : Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria;

giungeva all'attenzione dei GL corrispondenti del CTI, il contributo elaborato dagli esperti dell'Associazione AiCARR per la determinazione dei fabbisogni di energia primaria per la ventilazione.

Secondo la definizione di ventilazione degli edifici , si veda il glossario a fine capitolo, ai fini della determinazione dei fabbisogni di energia per ventilazione negli stessi edifici bisognava distinguere i seguenti casi:

Edifici nei quali si ha solo ventilazione naturale

Edifici nei quali si ha solo ventilazione meccanica

Edifici nei quali si ha ventilazione ibrida

Edifici nei quali la ventilazione meccanica è assicurata dall'impianto di Climatizzazione

In tutti i casi veniva inoltre attribuito al fabbisogno di energia per ventilazione anche la quota parte di energia dovuta alla compensazione termica e igrometrica delle infiltrazioni d'aria attraverso l'involucro, così come quella legata alle esfiltrazioni che comportano il trattamento e/o neutralizzazione di una maggiore portata di aria esterna a parità di richiesta.

Nello stesso documento, si forniva la procedura di calcolo per edifici con solo ventilazione naturale e quella per edifici con solo ventilazione meccanica.

Nella prima, non c'è alcun impianto di conseguenza il fabbisogno di energia primaria per la ventilazione è nullo, pertanto, per la determinazione del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione ambientale si assume quale fabbisogno termico relativo allo scambio di energia termica per ventilazione quello convenzionale secondo la UNI TS 11300-1.

Per gli edifici con solo ventilazione meccanica, si proponeva di considerare i seguenti casi di impianti di ventilazione centralizzati per unità immobiliare o per edificio:

ventilazione meccanica per estrazione a singolo condotto;
 ventilazione meccanica per immissione a singolo condotto;
 ventilazione meccanica bilanciata a doppio condotto.

Si specificava, inoltre, che nella tipologia di impianti considerati non c'è alcun controllo dell'umidità dell'aria e quindi gli scambi energetici considerati sono solo di tipo sensibile.

Per il calcolo del coefficiente globale di scambio termico per ventilazione corretto e delle portate di ventilazione veniva proposto quanto segue.

Il coefficiente di scambio termico corretto per ventilazione della zona j-esima, $H_{Ve,adj,j}$, si determina mediante la seguente relazione:

$$H_{Ve,adj,j} = \rho_a c_a \left\{ \sum_k q_{ve,k,mn} \right\}_j \quad (II.1)$$

$\rho_a c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 0,34 Wh/(m³K);

$H_{Ve,adj,j}$ è il coefficiente di scambio termico corretto per ventilazione, aerazione e/o infiltrazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante;

$q_{ve,k,mn}$ è la portata d'aria media giornaliera k-esima dovuta a ventilazione meccanica e infiltrazione della zona;

k è la singola e specifica portata d'aria media dovuta a ventilazione meccanica.

Le portate d'aria medie giornaliere di ventilazione dovute al flusso d'aria k-esimo della zona esima vengono calcolate in generale, coerentemente con la UNI EN ISO 13789- 2008, come segue:

$$q_{ve,k,mn} = (q'_{v,x})_k \cdot (1 - \beta_k) + (q_{v,f} \cdot b_{ve} \cdot FC_v + q_{v,x})_k \cdot \beta_k \quad (II.2)$$

dove

$q'_{v,x}$ è la portata d'aria dovuta a infiltrazioni per ventilazione naturale termica e trasversale nel periodo in cui non è funzionante;

$q_{v,f}$ è la portata di nominale della ventilazione meccanica;

$q_{v,x}$ è la portata d'aria addizionale con ventilazione meccanica funzionante dovuta a infiltrazioni per ventilazione naturale termica e trasversale;

$b_{v,e}$ è il fattore di correzione della temperatura dipende dalla tipologia di ventilazione adottata ($b_{v,e,k} \neq 1$ se la temperatura di mandata non è uguale alla temperatura dell'ambiente esterna, come nel caso di pre-riscaldamento, pre-raffreddamento o di recupero termico dell'aria di ventilazione);

FC_v è il fattore di carico dell'impianto di ventilazione meccanica;

β_k è la frazione dell'intervallo temporale di calcolo con ventilazione meccanica funzionante per il flusso d'aria k-esimo;

k indica il flusso d'aria k-esimo.

Nel testo dell'Associazione AiCARR, conteneva anche specifiche indicazioni per la determinazione della portata d'aria per infiltrazioni e di quella nominale, nonché di quella addizionale con ventilazione meccanica funzionante dovuta a ventilazione naturale.

Il fattore di correzione per la differenza di temperatura effettivamente presente nel k-esimo flusso d'aria, $b_{v,k}$, si doveva calcolare distinguendo tra ventilazione meccanica a singolo condotto (a) e ventilazione meccanica a doppio condotto (b).

a) Ventilazione meccanica a singolo condotto

$$b_{v,k} = 1$$

per ventilatore in estrazione o ventilatore premente senza preriscaldamento o pre-raffreddamento;

$$b_{v,k} = \frac{\theta_i - \theta_{im}}{\theta_i - \theta_e}$$

per ventilatore premente con pre-riscaldamento o pre-raffreddamento; dove:

θ_{im} è il valore della temperatura di immissione dell'aria nella zona dopo riscaldamento o pre-raffreddamento;

θ_i è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata;

θ_e è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna.

b) Ventilazione meccanica a doppio condotto

$$b_{v,k} = 1$$

per sistemi senza pre-riscaldamento o pre-raffreddamento e senza recupero termico;

$$b_{v,m} = \frac{\theta_i - \theta_{im}}{\theta_i - \theta_e}$$

per sistemi con pre-riscaldamento o pre-raffreddamento e senza recupero termico;

$$b_{v,m} = 1 - f_R \cdot \eta_{RS,eff}$$

per sistemi con recupero termico e senza pre-riscaldamento o pre-raffreddamento;

$\eta_{RS,eff}$

è l'efficienza effettiva del sistema di recupero di calore e va calcolata come riportato in seguito e si tenga ben presente il contenuto della nota;

il fattore f_R è la percentuale di portata d'aria esterna che passa attraverso il recuperatore di calore.

Nella nota richiamata si specificava che l'efficienza del sistema di recupero è diversa da quella nominale del recuperatore in quanto tiene conto e delle perdite del sistema di distribuzione e dell'efficienza effettiva del recuperatore in funzione delle portate d'aria medie giornaliere circolanti nei due rami.

Forniva indicazioni riguardo la temperatura di immissione dell'aria nella zona dopo il pre-riscaldamento o pre-raffreddamento, θ_{im} , la cui definizione è necessaria solo per la ventilazione per immissione a singolo condotto o per quella bilanciata a doppio condotto, e le regole per la sua determinazione per i tre tipi di valutazione, progetto, standard e adattata all'utenza.

Inoltre specificava chiaramente che l'eventuale presenza di pre-riscaldamento o pre-raffreddamento con a monte un recuperatore viene equiparata, per la determinazione del coefficiente globale di scambio termico corretto per ventilazione, $H_{ve,adj}$, al caso senza recuperatore, rinviando la determinazione del risparmio indotto dal suo impiego alla valutazione del fabbisogno energetico del sottosistema di ventilazione.

Le indicazioni sulla frazione dell'intervallo temporale di calcolo con ventilazione meccanica funzionante per il flusso d'aria k-esimo, β_k , e quelle sul fattore di carico dell'impianto di ventilazione meccanica, FC_v , completavano quanto necessario per la determinazione della portata e perciò del coefficiente di scambio termico corretto.

A questo punto si definiva quale fabbisogno termico relativo allo scambio di energia termica per ventilazione, l'energia termica corretta per la ventilazione, $Q_{v,adj,j}$, da cui si determina il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione ambientale, che è data da:

$$Q_{v,adj,j} = H_{ve,adj,j} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad (II.3)$$

dove:

- $H_{ve.adj}$ è il coefficiente di scambio termico corretto per ventilazione, aerazione e/o infiltrazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, così come calcolato precedentemente e secondo le assunzioni della nota;
- θ_i è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata;
- θ_e è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna;
- t è l'intervallo di tempo di calcolo.

In sede CTI, durante una riunione di coordinamento per le UNI TS 11300, si condivideva l'impostazione generale e i contenuti del documento e, si decideva di suddividere i contributi sulla base delle parti di competenza dei GL e di portare queste ultime all'attenzione dei rispettivi gruppi di lavoro.

In sintesi, il calcolo del fabbisogno di energia primaria per ventilazione dell'edificio, veniva così ripartito:

UNI TS 11300-1 (di competenza del GL 102):

calcolo delle portate d'aria per ventilazione;

calcolo del coefficiente di scambio termico per ventilazione corretto ;

calcolo dei fabbisogni di energia termica utile "di riferimento" ed "effettivi" per la ventilazione dell'edificio.

Si specificava che la parte 1 doveva comprendere il calcolo delle:

1) portate e coefficienti di scambio termico e fabbisogni di riferimento ed effettivi di energia termica

utile per ventilazione, nel caso di ventilazione naturale, nel caso di ventilazione meccanica e nel caso di ventilazione ibrida.

2) portate e coefficienti di scambio termico e fabbisogni di riferimento ed effettivi di energia termica utile per ventilazione, per tutti i periodi dell'anno (periodo di riscaldamento, periodo di raffrescamento, e periodi intermedi).

UNI TS 11300-2 e UNI TS 11300-3 (di competenza del GL 601 e GL 506):

calcolo, a partire dai fabbisogni "effettivi" per ventilazione, delle perdite di energia termica nei sottosistemi di utilizzazione (emissione, regolazione, distribuzione) nel caso di impianti di ventilazione meccanica;

calcolo delle perdite di generazione (nel caso il servizio di ventilazione sia soddisfatto dallo stesso impianto di climatizzazione invernale e/o estiva);

calcolo del fabbisogno degli ausiliari elettrici;

calcolo del fabbisogno di energia primaria per ventilazione (nel periodo di riscaldamento (11300-2) di raffrescamento (11300-3) e nei periodi intermedi (11300-2) .

2.2. L'influenza del recupero termico di ventilazione, nella determinazione del fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento.

Per indagare l'influenza del recupero termico di ventilazione, definito nella UNI EN ISO13790 : 2008, quale calore recuperato dall'aria espulsa per ridurre lo scambio termico per ventilazione, e

verificare l'approccio proposto, cioè di considerare l'effetto del risparmio indotto dal recupero termico di ventilazione, nella valutazione del fabbisogno energetico del sottosistema di ventilazione, è stata condotta una campagna di simulazioni con il software Ecodomus e con un foglio di calcolo elaborato nel Dipartimento di Fisica Tecnica, secondo il metodo mensile della UNI TS 11300-1:2008.

2.2.1. Zona termica e caratteristiche

Dimensioni dell'edificio

L'edificio è un edificio con più unità abitative ad uso residenziale, costituito da tre piani fuori terra, con una superficie netta in pianta di 300 m², un'altezza netta di 3 m per piano, per un totale di 9 m ed un volume lordo di 2700 m³.

Tabella II.1. *Esposizione ed estensione delle superfici*

Prospetto	Esposizione	Area (m ²)	Componenti trasparenti (m ²)
1_parete	S	169.2	65.40
2_parete	N	169.2	24
3_parete	E	127.8	38.70
4_parete	O	127.8	38.70
5_tetto	H	321	-
6_pavimento	H	259.4	-

Caratteristiche di trasmissione

Il coefficiente di scambio termico per trasmissione, $H_{tr,adj}$, della costruzione adiacente all'ambiente esterno è 355.159 W/K, sia per il calcolo del riscaldamento sia per il calcolo del raffrescamento.

Per le altre parti costituenti il fabbricato, si assume una situazione di bilancio termico, così queste parti costruttive (solai intermedi e pareti interne) non si tengono in considerazione nel calcolo della trasmissione termica. Nella tabella II.2. si riporta la stratigrafia dell'involucro opaco verticale.

I ponti termici non sono stati considerati.

Tabella II.2. *Stratigrafia delle pareti verticali.*

Struttura 1	Parete Perimetrale					Codice
						S01
Componente n°	Denominazione	Spessore S m	Densità ρ Kg/m ³	Condu.tà λ W/(m K)	Calore specifico KJ/(Kg K)	Resistenza Termica (m ² K)/W
1	Intonaco	0.03	1800	0.540	1.00	0.06

2	Poroton	0.4	1800	0.230	0.84	1.74
3	Lana di roccia	0.15	175	0.038	0.84	3.95
4	Intonaco	0.02	1800	0.540	1.00	0.04
Totale		0.6				5.78

Tabella II.3. *Stratigrafia del tetto esterno.*

Struttura 2	Tetto esterno					Codice
						S02
Componente n°	Denominazione	Spessore S m	Densità ρ Kg/m ³	Condu.tà λ W/(m K)	Calore specifico KJ/(Kg K)	Resistenza Termica (m ² K)/W
1	Tavella	0.02	1800	0.330		0.06
2	Calcestruzzo	0.15	1200	1.200		0.13
3	Lana minerale	0.15	43	0.030		5.00
4	Intercapedine d'aria	0.05	1.2	0.280		0.18
5	Coppo	0.02	1800	0.33		0.06
Totale		0.39				5.42

Tabella II.4. *Stratigrafia della pavimentazione contro terra.*

Struttura 1	Pavimenti					Codice
						SP01
Componente pavimentaz. n°	Denominazione	Spessore S m	Densità ρ Kg/m ³	Condu.tà λ W/(m K)	Calore specifico KJ/(Kg K)	Resistenza Termica (m ² K)/W
1	Piastrelle	0.01	2700	3.000	0.84	0.00
2	Sottofondo in CLS magro	0.04	2200	0.930	0.84	0.04
3	Polistirolo espanso continuo	0.15	30	0.040	1.38	3.75
4	Calcestruzzo di polistirolo	0.1	250	0.150	0.84	0.67
5	Calcestruzzo ordinario	0.15	1800	0.930	0.84	0.16
6	Ghiaia grossa senza argilla	0.4	1700	1.2	0.88	0.33
Totale		0.85				4.96

Caratteristiche di ventilazione

La zona termica è ventilata con un tasso di ventilazione di 0,5 Vol / h, per tutti i casi di valutazione di prestazione energetica di calcolo, considerando tre situazioni:

- senza recupero termico di ventilazione;
- efficienza del sistema di recupero termico di ventilazione pari al 50%;

- efficienza del sistema di recupero termico di ventilazione pari all' 80%.

La temperatura dell'aria di ventilazione immessa è la temperatura esterna di calcolo, quando non si ha il recupero termico di ventilazione, secondo le indicazioni della norma.

Quando la ventilazione si esplica attraverso l'azione di un sistema di recupero, la temperatura dipende dall'efficienza del sistema stesso.

Si riportano nella tabella, per esempio, i valori del coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura esterno-interno, corrispondente alle tre situazioni considerate e per la località di Treviso:

Tabella II.5. *Coefficiente globale di scambio termico per ventilazione.*

Efficienza del sistema di recupero termico	0%	50%	80%
Hve,adj (W/K)	455.500	222.750	89.100

Caratteristiche dell'apporto termico solare

La facciate esterne sono orientate come indicato in tabella II.1. . Non ci sono ostacoli.

L'area opaca della facciata a sud è 103.8 m² ed a nord 145.2 m² , il coefficiente di assorbimento della radiazione solare è 0,6, la resistenza termica superficiale esterna è 0,04 m²K/W e la trasmittanza termica della facciata opaca è 0,168 W/m²K.

Le superfici totali dei componenti trasparenti sono indicate nella tabella II.6. . Il valore di g della vetrata è 0,75; gli altri elementi del calcolo dei componenti vetrati sono desumibili dalla tabella (II.6.) riportata.

Tabella II.6. *Caratteristiche delle superfici vetrate*

	Area serram.to	Area vetro	Area telaio	Area telaio / area serr.	Perimetro vetro	Trasm.za vetro	Trasm.za telaio
	Aw	Ag	Af	Af/Aw	lg	Ug	Uf
Descrizione	m ²	m ²	m ²	/	m	W/(m ² K)	W/(m ² K)
Finestra a	1.35	0.91	0.44	0.33	4	0.9	1.2
Finestra b	2	1.44	0.56	0.28	5.2	0.9	1.2
Porta finestra	2	1.44	0.56	0.28	5.2	0.9	1.2
Vetrata	4.9	3.6	1.3	0.27	13.2	0.9	1.2

Tabella II.6. bis *Caratteristiche delle superfici vetrate*

	Dist.ore vetro	Trasm.za serram.to	Ombreggiamento	Tendaggi	Trasm.za solare totale	Area captazione solare
	Yg	Uw	Fsh	Fc	g	Asol
Descrizione	/	W/(m2 K)	/	/	/	/
Finestra a	0.06	1.176	1	1	0.75	0.6825
Finestra b	0.06	1.140	1	1	0.75	1.08
Porta finestra	0.06	1.140	1	1	0.75	1.08
Vetrata	0.06	1.141	1	1	0.75	2.7

L'irradianza solare, $I_{sol,k}$, cioè l'energia mediata sul tempo dell'irradiazione solare che si verifica nel periodo di calcolo, per metro quadrato di area di captazione della facciata con il dato orientamento, varia a seconda della località. Si riportano i valori utilizzati per la località di Treviso. L'extra flusso termico dovuto all'irraggiamento ad alta lunghezza d'onda verso la volta celeste dall'edificio è stato tenuto in considerazione e calcolato.

Tabella II.7. *Irradiazione solare MJ/ (giorno m²)*

mese	GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	APRILE	MAGGIO	GIUGNO
Hbh	2.30	3.50	5.10	6.70	7.90	8.30
Hdh	1.50	3.20	6.50	9.80	12.10	13.90
H	3.80	6.70	11.60	16.50	20.00	22.20
S	6.00	8.70	11.20	10.90	10.00	9.80
SO	4.80	7.30	10.60	12.10	12.30	12.50
SE	4.80	7.30	10.60	12.10	12.30	12.50
O	2.90	5.10	8.50	11.40	13.20	14.40
E	2.90	5.10	8.50	11.40	13.20	14.40
N	1.50	2.40	3.70	5.40	7.80	9.40
NO	1.60	2.90	5.30	8.20	10.70	12.20
NE	1.60	2.90	5.30	8.20	10.70	12.20

mese	LUGLIO	AGOSTO	SETTEMBRE	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE
Hbh	7.50	6.90	5.60	3.90	2.50	2.00
Hdh	16.50	12.50	8.40	4.50	1.90	1.30
H	24.00	19.40	14.00	8.40	4.40	3.30
S	10.80	11.30	11.80	10.30	6.70	5.40
SO	14.00	13.30	11.80	8.90	5.40	4.30
SE	14.00	13.30	11.80	8.90	5.40	4.30
O	15.80	13.20	10.10	6.40	3.40	2.60
E	15.80	13.20	10.10	6.40	3.40	2.60
N	9.20	6.40	4.20	2.80	1.70	1.30
NO	12.80	9.80	6.50	3.60	1.90	1.40
NE	12.80	9.80	6.50	3.60	1.90	1.40

Apporti termici interni

Gli apporti termici sono stati opportunamente differenziati a seconda del tipo di valutazione, cioè, standard o di progetto, oppure adattata all'utenza.

In tutti i casi si sono considerate le indicazioni della norma ed i prospetti presenti a tal proposito, ad esempio, per valutazioni di progetto essendo la superficie utile di pavimento maggiore di 120 m², è stato assunto un valore di 450 W.

Costante di tempo dell'edificio

Per la determinazione della costante di tempo dell'edificio, si determina la capacità ed i coefficienti di scambio. La capacità interna è calcolata utilizzando la procedura semplificata dall'appendice A della ISO 13786:2007, senza correzione della resistenza superficiale.

I valori del parametro numerico adimensionale di riferimento, a_0 , per il riscaldamento e il raffrescamento sono stati ricavati dai prospetti proposti nella norma. Anche il valore della costante di tempo di riferimento, τ_0 , per il riscaldamento e il raffrescamento si ricava in base alla UNI TS 11300-1: 2008.

Utilizzo dell'edificio

L'edificio è di tipo residenziale e non ci sono periodi di non occupazione.

Le funzioni di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione sono continue e il valore di regolazione per il riscaldamento, $\theta_{\text{int,H,set}}$, è 20 °C, il valore di regolazione per il raffrescamento, $\theta_{\text{int,C,set}}$, è 26°C.

Dati climatici

I dati climatici utilizzati sono quelli delle diverse località considerate: Padova; Rovigo; Treviso; Vicenza; Milano.

2.2.2. Risultati delle simulazioni

I valori del coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura esterno-interno, riportati nella tabella II.5. , diminuiscono notevolmente nelle situazioni in cui si è considerato il recupero termico di ventilazione.

Lo scambio di energia termica per ventilazione, segue la variazione del coefficiente globale corrispondente e così le altre grandezze correlate, ad esempio, si passa da uno scambio di 25910.99 kWh, nel caso in cui non vi è recupero termico di ventilazione, ad uno scambio di 5182.20 kWh, quando l'efficienza del sistema di recupero è dell'80%.

I risultati ottenuti mettono in evidenza che il recupero termico di ventilazione, influisce sui parametri dinamici, sia per quanto riguarda il rapporto di bilancio termico, che per quanto riguarda i fattori di utilizzazione, la cui comparazione diretta, però, non consente una secca determinazione dell'influenza del recupero termico di ventilazione sul fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento.

Si riportano a titolo di esempio i diagrammi dei fattori di utilizzazione degli apporti per il regime invernale e dei fattori di utilizzazione delle dispersioni per il regime estivo, quando la zona termica è simulata nelle condizioni climatiche di Treviso.

FIG. II.1. *Diagramma del fattore di utilizzazione degli apporti, quando non c'è recupero termico di ventilazione.*

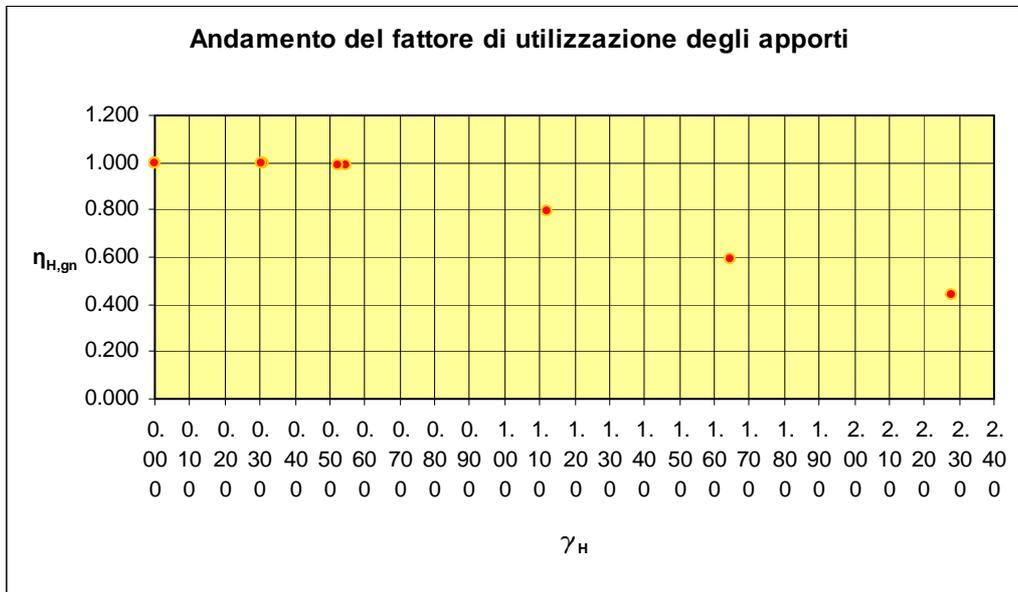


FIG. II.2. *Diagramma del fattore di utilizzazione degli apporti, con efficienza del sistema di recupero termico di ventilazione dell'80%.*

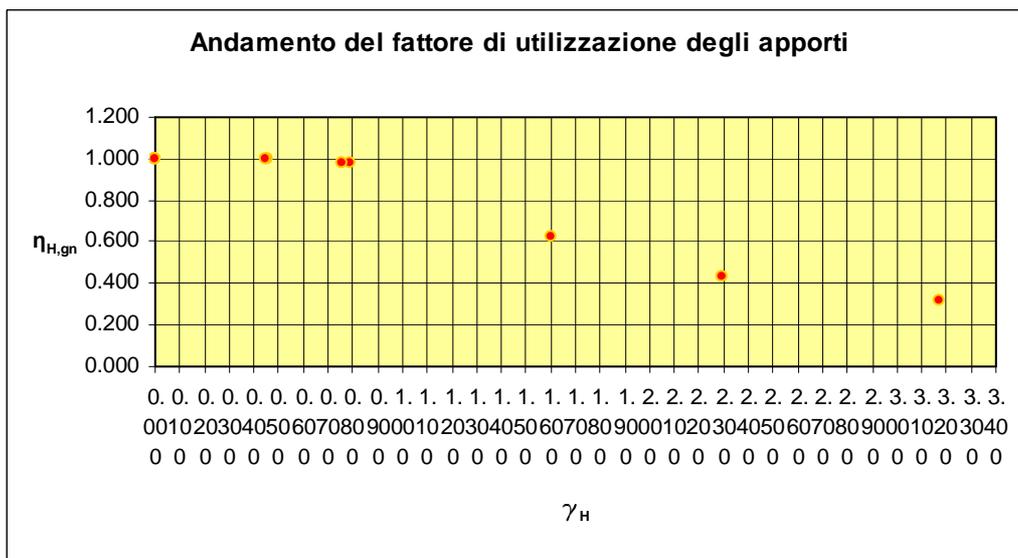


FIG. II.3. *Diagramma del fattore di utilizzazione delle dispersioni, quando non c'è recupero termico di ventilazione.*

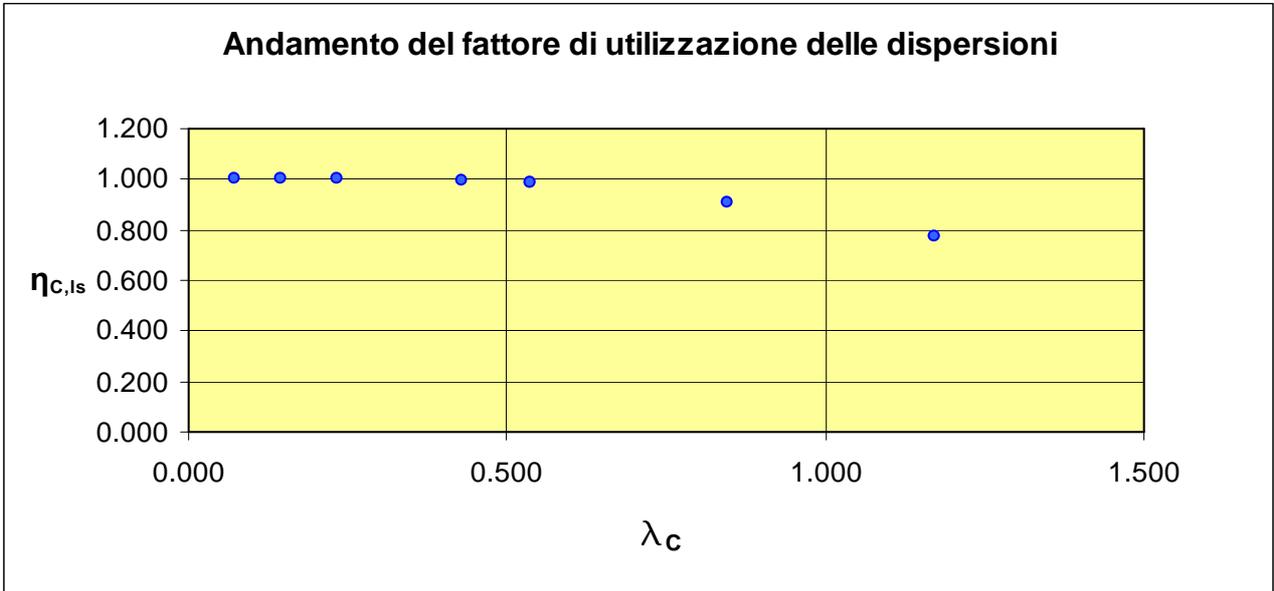
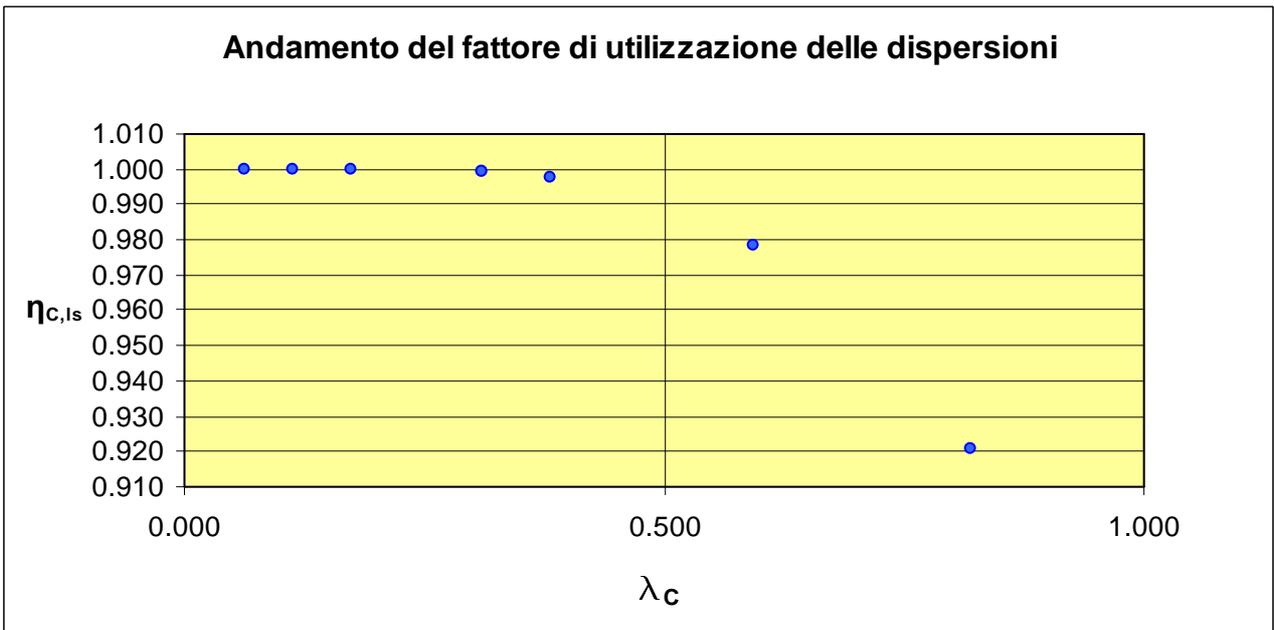


FIG. II.4. *Diagramma del fattore di utilizzazione delle dispersioni, con efficienza del sistema di recupero termico di ventilazione dell'80%.*



2.2.3. Analisi dei risultati

In considerazione dell'equazione del bilancio per la determinazione dei fabbisogni mensili di energia termica, si sono esplicitati i termini dello scambio termico per trasmissione e per ventilazione, e ci si è chiesto quale sia la differenza che si introduce nel calcolo del fabbisogno di energia termica.

Il caso in cui non vi è alcun recupero termico di ventilazione, rappresenta le condizioni di riferimento che compaiono nella bozza di revisione della norma e il fabbisogno è espresso dalla seguente equazione:

$$Q = Q_{tr} + Q_{ve} - \eta Q_{gn} \quad (II.4)$$

Quando è presente un sistema di recupero, detta ε l'efficienza del sistema, l'equazione del bilancio diventa:

$$Q' = Q_{tr} + Q'_{ve} - \eta' Q_{gn} .$$

Si è osservato che $Q'_{ve} = Q_{ve} - \varepsilon Q_{ve}$, perciò

sottraendo membro a membro, si è ottenuto :

$$Q - Q' = Q_{tr} + Q_{ve} - \eta Q_{gn} - (Q_{tr} + Q'_{ve} - \eta' Q_{gn}) =$$

$$Q_{ve} - Q'_{ve} + (\eta' - \eta) Q_{gn} \Rightarrow$$

$$Q - Q' = \varepsilon Q_{ve} + (\eta' - \eta) Q_{gn} . \quad (II.5)$$

Questa relazione consente efficacemente di esprimere l'influenza dei parametri dinamici sul fabbisogno di energia termica, infatti è evidente che la differenza non dipende solo dall'efficienza del sistema di recupero, ma anche dalla differenza tra i due fattori di utilizzazione, che rappresenta una frazione non trascurabile del complessivo calore che viene recuperato, come mostra l'esempio numerico che segue, dove i valori dei due fattori di utilizzazione degli apporti sono quelli delle figure II.2. e II.3. .

Tabella II.8. *Contributi mensili e totali*

	$Q - Q'$ (MJ)	(εQ_{ve}) (MJ)	$(\eta' - \eta) Q_{gn}$ (MJ)
Gennaio	$Q - Q'$	17468.85	+ 12.55
Febbraio	$Q - Q'$	13622.81	- 171.59
Marzo	$Q - Q'$	10309.48	- 3951.41
Aprile	$Q - Q'$	2771.33	- 1844.53
Ottobre	$Q - Q'$	3169.68	- 1946.59
Novembre	$Q - Q'$	11177.84	- 81.94
Dicembre	$Q - Q'$	16132.43	+ 11.31
TOTALE		20735 (kWh)	2215 (kWh)

Differenza tra i fabbisogni nelle due situazioni

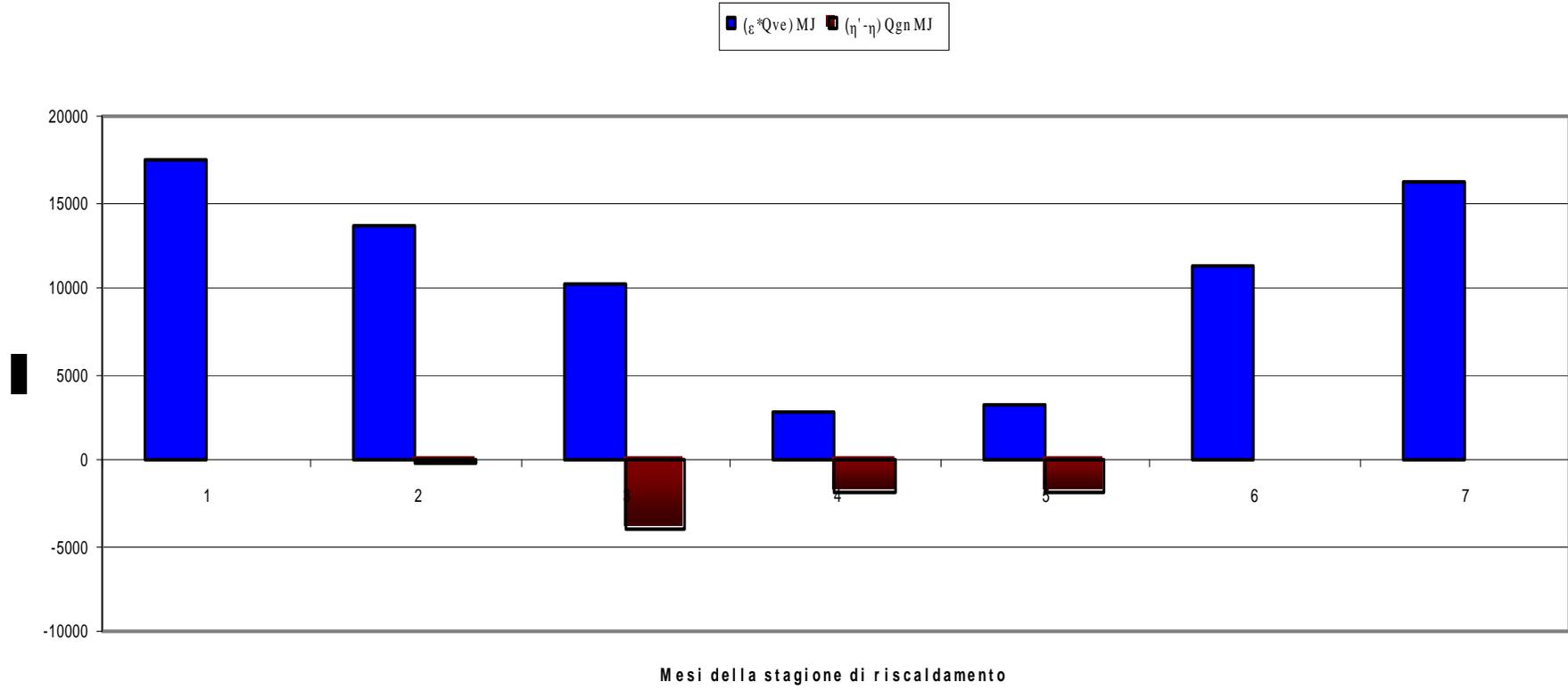


FIG. II.5. Istogramma delle differenze.

2.2.4. Conclusioni

La quantità di calore recuperato dall'aria espulsa per ridurre lo scambio termico per ventilazione, influisce considerevolmente sulla determinazione del fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento. Trascurare il recupero termico di ventilazione significa sottostimare il fabbisogno di energia termica dell'edificio per l'influenza dei parametri dinamici collegati, pertanto i suoi effetti non possono essere relegati nella valutazione del fabbisogno energetico del sottosistema di ventilazione. In altri termini, il recupero termico di ventilazione deve essere considerato nella valutazione della prestazione energetica dell'edificio ed ai fini del calcolo del fabbisogno di energia termica, che è alla base del calcolo del fabbisogno di energia primaria collegata all'azione dell'impianto.

2.2.5. Effetti nella stesura della norma

Con riferimento al testo di revisione della specifica tecnica della UNI/TS 11300-1 del 20/03/2012, testo trasmesso alla Commissione Tecnica CTI, gli effetti sono stati molteplici e sostanziali.

Il primo effetto è stato di chiarire che il calcolo di riferimento è relativo alla prestazione termica del fabbricato e non alla prestazione energetica dell'edificio, nella situazione in cui vi sia il recupero termico di ventilazione.

Inoltre, il recupero termico di ventilazione è considerato ai fini della determinazione del coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura esterno-interno, nella portata mediata sul tempo ($q_{ve,k,mn}$) del flusso d'aria k-esimo, che figura nella seguente relazione :

$$H_{ve,adj,j} = \rho_a c_a \left\{ \sum_k b_{ve,k} q_{ve,k,mn} \right\} \quad (II.6)$$

e che, per gli edifici nei quali si ha solo ventilazione meccanica è data da :

$$q_{ve,k,mn} = \left(\overline{q_{ve,x}} \right)_k \times (1 - \beta_k) + \left(q_{ve,f} \times b_{ve} \times FC_{ve} + \overline{q_{ve,x}} \right)_k \times \beta_k \quad (II.7)$$

Il coefficiente $b_{ve,k}$ è il fattore di correzione per la differenza di temperatura effettivamente presente nel k-esimo flusso d'aria e, nel caso di recuperatori di calore, è dato da :

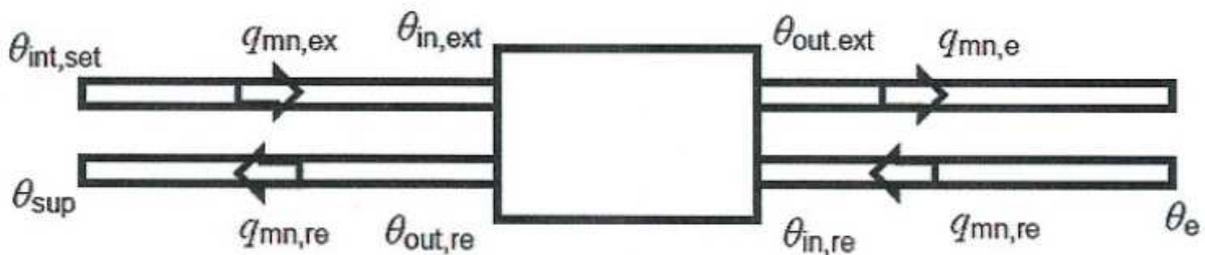
$$b_{ve,k} = \frac{\theta_{int,set} - \theta_{sup}}{\theta_{int,set} - \theta_e}$$

Il valore di θ_{sup} deve essere calcolato tenendo conto dell'efficienza del sistema di recupero termico di ventilazione, che è diversa da quella nominale del recuperatore, perché tiene conto sia delle perdite del sistema di distribuzione sia dell'efficienza effettiva del recuperatore in funzione delle portate d'aria medie giornaliere circolanti nei due rami.

In considerazione dello schema in figura, di un sistema di recupero termico di ventilazione, con l'indicazione delle portate e delle temperature dei fluidi, la temperatura dell'aria di rinnovo immessa nella zona a valle del sistema di ventilazione con recuperatore termico è data da:

$$\begin{aligned}\theta_{\text{sup}} &= \theta_{\text{out, re}} + \Delta\theta_{\text{out, re}}^{\text{sup}} \\ \theta_{\text{out, re}} &= \theta_{\text{in, re}} + \eta_{\text{hru, eff}} \cdot (\theta_{\text{in, ext}} - \theta_{\text{in, re}}) \\ \theta_{\text{in, ext}} &= \theta_{\text{int, set}} + \Delta\theta_{\text{int, set}}^{\text{in, ext}} \\ \theta_{\text{in, re}} &= \theta_e + \Delta\theta_e^{\text{in, re}}\end{aligned}$$

FIG. II.6. Schema di un sistema di recupero termico di ventilazione



dove:

θ_{sup} è la temperatura dell'aria a valle sistema recuperatore-condotti fornita alla zona termica;

$\theta_{\text{int, set}}$ è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata;

θ_e è la temperatura media mensile dell'aria esterna;

$\eta_{\text{hru, eff}}$ è l'efficienza termica effettiva del recuperatore termico;

$\Delta\theta_{\text{sup out, re}}$ è la differenza di temperatura tra l'immissione in zona e la mandata del recuperatore alla zona, dovuta agli scambi termici del condotto con l'ambiente circostante;

$\Delta\theta_{\text{in, ex int, set}}$ è la differenza di temperatura tra l'ingresso nel recuperatore e l'estrazione dalla zona, dovuta agli scambi termici del condotto con l'ambiente circostante;

$\Delta\theta_{\text{in, re e}}$ è la differenza di temperatura tra l'ingresso nel recuperatore e la griglia di aspirazione dell'aria esterna, dovuta agli scambi termici del condotto con l'ambiente circostante;

$q_{\text{mn, ext}}$ è la portata volumica dell'aria circolante nel condotto di estrazione-espulsione dell'aria interna;

$q_{\text{mn, e}}$ è la portata volumica dell'aria circolante nel condotto di aspirazione-immissione dell'aria esterna.

L'efficienza termica del recuperatore, $\eta_{\text{hru, eff}}$ dipende dalla portata d'aria circolante e, la norma UNI EN 308 prevede che siano misurati i rendimenti termici per le sette condizioni di funzionamento riportate nel prospetto II.1.

Prospetto II.1. Coppie delle portate massiche per le quali viene definito il rendimento termico

Lato	Valore relativo della portata rispetto al valore nominale						
	portate bilanciate			portate sbilanciate			
immissione	$\rho_a \times q_n$	$0,67 \rho_a \times q_n$	$1,5 \rho_a \times q_n$	$0,67 \rho_a \times q_n$	$\rho_a \times q_n$	$\rho_a \times q_n$	$1,5 \rho_a \times q_n$
espulsione	$\rho_a \times q_n$	$0,67 \rho_a \times q_n$	$1,5 \rho_a \times q_n$	$\rho_a \times q_n$	$0,67 \rho_a \times q_n$	$1,5 \rho_a \times q_n$	$\rho_a \times q_n$

dove $\rho_a \times q_n$ è la portata in massa nominale del recuperatore in kg/s.

Nel caso in cui la portata d'aria circolante nel recuperatore non corrisponda alla portata d'aria nominale dello stesso, occorre calcolare l'efficienza termica effettiva interpolando linearmente tra il suo valore alla portata nominale e quello che si ha per una portata o subito maggiore o subito minore.

In assenza di altri valori di efficienza termica del recuperatore per portate diverse da quella nominale e quando la portata circolante è diversa da quella nominale, si assume come rendimento termico effettivo quello alla portata nominale ridotto di dieci punti percentuali.

Per il calcolo delle differenze di temperatura tra ingresso e uscita dei condotti si utilizzano le relazioni riportate nell'appendice A, della UNI TS11300-2.

Le differenze di temperatura tra recuperatore e i punti di immissione, estrazione e aspirazione possono essere considerate trascurabili e poste uguali a zero, nel caso di verifica in condizioni di progetto e standard e solo per applicazione di sistemi di ventilazione a doppio condotto con recuperatore a singole unità immobiliari.

Glossario

Ventilazione: immissione e/o estrazione progettata di aria in e/o da uno spazio chiuso allo scopo di mantenervi condizioni di salubrit ;

Infiltrazione: immissione incontrollata d'aria in uno spazio attraverso fessurazioni del suo involucro;

Esfiltrazione: estrazione incontrollata d'aria da uno spazio attraverso fessurazioni del suo involucro;

Ventilazione naturale: ventilazione dell'edificio che dipende dalle differenze di pressione e/o temperatura senza l'ausilio di sistemi di movimentazione dell'aria che richiedano potenza; si suddivide in :

- aerazione;
- ventilazione termica;
- ventilazione trasversale .

Aerazione: ventilazione naturale per apertura dei serramenti;

Ventilazione termica: ventilazione naturale tramite cavedii o condotti verticali o montati con un angolo non inferiore a 45°, principalmente dovuta ad effetti termici (gli effetti dovuti alla pressione del vento sono ritenuti trascurabili);

Ventilazione trasversale: ventilazione naturale attraverso aperture in facciata principalmente dovuta alla pressione del vento sulle facciate stesse dell' edificio (gli effetti termici sono ritenuti trascurabili);

Ventilazione meccanica: ventilazione tramite l'ausilio di sistemi di movimentazione dell'aria che richiedano potenza;

Ventilazione ibrida: ventilazione dove la ventilazione naturale pu  almeno per un certo periodo essere supportata o sostituita dalla ventilazione meccanica.

Ventilazione meccanica bilanciata: ventilazione che impiega sistemi di movimentazione dell'aria richiedenti potenza (solitamente ventilatori) sia sull'aria di immissione che di estrazione in modo da ottenere un rapporto portata di aria/pressione nell'ambiente interno progettato.

Ventilazione meccanica per estrazione: ventilazione che impiega sistemi di movimentazione dell'aria richiedenti potenza (solitamente ventilatori) solo sull'aria di estrazione

Ventilazione meccanica per immissione: ventilazione che impiega sistemi di movimentazione dell'aria richiedenti potenza (solitamente ventilatori) solo sull'aria di immissione.

Impianti di ventilazione a singolo condotto: sistemi impiantistici per la ventilazione meccanica che hanno un sistema di condotti (canali) solo per l'immissione oppure per l'estrazione dell'aria.

Impianti di ventilazione a doppio condotto: sistemi impiantistici per la ventilazione meccanica che hanno un sistema di condotti (canali) sia per l'immissione che per l'estrazione dell'aria.

Bibliografia

Documento CTI 060100174. Calcolo del fabbisogno di energia primaria per ventilazione (revisione). Contributo di AiCARR. 30/03/2011, Milano.

Documento CTI 010204035. Resoconto della riunione di coordinamento per le UNI TS 11300. 10/05/2011, Milano.

Documento CTI 010200043. DRAFT , Revisione della specifica tecnica UNI/TS 11300-1: Prestazioni energetiche degli edifici-Parte 1:Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. 20/03/2012, Milano.

UNI/TS 11300-1: 2008 Prestazioni energetiche degli edifici-Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. Milano

CAPITOLO III

VERIFICA DEI VALORI DEL FATTORE DI UTILIZZAZIONE DELLE DISPERSIONI PER IL RAFFRESCAMENTO CON IL *SOFTWARE* DOCET PER LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

3.1. Introduzione

Il Decreto del 26 giugno 2009, Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli Edifici, del Ministero Dello Sviluppo Economico, al fine di garantire la promozione di adeguati livelli di qualità dei servizi di certificazione, assicurare la fruibilità, la diffusione e una crescente comparabilità delle certificazioni energetiche sull'intero territorio nazionale in conformità alla direttiva 2002/91/CE, promuovendo altresì la tutela degli interessi degli utenti, riporta nell' allegato A, le Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Nelle Linee guida, sono elencate le diverse metodologie di riferimento, che possono essere usate, per la determinazione della prestazione energetica degli edifici, differenti per utilizzo e complessità:

- a) “Metodo calcolato di progetto”, che prevede la valutazione della prestazione energetica a partire dai dati di ingresso del progetto energetico dell'edificio come costruito e dei sistemi impiantistici a servizio dell'edificio come realizzati.
- b) “Metodo di calcolo da rilievo sull'edificio o standard”, che prevede la valutazione della prestazione energetica a partire dai dati di ingresso ricavati da indagini svolte direttamente sull'edificio esistente. In questa situazione, si hanno diverse modalità di approccio :
 - i. mediante procedure di rilievo, anche strumentali, sull'edificio e/o sui dispositivi impiantistici effettuate secondo le normative tecniche di riferimento;
 - ii. per analogia costruttiva con altri edifici e sistemi impiantistici coevi, integrata da banche dati o abachi nazionali, regionali o locali;
 - iii. sulla base dei principali dati climatici, tipologici, geometrici ed impiantistici.

Queste metodologie prendono corpo nei metodi di calcolo di riferimento nazionale.

Metodo calcolato di progetto

Per il calcolo degli indici di prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale (EPi) e per la produzione dell'acqua calda sanitaria (EPacs), attuativo del “Metodo

calcolato di progetto o di calcolo standardizzato” , si fa riferimento alle metodologie di calcolo definite e precisamente alle norme della serie UNI/TS 11300 e loro successive modificazione e integrazioni:

- UNI/TS 11300 – 1 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
- UNI/TS 11300 – 2 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria;

In particolare:

- la Parte 1, definisce il metodo di calcolo della prestazione energetica dell’involucro edilizio per il riscaldamento ed il raffrescamento;
- la Parte 2, a partire dalla prestazione dell’involucro edilizio, permette di calcolare la prestazione del sistema edificio-impianti in relazione allo specifico impianto termico installato.

Metodi di calcolo da rilievo sull’edificio

Per il calcolo degli indici di prestazione energetica dell’edificio per la climatizzazione invernale (E_{Pi}) e per la produzione dell’acqua calda sanitaria (E_{Pacs}), attuativo del “Metodo di calcolo da rilievo sull’edificio” , sono previsti i seguenti tre livelli di approfondimento.

1liv. In merito al metodo di cui al punto bi, per il calcolo degli indici di prestazione energetica dell’edificio per la climatizzazione invernale (E_{Pi}) e per la produzione dell’acqua calda sanitaria (E_{Pacs}), si fa riferimento alle norme tecniche citate e alle relative semplificazioni previste per gli edifici esistenti. Infatti le predette norme prevedono, per gli edifici esistenti, modalità di determinazione dei dati descrittivi dell’edificio e degli impianti sotto forma di abachi e tabelle in relazione, ad esempio, alle tipologie e all’anno di costruzione.

2liv. In merito alla metodologia di cui al punto bii , per il calcolo degli indici di prestazione energetica dell’edificio per la climatizzazione invernale (E_{Pi}) e per la produzione dell’acqua calda sanitaria (E_{Pacs}), si fa riferimento al metodo di calcolo DOCET, predisposto da CNR ed ENEA, sulla base delle norme tecniche, il cui software applicativo è disponibile sui siti internet del CNR e dell’ENEA.

3liv. In merito alla metodologia di cui al punto biii , per il calcolo dell’indice di prestazione energetica dell’edificio per la climatizzazione invernale (E_{Pi}) si utilizza come riferimento il metodo semplificato presente nell’ allegato 2 delle Linee guida, mentre per il calcolo dell’indice energetico per la produzione dell’acqua calda sanitaria (E_{Pacs}) alle norme UNI/TS 11300 per la parte semplificata relativa agli edifici esistenti;

3.2. Riferimenti nazionali per la valutazione qualitativa delle caratteristiche dell’involucro edilizio volte a contenere il fabbisogno per la climatizzazione estiva

Per la valutazione della qualità termica estiva dell’involucro edilizio sono riferimenti nazionali le metodologie seguenti, in relazione alle procedure utilizzate per la determinazione degli indici di prestazione energetica.

Metodo basato sulla determinazione dell'indice di prestazione termica dell'edificio per il raffrescamento (E_{Pe,inv})

Congiuntamente all'applicazione delle metodologie del metodo calcolato di progetto e dei metodi di calcolo da rilievo, si procede alla determinazione dell'indice di prestazione termica dell'edificio per il raffrescamento (E_{Pe,inv}), espresso in kWh/m² anno, pari al rapporto tra il fabbisogno di energia termica per il raffrescamento dell'edificio (energia richiesta dall'involucro edilizio per mantenere negli ambienti interni le condizioni di comfort, non tiene conto dei rendimenti dell'impianto che fornisce il servizio e quindi non è energia primaria) e la superficie calpestabile del volume climatizzato. Il riferimento nazionale per il calcolo del fabbisogno di energia termica per il raffrescamento, direttamente o attraverso il metodo DOCET del CNR/ENEA, sono le norme tecniche:

UNI/TS 11300 – 1 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.

Sulla base dei valori assunti dal parametro E_{Pe,inv}, calcolati con la predetta metodologia, si classifica l'edificio.

3.3. Caratteristiche di DOCET

In questo paragrafo, non si vuole fare una descrizione dei dati e delle fasi per un buon utilizzo del programma, ma si desidera mettere in evidenza alcuni aspetti che sono importanti, ai fini del presente lavoro.

Il primo è costituito dal fatto che si richiede di modellizzare un edificio STANDARD, cioè la pre-elaborazione di un modello semplificato, a cui si giunge mediando tra i diversi parametri dell'involucro, di interesse in questo caso, e dell'impianto. Cosa questa che richiama immediatamente il concetto di Zona equivalente a cui fa riferimento la modellizzazione dell'edificio di *Energy Plus*.

Il secondo è costituito dal fatto che si può impostare direttamente il valore della trasmittanza termica degli elementi di involucro opaco e di quelli trasparenti.

Infine i Report di energia netta, cioè i fabbisogni di energia netta per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria, che visualizzano, per ogni mese, i vari termini che compongono il bilancio di energia termica, compreso il fattore di utilizzazione delle dispersioni, come è riportato nel paragrafo successivo.

3.4. Calcolo del fattore di utilizzazione delle dispersioni dell'equazione di bilancio termico mensile per la determinazione dell'energia termica per il raffrescamento

3.4.1. Zona termica e caratteristiche

La zona termica di tipo residenziale rappresentata in figura III.1. , è stata calcolata in undici contesti climatici selezionati per rappresentare le condizioni climatiche che determinano il regime termico degli edifici, come sarà maggiormente dettagliato nel capitolo VI.



FIG. III.1. Zona termica di tipo residenziale

Dimensioni

La zona termica è situata al terzo piano di un edificio di cinque piani, ha un'altezza netta di interpiano di 3m ed un'impronta netta in pianta di 400 m².

Caratteristiche di trasmissione

Si è assunta la stratigrafia rappresentata nelle tabelle seguenti.

TAB III.1. *Caratteristiche termofisiche delle pareti esterne*

Parete esterna	s (m)	λ (W/mK)	c (J/kg K)	ρ Kg/m ³	Profondità di penetrazione al periodo T (m)	s/d	Resistenza termica m ² K/ W
Internal plastering	0.015	0.70	850	1400	0.127	0.118	0.021
Masonry	0.15	0.79	850	1600	0.126	1.385	0.19
Insulating layer	0.10	0.04	850	30	0.208	0.289	2.500
Outer layer	0.115	0.99	850	1800	0.133	0.862	0.116
	38.00 s _{tot} (cm)						R _{strati_tot} = 2.827

Regime stazionario

Massa superficiale	M_s [kg/m ²]	471.00
Resistenza termica totale	R_t [m ² K/W]	2.997
Trasmittanza	U [W/m ² K]	0.334
Conduttanza	C [W/m ² K]	0.354
Capacità termica areica	C_{ta} [kJ/m ² K]	400.35
Costante di tempo	t [h]	333.34

Il valore di resistenza termica totale, riportato nella tabella, é relativo al caso in cui le resistenze termiche superficiali sono rispettivamente 0.13, interna e 0.04 quella esterna.

In DOCET, viene scelta una tipologia che si avvicina a quella definita e si imposta lo stesso valore di trasmittanza termica : 0.334 W/ m² K.

Analogamente si procede per quanto riguarda le caratteristiche dei serramenti, sia per quanto riguarda la tipologia, che per quanto riguarda la trasmittanza : 2.93 W/ m² K.

Il rapporto tra l'area finestrata e l'area in pianta (A_w / A_f) è 0.16 .

TAB III.2. *Caratteristiche termofisiche del soffitto*

Soffitto	s (m)	λ (W/mK)	c (J/kg K)	ρ Kg/m ³	Profondità di penetrazione al periodo T(24h) (m)	s/d	Resistenza termica m ² K/ W
acoustic board	0.02	0.06	840	400	0.070	0.285	0.333
mineral wool	0.10	0.04	850	50	0.161	0.622	2.500
concrete	0.18	2.10	850	2400	0.168	1.070	0.086
Mineral wool	0.04	0.04	850	50	0.161	0.249	1.000
Cement floor	0.06	1.40	850	2000	0.150	0.399	0.043
Plastic covering	0.004	0.23	1500	1500	0.053	0.075	0.017
	40.4 s_tot (cm)						Rstrati_tot = 3.979

TAB III.3. *Caratteristiche termofisiche del pavimento*

Pavimento	s (m)	λ (W/mK)	c (J/kg K)	ρ Kg/m ³	Profondità di penetrazione e al periodo T(24h) (m)	s/d	Resistenza termica m ² K/ W
Plastic covering	0.004	0.23	1500	1500	0.053	0.075	0.017
Cement floor	0.06	1.40	850	2000	0.150	0.399	0.043
Mineral wool	0.04	0.04	850	50	0.161	0.249	1.000
concrete	0.18	2.10	850	2400	0.168	1.070	0.086
mineral wool	0.10	0.04	850	50	0.161	0.622	2.50
acoustic board	0.02	0.06	840	400	0.070	0.285	0.333
	40.4 s_tot (cm)						R _{strati_tot} = 3.979

Il coefficiente di assorbimento solare delle superfici delle pareti e del pavimento é 0.6, mentre quello del soffitto é 0.9.

Sistemi vetrati

Le resistenze termiche del sistema vetrato, che riguardano sia la convezione che l'irraggiamento ad elevata lunghezza d'onda, sono le seguenti:

1. superficie esterna $R_{se} = 0,0435 \text{ m}^2 \text{ K/W}$;
2. cavità tra vetro esterno e vetro interno $R_{ic} = 0,173 \text{ m}^2 \text{ K/W}$;
3. superficie interna $R_{si} = 0,125 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

Trasmittanza termica del sistema vetrato $U_g = 2,93 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$.

Trasmittanza energetica solare totale del sistema vetrato $g = 0,77$.

Dati climatici

Si sottolinea che i valori di temperatura esterna e di irradiazione, nonché di tutti gli altri che per diversi motivi devono essere considerati nel calcolo, sono quelli della UNI 10349 : 1994, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici.

Altri dati

Gli apporti termici interni e la ventilazione, vengono impostate in relazione alla caratteristica di utilizzo della zona termica , che è di tipo residenziale :

- indice di ventilazione : 0.3 Vol/h ;
- apporti termici interni : 10.8 kWh/giorno .

3.4.2. Risultati

Si riportano i prospetti in cui figura il fabbisogno netto mensile, il contributo delle dispersioni e quello degli apporti, nonché il valore del coefficiente di utilizzazione delle dispersioni, per tutte le località considerate. Per le località di Roma e Milano, si riportano i prospetti che forniscono i valori giornalieri del fattore di utilizzazione delle dispersioni, che nella norma non sono definiti.

Ancona

Raffrescamento

	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	
Dispersioni per Trasmissione	1970.3	1050.3	591.4	667.5	1198.9	168	kWh
Dispersioni per Ventilazione	764.9	369.7	168.4	201.3	434	64.2	kWh
Apporti interni	334.8	324	334.8	334.8	324	32.4	kWh
Apporti solari	2933.2	2879.5	3143.7	2729.5	2163	187.8	kWh
Coeff. di utilizzazione	4.8	4.99	5	5	4.95	4.52	-
Fabbisogno netto	704.2	1787.1	2718.8	2195.6	893.9	20.4	kWh

Bari

Raffrescamento

	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	
Dispersioni per Trasmissione	1785.2	947	523	578.9	1047.5	1322.8	kWh
Dispersioni per Ventilazione	684.8	325	138.8	163	368.5	507.3	kWh
Apporti interni	334.8	324	334.8	334.8	324	248.4	kWh
Apporti solari	3097.5	3035.9	3297.4	2965.3	2585.7	1755.5	kWh
Coeff. di utilizzazione	1.95	2	2	2	2	1.87	-
Fabbisogno netto	1038.7	2088.9	2970.3	2558.3	1499.9	331.1	kWh

Bolzano

Raffrescamento

	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	
Dispersioni per Trasmissione	1781.6	1218.8	931.7	1100.1	1096.7	kWh
Dispersioni per Ventilazione	691.7	442.6	315.6	388.5	415.2	kWh
Apporti interni	302.4	324	334.8	334.8	226.8	kWh
Apporti solari	2434.1	2665.7	2431.9	2418.5	1477.2	kWh

Coeff, di utilizzazione	5.72	5.99	6	5.99	5.88	-
Fabbisogno netto	468.6	1339.9	1519.2	1273.3	306.4	kWh

Cagliari

Raffrescamento							
	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	
Dispersioni per Trasmissione	1687.3	827	357.9	369.8	791.2	1396.7	kWh
Dispersioni per Ventilazione	642.5	273.1	67.4	72.6	257.7	525.2	kWh
Apporti interni	334.8	324	334.8	334.8	324	302.4	kWh
Apporti solari	2760.8	2852.1	3091	2769.1	2341.9	1887.7	kWh
Coeff, di utilizzazione	2.92	3	3	3	2.99	2.8	-
Fabbisogno netto	857.7	2076.6	3001	2661.6	1618.6	418.4	kWh

Firenze

Raffrescamento							
	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	
Dispersioni per Trasmissione	1837.4	967.7	483.2	564.2	1162.6	230.7	kWh
Dispersioni per Ventilazione	707.4	334	121.6	156.6	418.3	88.5	kWh
Apporti interni	334.8	324	334.8	334.8	324	43.2	kWh
Apporti solari	2798.3	2884.3	3109.1	2692.1	2321.3	263.1	kWh
Coeff, di utilizzazione	6.67	6.99	7	6.99	6.87	0.87	-
Fabbisogno netto	730.9	1908.6	2839	2306	1092.3	29.9	kWh

Milano

Raffrescamento						
	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	
Dispersioni per Trasmissione	1795.8	893	467.3	680.4	1211.1	kWh
Dispersioni per Ventilazione	689.4	301.7	114.7	206.9	447.7	kWh
Apporti interni	334.8	324	334.8	334.8	291.6	kWh
Apporti solari	2637.7	2750	2982.9	2495.5	1853.2	kWh
Coeff, di utilizzazione	7.61	7.99	8	7.99	7.82	-
Fabbisogno netto	648.7	1880.9	2735.7	1943.3	574.8	kWh

Milano

Coefficiente utilizzazione					
Giorni	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
1	0.87	0.99	1	1	1
2	0.87	1	1	1	0.99
3	0.88	1	1	1	0.99
4	0.89	1	1	1	0.99
5	0.89	1	1	1	0.99
6	0.9	1	1	1	0.99
7	0.9	1	1	1	0.99
8	0.91	1	1	1	0.99
9	0.91	1	1	1	0.98

10	0.92	1	1	1	0.98
11	0.92	1	1	1	0.98
12	0.93	1	1	1	0.98
13	0.93	1	1	1	0.97
14	0.94	1	1	1	0.97
15	0.94	1	1	1	0.97
16	0.94	1	1	1	0.97
17	0.95	1	1	1	0.96
18	0.95	1	1	1	0.95
19	0.96	1	1	1	0.94
20	0.96	1	1	1	0.93
21	0.97	1	1	1	0.92
22	0.97	1	1	1	0.91
23	0.97	1	1	1	0.9
24	0.98	1	1	1	0.89
25	0.98	1	1	1	0.88
26	0.98	1	1	1	0.87
27	0.98	1	1	1	0.86
28	0.99	1	1	1	0
29	0.99	1	1	1	0
30	0.99	1	1	1	0
31	0.99	0	1	1	0

Palermo

Raffrescamento

	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	
Dispersioni per Trasmissione	1623.5	849	365	376.3	737.2	1502.6	kWh
Dispersioni per Ventilazione	614.9	282.7	70.5	75.4	234.3	562.6	kWh
Apporti interni	334.8	324	334.8	334.8	324	334.8	kWh
Apporti solari	3043	3084.3	3116.2	2843	2540.7	2264.3	kWh
Coeff. di utilizzazione	0.98	1	1	1	1	0.95	-
Fabbisogno netto	1183.1	2276.9	3015.6	2726.1	1893.7	643.1	kWh

Potenza

Raffrescamento

	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	
Dispersioni per Trasmissione	1570.2	1096.8	1128.5	1403	kWh
Dispersioni per Ventilazione	594.6	387.1	400.8	533.6	kWh
Apporti interni	324	334.8	334.8	280.8	kWh
Apporti solari	2186.9	3008.9	2655	1968.6	kWh
Coeff. di utilizzazione	8.92	9	8.99	8.76	-
Fabbisogno netto	500	1861.8	1465.6	447.8	kWh

Rimini

Raffrescamento

	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
--	--------	--------	--------	--------	-----------

Dispersioni per Trasmissione	1701.1	1237.8	807.4	945.3	1478.1	kWh
Dispersioni per Ventilazione	662.5	450.9	261.9	321.5	554.8	kWh
Apporti interni	280.8	324	334.8	334.8	324	kWh
Apporti solari	2337.5	2907.6	3113.7	2723.1	2310	kWh
Coeff, di utilizzazione	0.92	9.91	10	9.99	9.71	-
Fabbisogno netto	449.2	1552.1	2379.4	1792.4	696.2	kWh

ROMA

Raffrescamento

	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	
Dispersioni per Trasmissione	1680.2	819.5	333.1	423.5	985	843.9	kWh
Dispersioni per Ventilazione	639.4	269.9	56.7	95.8	341.5	322.7	kWh
Apporti interni	334.8	324	334.8	334.8	324	162	kWh
Apporti solari	2941.9	2984.1	3192.1	2797.4	2425.2	1063.7	kWh
Coeff, di utilizzazione	1.89	10.91	11	10.99	10.71	0.9	-
Fabbisogno netto	1025.8	2219.3	3137	2612.8	1430.3	175.1	kWh

ROMA

Coefficiente utilizzazione

Giorni	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
1	0.93	1	1	1	1
2	0.94	1	1	1	1
3	0.94	1	1	1	1
4	0.94	1	1	1	1
5	0.95	1	1	1	1
6	0.95	1	1	1	1
7	0.95	1	1	1	1
8	0.96	1	1	1	1
9	0.96	1	1	1	1
10	0.96	1	1	1	1
11	0.97	1	1	1	1
12	0.97	1	1	1	1
13	0.97	1	1	1	1
14	0.97	1	1	1	1
15	0.97	1	1	1	1
16	0.98	1	1	1	1
17	0.98	1	1	1	1
18	0.98	1	1	1	1
19	0.98	1	1	1	1
20	0.99	1	1	1	1
21	0.99	1	1	1	1
22	0.99	1	1	1	0.99
23	0.99	1	1	1	0.99
24	0.99	1	1	1	0.99

25	0.99	1	1	1	0.99
26	0.99	1	1	1	0.99
27	0.99	1	1	1	0.99
28	0.99	1	1	1	0.98
29	1	1	1	1	0.98
30	1	1	1	1	0.98
31	1	0	1	1	0

Verona

Raffrescamento

	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	
Dispersioni per Trasmissione	1543.7	1073.6	700.5	789.5	1359.8	kWh
Dispersioni per Ventilazione	594.4	379.8	215.6	254.1	506.4	kWh
Apporti interni	280.8	324	334.8	334.8	313.2	kWh
Apporti solari	2094.4	2569.4	2719.5	2413.8	2026.8	kWh
Coeff, di utilizzazione	2.82	11.91	12	11.99	11.66	-
Fabbisogno netto	413.5	1446.6	2138.3	1705.6	583	kWh

3.4.3. Analisi dei risultati

Il valore del coefficiente di utilizzazione delle dispersioni fornito dal programma, nei prospetti del fabbisogno netto, si mantiene costantemente elevato, raggiungendo un valore pari a 12, ad esempio, nel mese di luglio e per la città di Verona. E' calcolato il valore 1 solo per le condizioni al contorno di Palermo. Inoltre i valori del fabbisogno netto, si ottengono direttamente dalla differenza tra il valore fornito dalla somma degli apporti interni e solari, meno la somma delle dispersioni per trasmissione e ventilazione.

Per quanto riguarda i prospetti dei valori giornalieri del fattore di utilizzazione delle dispersioni, se da un lato si possono "agganciare" a quanto riportato nel paragrafo 4.4. del capitolo IV (Corrado, Fabrizio 2008), dall'altro dequalificano il metodo mensile, perché, si ribadisce, il metodo mensile non considera i valori giornalieri del rapporto di bilancio termico e perciò i valori giornalieri del fattore di utilizzazione delle dispersioni.

CAPITOLO IV

LE RICERCHE SUL FATTORE DI UTILIZZAZIONE E SUI METODI APPROSSIMATI

4.1. Introduzione

Il metodo che utilizza i fattori di correlazione, nacque in Olanda dove era già utilizzato agli inizi degli anni '90 (van den Ham, 1992), e fu esteso come metodo mensile per calcolare il fabbisogno energetico per il raffrescamento degli edifici non residenziali (NEN 2916, 1995); venne successivamente proposto per l'adozione nei regolamenti edilizi in Belgio ed in Germania. Nel 2004 lo stesso metodo fu applicato nei Paesi Bassi anche per gli edifici residenziali (NEN 5128:2004), per garantire il comfort termico in estate e per stimolare le tecniche di raffreddamento passivo (van Dijk, Spiekman, de Wilde).

Nella letteratura scientifica sull'argomento si trovano diversi contributi, ed essendo convinti che ogni contributo sia importante per lo sviluppo della migliore comprensione dei fenomeni e per una maggiore consapevolezza delle procedure di calcolo, si desidererebbe riportarli tutti. Per ovvie ragioni, invece, si esporranno, peraltro in modo sintetico, quelli che sono maggiormente vicini alla problematica dei fattori di utilizzazione nel metodo mensile per il calcolo del fabbisogno di energia termica per il raffrescamento, nelle condizioni climatiche nazionali.

4.2. La verifica della norma olandese nelle condizioni climatiche italiane

Il professore Luigi Schibuola, partendo dall'osservazione che le temperature medie mensili delle sei località italiane considerate, risultavano inferiori a 26°C, e che , pertanto, il termine di scambio che figurava nell'equazione del bilancio proposto nella norma olandese comportava sempre una riduzione del carico, decise di determinare i valori dei fattori di utilizzo che si sarebbero dovuti impiegare con l'equazione del bilancio citata, in considerazione dei fabbisogni mensili calcolati con il *software* DOE, allora disponibile. I valori che si ottennero erano privi di significato e non si potevano calcolare con le formule fornite per il fattore di utilizzazione, cioè in funzione del rapporto di bilancio termico e della costante di tempo dell'edificio.

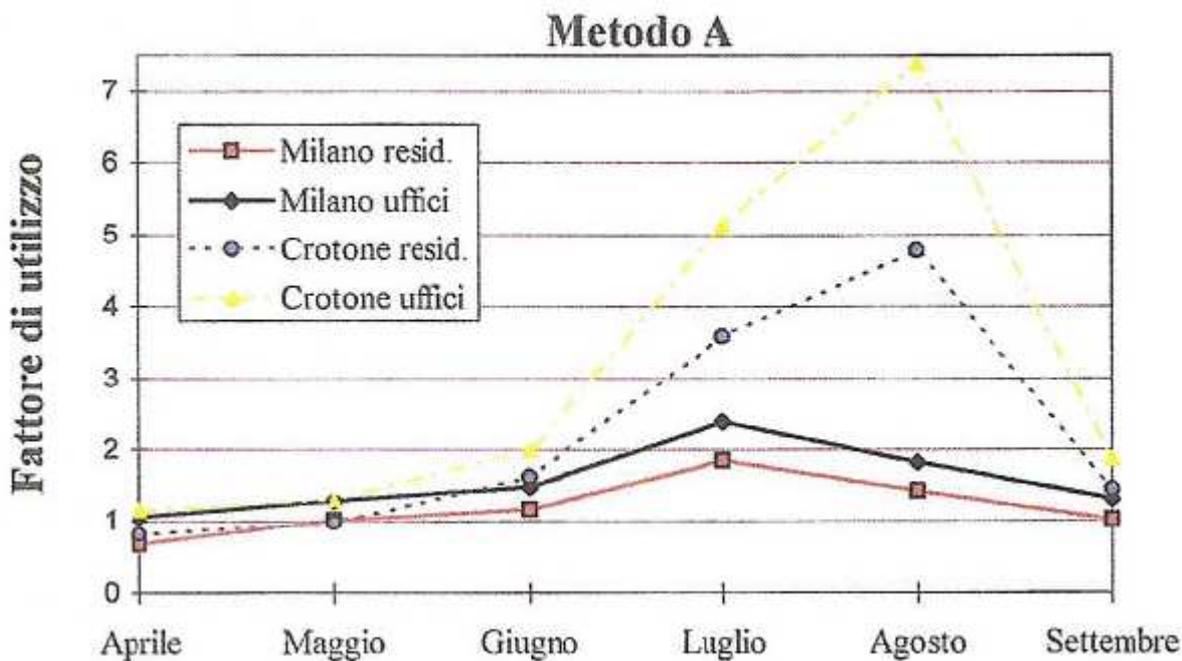


FIG. IV.1. Fattori di utilizzo necessari con il metodo della norma olandese, per ottenere gli stessi fabbisogni calcolati con il programma DOE, per Milano e Crotone; (da CDA n. 2 febbraio 1999).

4.3. Il fattore di utilizzo nelle condizioni climatiche italiane

In seguito alla verifica esposta al paragrafo 4.2., il professore Schibuola, propose un algoritmo di calcolo del fabbisogno mensile, basato sulla considerazione che non tutti gli apporti entranti contribuivano al carico, perché una loro quota era spontaneamente dispersa all'esterno.

$$Q_c = \eta_u (Q_I + Q_{si}) - (Q_L - Q_{se}), \quad (IV.1.)$$

dove

Q_L perdite totali per trasmissione e ventilazione, MJ;

Q_{si} apporti solari entranti attraverso le superfici opache, MJ;

Q_{se} apporti solari entranti attraverso le superfici trasparenti, MJ;

Q_I apporti interni, MJ;

η_u fattore di utilizzazione dei flussi entranti.

$$\gamma = 1 - \frac{Q_L}{Q_I + Q_{si} + Q_{se}} \quad (IV.2)$$

In base a questo modello furono ottenuti i risultati riportati nella FIG. IV. 2.

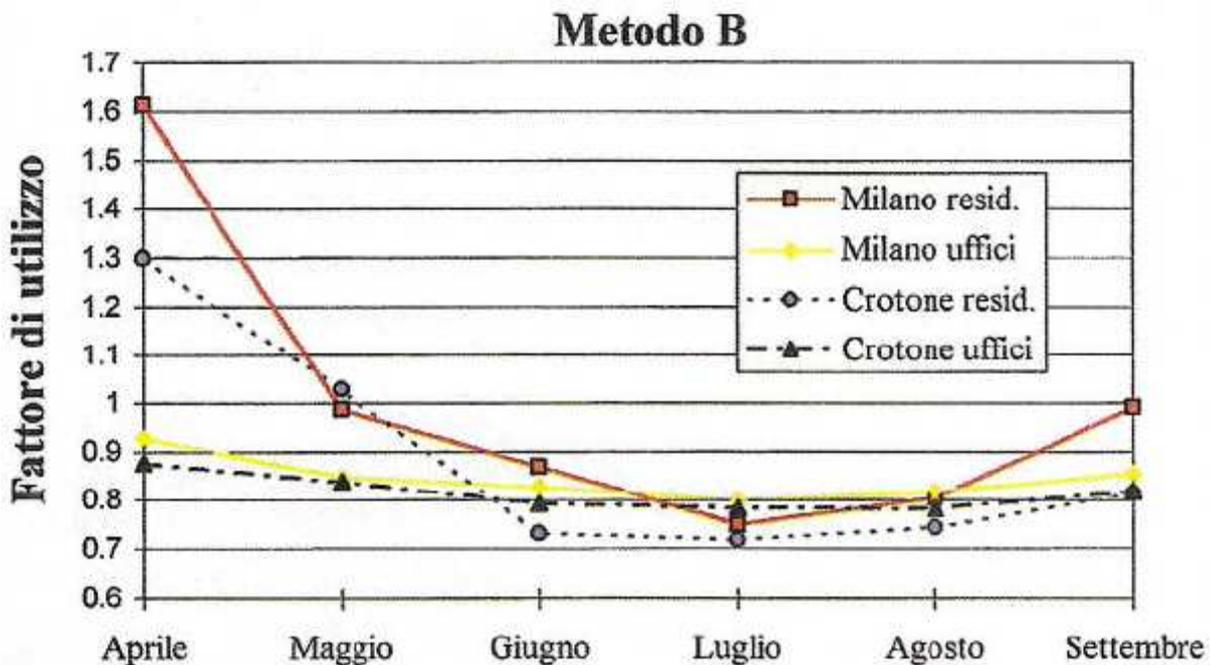


FIG. IV. 2. Fattori di utilizzo necessari con il metodo proposto da Schibuola, per ottenere gli stessi fabbisogni calcolati con il programma DOE, per Milano e Crotone; (da CDA n. 2 febbraio 1999).

4.4. Il significato del fattore di utilizzazione dal principio di sovrapposizione degli effetti (Corrado e Fabrizio 2008)

Assumendo per i profili orari l'andamento della FIG. IV. 3. , e applicando il principio della sovrapposizione degli effetti alle sollecitazioni termiche che agiscono sull'edificio, il carico di riscaldamento o raffreddamento può essere espresso come somma di due termini: una quota relativa alle dispersioni per trasmissione e ventilazione e una quota relativa agli apporti gratuiti.

I termini del bilancio termico dell'edificio, riportati nella FIG. IV. 4. , consentono di esprimere il fabbisogno termico per raffreddamento e riscaldamento.

Infatti

$Q_{L \rightarrow G}$ è la parte di dispersioni che vanno a compensare gli apporti gratuiti, abbassando perciò il fabbisogno di energia per riscaldamento/raffreddamento;

$Q_{L,extra}$ è la parte di extra-dispersioni rispetto agli apporti, che produce un fabbisogno di riscaldamento in inverno e un abbassamento della temperatura interna al di sotto della temperatura di setpoint in estate;

Q_{L+} è l'energia termica entrante all'interno dell'edificio per effetto dell'incremento della temperatura esterna sopra quella interna;

$Q_{G,extra}$ è la quota di extra-apporti gratuiti rispetto alle dispersioni, che produce un aumento della temperatura interna in inverno e un fabbisogno di raffrescamento in estate.

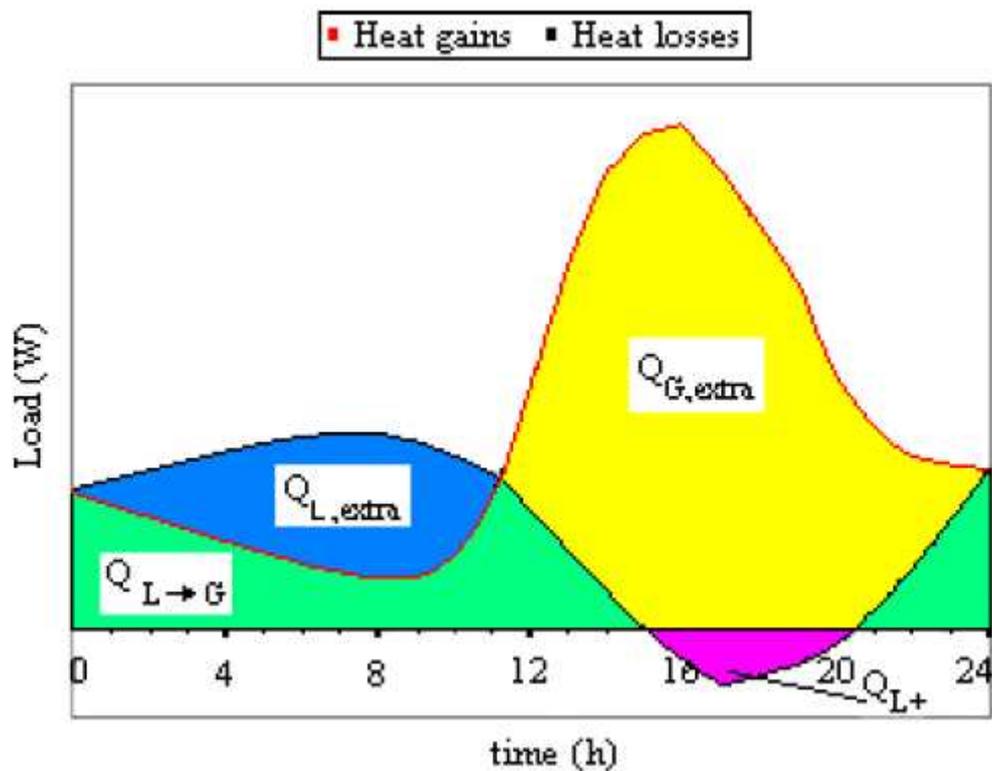


FIG. IV. 3. Profilo orario delle due componenti del carico di riscaldamento /raffrescamento per un giorno tipo.

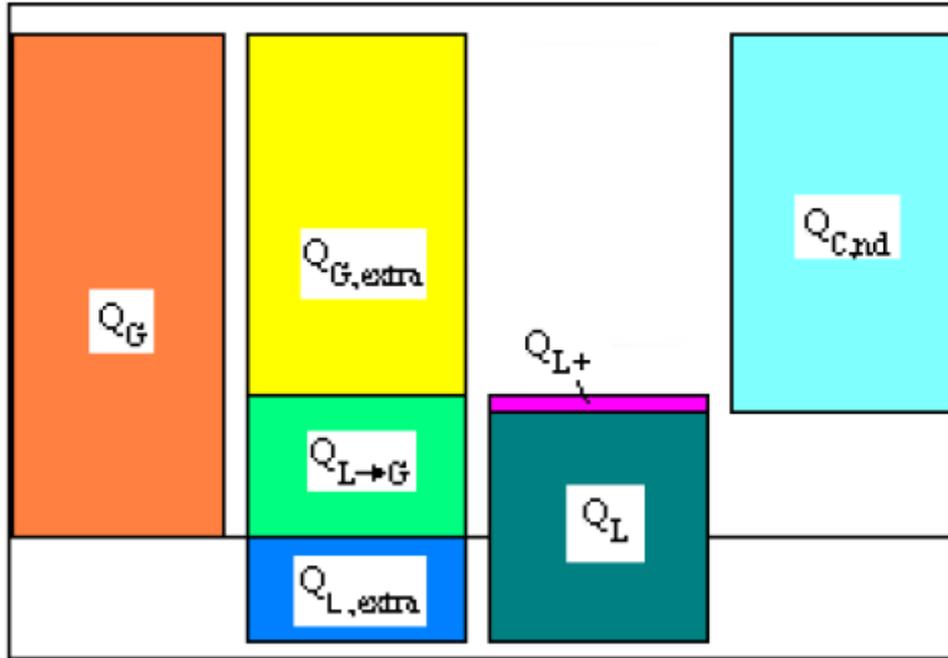


FIG. IV. 4. Componenti del fabbisogno termico per raffrescamento per un giorno tipo

In un giorno tipo estivo,

$$Q_{C,nd} = Q_{G,extra} + Q_{L+} = Q_G - Q_{L \rightarrow G} + Q_{L+} , \quad (IV.3)$$

“ perciò il fattore di utilizzazione delle dispersioni può essere espresso come rapporto tra le dispersioni che vanno a compensare gli apporti (utili perciò ai fini di ridurre la domanda di energia per raffrescamento) e le dispersioni totali” (Corrado e Fabrizio 2008):

$$\eta_{C,ls} = (Q_{L \rightarrow G} - Q_{L+}) / Q_L , \quad (IV.4)$$

dove

$$Q_L = Q_{L \rightarrow G} + Q_{L,extra} - Q_{L+} \quad \text{dove,}$$

$$\eta_{C,ls} = (Q_{L \rightarrow G} - Q_{L+}) / (Q_{L \rightarrow G} + Q_{L,extra} - Q_{L+}) \quad (IV.5)$$

Il fattore di utilizzazione veniva così direttamente correlato al profilo temporale dei carichi termici dell'edificio ed ai *set point* di gestione dell'impianto di climatizzazione, su base giornaliera a cui si riferiscono i diagrammi riportati.

4.5. *La caratterizzazione dei parametri numerici adimensionali e della costante di tempo di riferimento nelle condizioni climatiche italiane*

Nell'ambito dell'attività di validazione furono condotte varie indagini su una serie di casi studio (edificio monofamiliare, edificio multi familiare, varie tipologie di edificio per uffici) al variare delle caratteristiche termofisiche delle strutture. Queste portarono in primo luogo a ritenere valida l'equazione proposta dal CEN nella sua espressione generale, anche nel caso del raffrescamento, pur necessitando di una migliore approssimazione del parametro a_c . A tal riguardo i coefficienti della relazione che figura nel paragrafo 1.5. del capitolo I, furono determinati attraverso regressione multipla a partire da valori di coefficienti di utilizzazione, fabbisogni, apporti e dispersioni determinati tutti attraverso le simulazioni dinamiche, i cui risultati erano in linea con quelli di altri lavori svolti sulla determinazione del fattore di utilizzazione (Jokisalo e Kumitski, 2007).

In un lavoro del 2007, (Corrado e Fabrizio, 2007) furono determinati per regressione i valori dei parametri della correlazione: 8,1 per $a_{c,0}$ e 17 h per $\tau_{c,0}$, inoltre venne introdotto un ulteriore termine che dipende dal rapporto tra l'area finestrata A_w e l'area di pavimento climatizzata A_f , e dove il fattore k vale 13.

4.6. *Correlazioni numerico-sperimentali per archetipi edilizi*

In questo lavoro, nell'ambito della identificazione di un modello semplificato per il calcolo del fabbisogno energetico per il raffrescamento estivo degli edifici, è stato sviluppato un modello stazionario, che include un parametro correttivo, derivato da correlazioni numerico-sperimentali, che tiene conto degli effetti delle capacità termiche delle strutture edilizie sul fabbisogno energetico. In virtù delle caratteristiche dell'andamento dei flussi nel periodo estivo (possibile

inversione del flusso termico attraverso l'involucro tra giorno e notte), si è dimostrato alquanto inefficiente utilizzare una parametrizzazione della correlazione in funzione del tempo caratteristico dell'edificio e del rapporto tra apporti gratuiti e dispersioni, e si è preferito semplificare il problema ricorrendo alla definizione di archetipi edilizi e all'uso di parametri esclusivamente climatici. Pertanto, ai fini della significatività dei risultati, è stata prima effettuata un'analisi campionaria delle tipologie edilizie per uffici e commerciali, da cui derivare gli edifici medi rappresentativi (archetipi) su cui costruire le correlazioni. Successivamente si è analizzata la dipendenza del fabbisogno energetico di raffrescamento estivo da diversi parametri climatici, in modo da individuare la migliore forma correlante il fattore correttivo dinamico con il parametro climatico.

Una volta scelto tale parametro, le correlazioni realizzate per ogni archetipo sono state validate (rispetto alla dipendenza climatica), ricalcolando il fabbisogno energetico con il modello semplificato per un insieme di stazioni climatiche indipendente da quello utilizzato per sviluppare le correlazioni, con ottimi risultati.

La proposta del modello semplificato, presente nel *Programma di Ricerca Scientifica d'Interesse Nazionale- MURST 1998, "Valutazione e riqualificazione energetica dell'edilizia residenziale e terziaria", revisionato e completato nell'ambito del PRSIN – MUST 2000, "Sviluppo di algoritmi di base per modelli dinamici di sistemi edificio-impianto per le tipologie edilizie mediterranee"*, parte dalle norme (UNI 10344 e EN 832) vigenti nel periodo in cui fu elaborato il lavoro che si riporta, e

quindi, da un bilancio energetico mensile dell'ambiente riscaldato basato su un modello quasi-stazionario, cioè un modello che utilizza equazioni dello stato stazionario per il calcolo delle interazioni termiche e che tiene poi conto a posteriori delle deviazioni dovute alle caratteristiche capacitive dell'edificio tramite un fattore correttivo su alcune grandezze del bilancio energetico. Il fattore è quello di utilizzazione degli apporti gratuiti, η_u , che moltiplicando i valori stazionari dell'energia dovuta agli apporti gratuiti interni, ne definisce la quota parte utile alla riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento. Tale fattore si calcola in funzione di due parametri che sono il tempo caratteristico adimensionale, τ , dell'edificio (grandezza che tiene conto del rapporto tra capacità termica e coefficiente di dispersione globale dell'edificio) e il rapporto tra energia guadagnata ed energia dispersa, γ .

4.6.1. L'equazione del bilancio energetico

L'equazione di bilancio energetico per un generico edificio, riferita al giorno o suoi multipli, e nell'ipotesi di poter applicare alle pareti l'ipotesi dello stato quasi-stazionario, cioè che sia trascurabile l'effetto delle capacità termiche, è data da:

$$Q_{sys}^{(s)} = Q_L^{(s)} - Q_{Se}^{(s)} - Q_{Si} - Q_I \quad (IV.6)$$

dove Q_{sys} è l'energia richiesta al sistema di raffrescamento e dove l'apice (s) indica che le grandezze sono calcolate con le relazioni dello stato stazionario, mentre i termini senza apice rappresentano grandezze termiche indipendenti o, meglio, condizioni al contorno delle singole pareti da calcolarsi nello stesso modo in qualsiasi condizione e dove:

- Q_L è l'energia mensile scambiata per trasmissione e ventilazione ;
- Q_{Se} è il contributo mensile dovuto alla radiazione solare incidente sulla superficie esterna dei componenti opachi;
- Q_{Si} è il contributo mensile dovuto alla radiazione solare incidente sulla superficie interna dei componenti opachi dopo essere penetrata nella zona attraverso i componenti trasparenti;
- Q_I è l'energia mensile dovuta agli apporti interni.

Osservando che, in particolar modo nel periodo estivo, l'ipotesi dello stato quasi-stazionario non è applicabile, con la diretta conseguenza che la temperatura delle superfici interne delle pareti che costituiscono il sistema edificio sono una funzione complessa del tempo, attraverso l'influenza delle condizioni climatiche esterne ed interne e delle specifiche caratteristiche resistivo-capacitive, si esprime la temperatura delle superfici interne come:

$$T_{si}(t) = \overline{T_{si}} + \tilde{T}_{si}(t) \quad (IV.7)$$

dove, il primo addendo, è la componente stazionaria legata solo alla differenza di temperatura tra esterno e interno (cioè il valore assunto in presenza del Δt_i^e medio giornaliero) ed il secondo rappresenta la componente oscillatoria che tiene conto di tutti gli altri fattori (quali, ad esempio, la radiazione solare e le radiazioni mutue) e delle caratteristiche capacitive del sistema.

Se si riscrive il bilancio energetico, sulle 24 ore o su multipli di essa, disaccoppiando in questo modo la componente stazionaria da quella variabile nel tempo ed associata alle capacità termiche, ed introducendo la seguente definizione:

$$\int_0^{24} \sum_j A_j h_{CR-i,j} \left[\tilde{T}_{si}(t) - \bar{T}_{op,i} \right]_j dt = Q_{dyn} \quad (IV.8)$$

il bilancio in condizioni dinamiche è esprimibile come:

$$Q_{sys}^{(d)} = Q_L^{(S)} - Q_{dyn} - Q_{Si} - Q_I \quad (IV.9)$$

Il problema adesso si riconduce alla definizione di una forma approssimata del termine Q_{dyn} , che sia di facile stima e possibilmente funzione solo di quantità stazionarie. L'unica condizione che si ha a priori su tale possibile forma è il rispetto della condizione al limite, che discende dal confronto delle due, cioè:

$$\lim_{cap \rightarrow 0} Q_{dyn} = Q_{Se}^{(S)}$$

Per mantenere il più possibile simile il nuovo modello con quello adottato dalla normativa per il riscaldamento invernale, decisero di utilizzare, in alternativa tra loro, le seguenti approssimazioni:

$$Q_{dyn} \cong \eta_d \cdot (Q_{Si} + Q_{Se}^{(S)} + Q_{I,rd}) - Q_{Si} - Q_{I,rd} = \eta_d \cdot Q_{Se}^{(S)} - (1 - \eta_d) \cdot (Q_{Si} + Q_{I,rd}) \quad (IV.10)$$

ottenendo i due seguenti, alternativi, modelli monoparametrici η_d :

$$Q_c = Q_{sys} = (Q_L - Q_{I,cv}) - \eta_d \cdot (Q_{I,rd} + Q_{Si} + Q_{Se}) \quad (IV.11)$$

$$Q_c = Q_{sys} = (Q_L - Q_I) - \eta_d \cdot (Q_{Si} + Q_{Se}) \quad (IV.12)$$

dove $Q_c = Q_{sys}$ è il valore dell'energia mensile richiesta al sistema di raffrescamento (valore negativo), il fattore η_d non risulta più essere un fattore di utilizzazione degli apporti interni gratuiti (compreso tra 0 e 1) ma diventa il fattore correlante che tiene conto degli effetti capacitivi dell'edificio (il più delle volte al di sopra dell'unità), e tutte le quantità energetiche presenti vengono calcolate in regime stazionario, (viene per questo omesso l'apice (s)).

La differenza tra il modello identificato dall'equazione (IV.11), che fu indicato con modello A, e quello della (IV.12), modello B, consiste nell'aver separato, nel primo, il contributo degli apporti interni, Q_i , nelle componenti convettiva e radiativa e di avere attribuito un'influenza diversa a tali termini. In particolare nel primo caso fu ipotizzato che l'influenza della componente radiativa degli apporti interni sul fabbisogno energetico fosse mediata in modo esplicito dalle capacità termiche delle pareti.

4.6.2. Procedura per l'identificazione e il calcolo delle correlazioni

Si riporta, sinteticamente, la procedura che fu applicata ad ambo i modelli per l'identificazione e il calcolo delle correlazioni per la stima del parametro η_d .

La procedura per l'identificazione delle forme funzionali più adatte alla stima di η_d , vide nell'ambito dell'analisi critica delle distribuzioni $\eta_d - t_c$ per l'individuazione dei parametri di maggiore influenza su η_d per la ricerca della migliore forma funzionale del fattore correlante, che:

- un parametro era la morfologia edilizia, che rese necessaria una suddivisione del problema in parti con la creazione di più forme funzionali di η_d valide per gruppi di tipologie edilizie (si trovano indicati nell'ordine: primo raggruppamento di tipologia: *ind1&5*, *ind6&8*, *ind7&9*, *ind2*, *ind3*, *ind4*; come in figura), perciò si resero necessarie 6 distinte correlazioni; si consideri che t_c è la costante di tempo dell'edificio di capacità termica C e coefficiente di dispersione globale H_k .

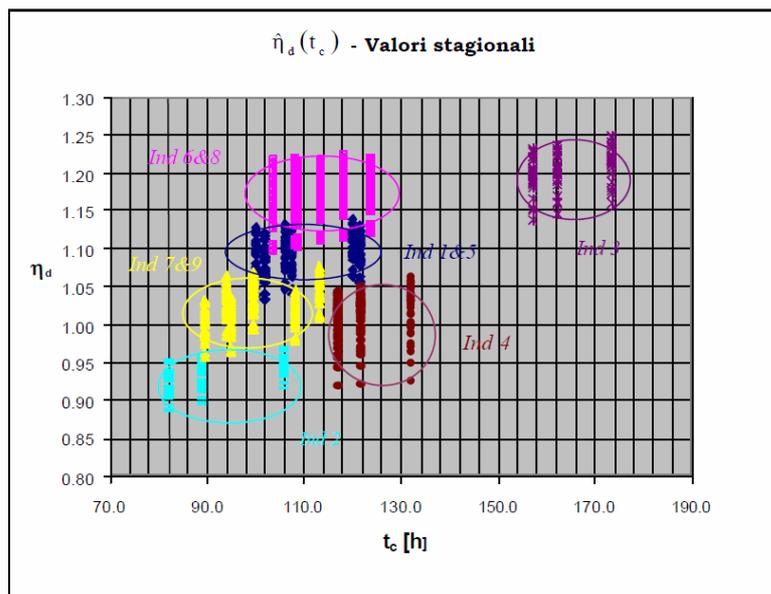


FIG. IV.5.

b. gli altri parametri erano climatici; gradi giorno estivi (GG), irradianza solare media giornaliera media mensile o stagionale (I_m), temperatura media giornaliera media mensile o stagionale (T_m), differenza tra il valore prefissato di temperatura estiva interna e il valore medio giornaliero medio mensile della temperatura dell'aria esterna, $DT_m = T_{int} - T_{ext,medio}$.

Utilizzando i diversi parametri (GG, I_m , T_m , DT_m) e loro combinazioni, usando come indicatori R (coefficiente di correlazione) e s (deviazione standard), furono calcolati sia su base mensile che stagionale le curve di correlazione (nel senso dei minimi quadrati) per la ricerca del miglior parametro correlante di $\tilde{\eta}_d$, separatamente per ognuna delle sei categorie di edifici.

4.6.3. Correlazioni e risultati

La procedura fu applicata ai due modelli espressi dall'equazione (IV.11) e (IV.12), rispettivamente per il modello A e modello B, sia su base mensile che stagionale. In entrambi i casi si ebbe una migliore

stima del fabbisogno impiegando una correlazione su base stagionale.

Di contro l'analisi che si condusse sul coefficiente di correlazione, R, e sulla deviazione standard, σ , evidenziò quali indicatori climatici che ottimizzano la correlazione grandezze diverse: DT_m per il modello A, T_m per il modello B; cioè l'impiego della forma

$$\tilde{\eta}_d(DT_m) \quad (IV.13)$$

per il modello A

$$\tilde{\eta}_d(T_{em}) \quad (IV.14)$$

e per il modello B;

la forma correlante in entrambi i casi è polinomiale:

$$\tilde{\eta}_d^A = \sum_{i=0}^3 a_i \cdot (DT_m)^i \quad (IV.15)$$

$$\tilde{\eta}_d^B = \sum_{i=0}^3 a_i \cdot (T_m)^i \quad (IV.16)$$

I risultati, espressi dalla figura riportata, furono considerati soddisfacenti, (gli scostamenti sono inferiori al 5% ed al 4% in modulo rispettivamente per il modello A e B) per tutti i valori del carico di raffrescamento e per tutti gli archetipi edilizi analizzati.

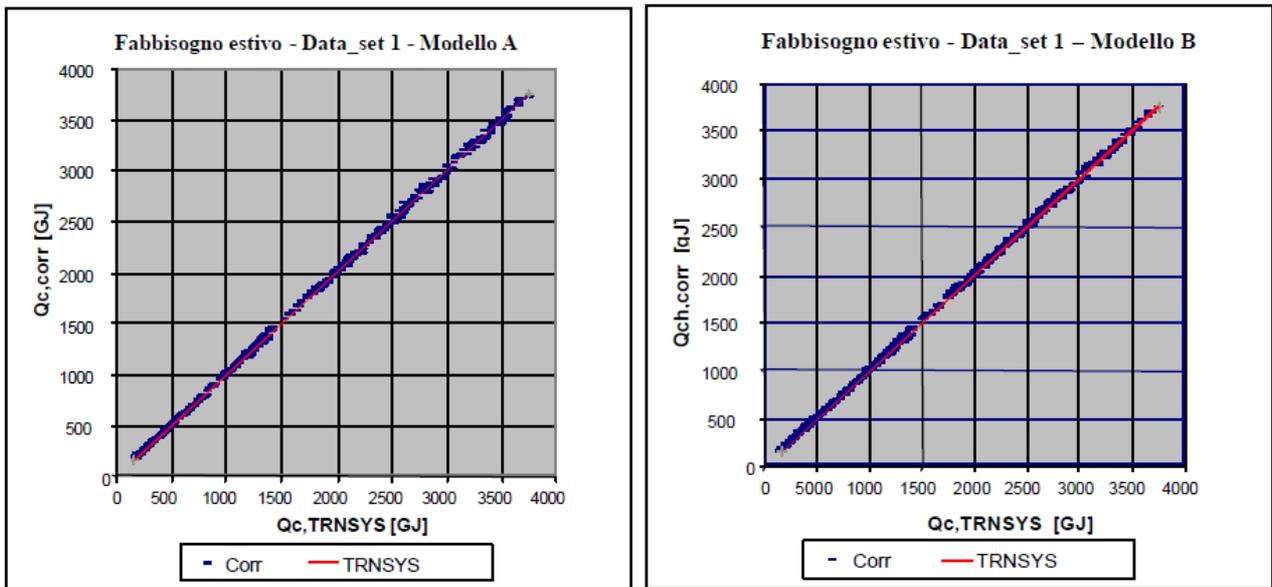


FIG. IV. 6.

Fabbisogno energetico estivo stimato rispetto alla simulazione dinamica (Data Set 1) per i due modelli A e B

Una ulteriore analisi, relativa a casi in cui tipologie d'impianto diverse inducessero tassi di infiltrazione variabili tra 0 e 0,5 volumi all'ora, e nell'ipotesi di un funzionamento dell'impianto di raffrescamento di 24 ore su 24, il modello quasi-stazionario monoparametrico, modello B (IV.12), con i coefficienti della tabella, raggiunge una capacità di stima che comportò una deviazione massima (in sottostima) dell'8.8% relativamente ad alcuni casi particolari, legati ad uffici con poca superficie disperdente collocati in una località con richieste modeste a livello di fabbisogno energetico.

DATI STAGIONALI	a_0	a_1	a_2	a_3
Torri con trasparenza totale (ind2)	-2.09517	0.3931	-0.01736	2.6214E-04
Grossi parall. con finestre isolate (ind3)	-3.737	0.51803	-0.01636	1.3914E-04
Torri e grossi parall. con trasparenza a nastro (ind1&5)	-3.40561	0.58899	-0.02623	3.98299E-04
Uffici di medie e piccole dim. con trasparenza a blocchi (ind6&8)	-3.42439	0.58209	-0.02508	3.6968E-04
Uffici di medie e piccole dim. con trasparenza a nastro (ind7&9)	-2.12125	0.40123	-0.0175	2.6271E-04
Grossi parall. con trasparenza a blocchi (ind4)	-7.56617	1.0418	-0.04039	4.9011E-04

4.7. I confronti tra i risultati della procedura semplificata con quelli delle simulazioni dinamiche

Il confronto tra i risultati delle diverse procedure di calcolo è stato oggetto di analisi da parte di diversi studiosi, portando talvolta alla formulazione di equazioni di bilancio termico mensile totalmente diverse da quelle proposte nella norma.

Si riportano, sinteticamente, i risultati che si ottennero nel 2007, applicando il metodo del fattore di utilizzo delle dispersioni secondo l'impostazione e le relazioni dettagliate nel capitolo I, cioè attualmente contenute nella UNI TS 11300-1 e nella UNI EN ISO 13790, per il calcolo del fabbisogno di energia termica in modalità raffrescamento, alcuni autori lo chiamavano fabbisogno frigorifero.

Per un edificio di tipo direzionale, il confronto con i risultati ottenuti con il codice Energy Plus, mostrò che i metodi quasi stazionari, comportavano una sovrastima rispetto ai fabbisogni ottenuti con il metodo di simulazione dinamica, che aumentava all'aumentare del fabbisogno stesso, come si vede nella FIG.IV.7. . Nella successiva figura (FIG. IV.8.) è invece riportato quanto si ottenne per edifici di tipo residenziale, da cui risulta evidente che la differenza con i valori forniti da Energy Plus è ancora maggiore (Gastaldello, Schibuola 2007).

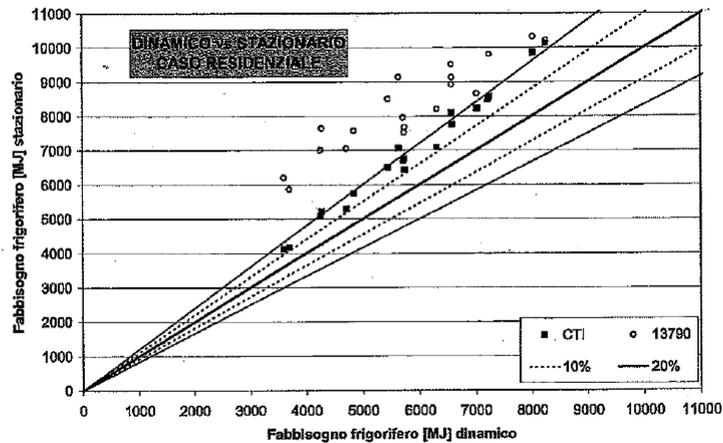


FIG.IV.7. Confronto dei valori di fabbisogno per il caso residenziale(Gastaldello, Schibuola 2007).

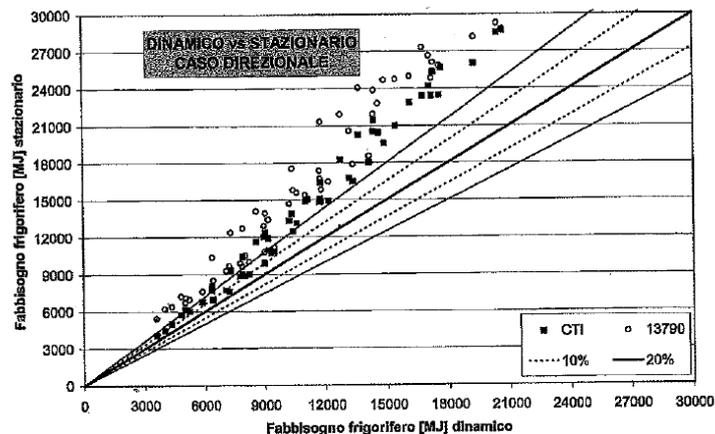


FIG.IV.8. Confronto dei valori di fabbisogno per il caso direzionale(Gastaldello, Schibuola 2007).

Contestualmente venne riproposto il metodo già presentato al paragrafo 4.2. che insieme a quello elaborato dal professore Livio Mazzarella, fu comparato (Venier, Saro 2006) con quello della norma olandese (NEN 2916), ottenendo i risultati riportati nelle figure seguenti, per tre tipologie di edifici: compatto, allungato e a torre, simulati con il codice Esp-r.

Anche in questo studio, il modello della norma comporta una sovrastima del fabbisogno di energia termica, mentre il modello elaborato dal professore Mazzarella presenta un errore percentuale medio inferiore agli altri.

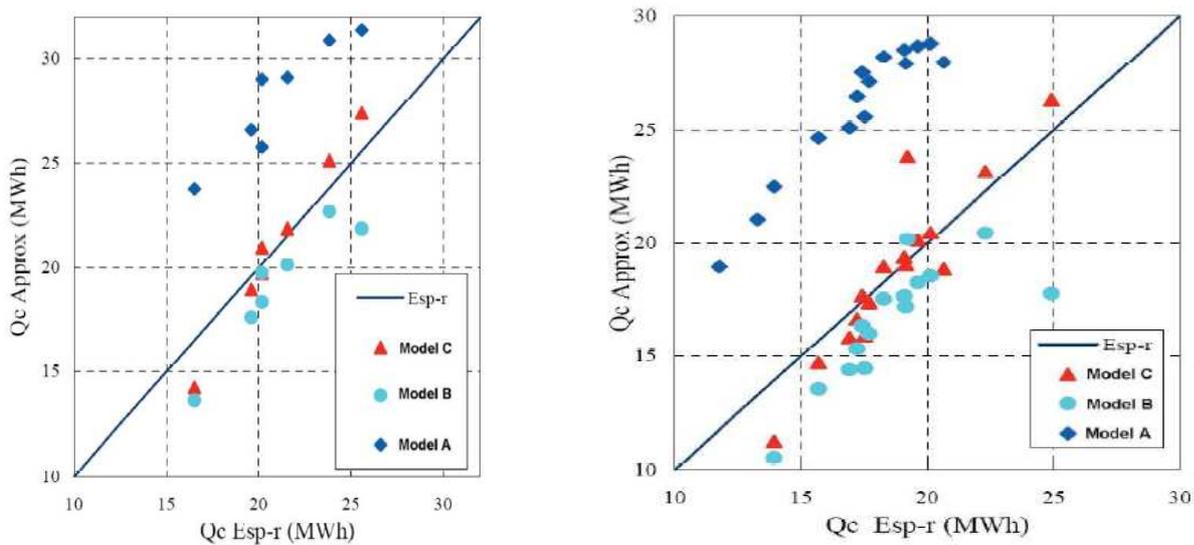


FIG. IV.9 . Fabbisogno energetico estivo per gli edifici di tipo compatto, nel caso di vetro doppio e vetro singolo (Venier, Saro 2006).

4.8. Analisi di sensitività del fattore di utilizzazione delle dispersioni

Alla dodicesima conferenza dell'IBPSA (*International Building Performance Simulation Association, Sydney, 2011*) è stato presentato un lavoro, in cui é stata studiata la sensitività del fattore di utilizzazione delle dispersioni e del fabbisogno di energia termica per raffrescamento, al variare delle principali condizioni climatiche esterne, quali la temperatura a bulbo secco e la radiazione solare. Gli edifici considerati sono stati quelli dell'IEA Bestest.

In questo lavoro (Baggio, P., Gasparella, A., Pernigotto, G., Prada, A.. Summer Load evaluation in the Italian climate: sensitivity of the loss utilization factor to the weather data, 2011), per effettuare le simulazioni orarie, sono stati sviluppati due anni meteorologici tipici utilizzando lo standard ISO 15927-4:2005, basandosi su più di 10 anni di misure raccolte nelle stazioni meteorologiche che saranno descritte nel capitolo VI . I dati per la costruzione dell'anno tipo di temperatura a bulbo secco, radiazione solare globale , umidità relativa e velocità del vento, sono stati controllati con l'obiettivo di scartare i dati anomali . I valori mancanti sono stimati da Spline per la radiazione solare e mediante interpolazione lineare per altre variabili.

Nelle figure IV .7. e IV. 8. , vengono riportati i valori di temperatura esterna e di radiazione solare per un giorno tipo del mese di luglio, per la località di Milano.

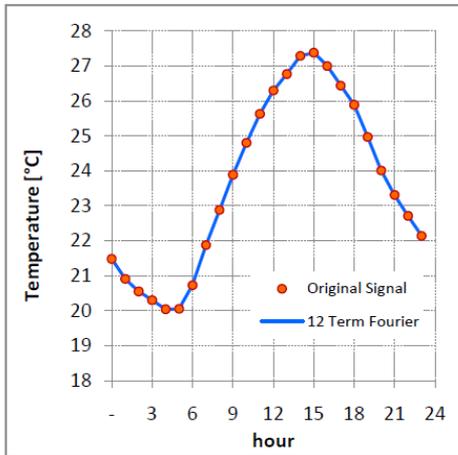


FIG. IV.7.

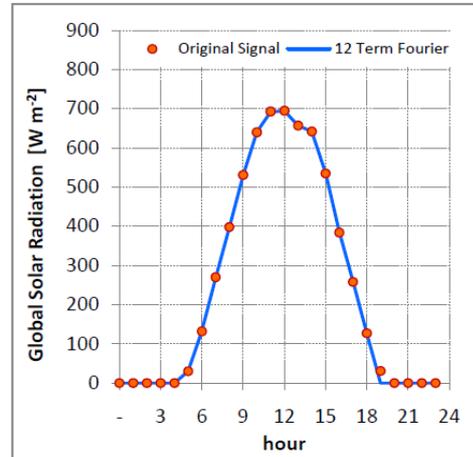


FIG. IV.8.

I risultati delle simulazioni, sono sinteticamente espressi attraverso le figure che seguono.

In esse è riportato l'andamento delle deviazioni del valore del fattore di utilizzazione delle dispersioni in funzione del rapporto tra il termine di scambio e il termine di apporti, raggruppandoli in relazione ai vari parametri.

Nella FIG IV. 9. , i valori ottenuti sono raggruppati secondo i casi di BESTEST, e, sono riportati in blu chiaro i valori corrispondenti a costruzioni leggere e in blu scuro quelli corrispondenti a costruzioni pesanti. Le deviazioni sono comprese in un intervallo di valori che va da - 0.2 a + 0.2.

Nella FIG IV. 10. , gli stessi valori sono stati raggruppati secondo la variazione della temperatura media esterna, ed i colori sono indicativi dell'entità della variazione, secondo la percentuale ivi visualizzata.

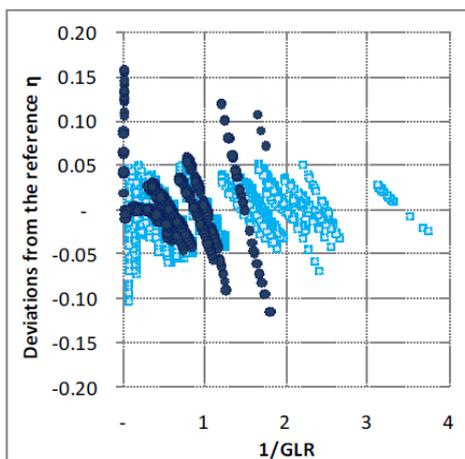


FIG IV. 9.

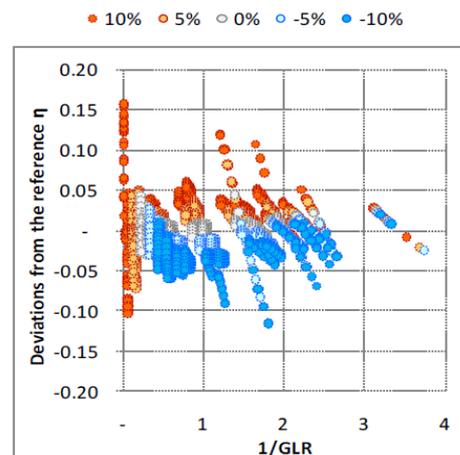


FIG IV. 10.

Definito l'indice di sensitività, come il rapporto tra la variazione della variabile dipendente e quella della variabile indipendente, quando le altre variabili che influenzano la variabile dipendente sono costanti, e, identificato nel fattore di utilizzazione delle dispersioni la variabile dipendente, le variabili indipendenti sono la temperatura media, la temperatura massima e la radiazione orizzontale globale massima.

La variazione dell'indice di sensitività è rappresentato nella figura IV. 11.

L'analisi ha permesso di concludere che esistono notevoli differenze tra i valori del fattore di utilizzazione delle dispersioni, e che i parametri che maggiormente influenzano tale deviazione sono il valore medio della temperatura esterna.

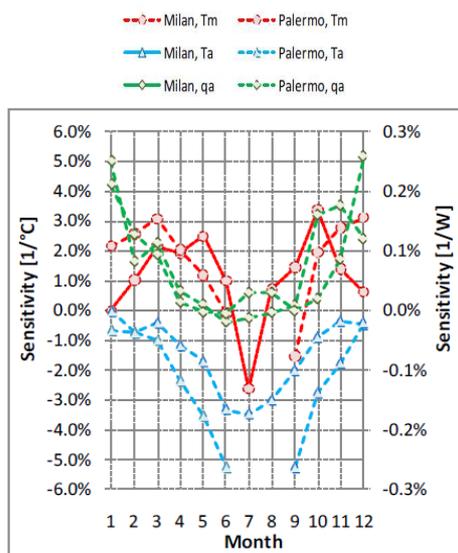


FIG.IV.11.

CAPITOLO V

LA BUILDING SIMULATION PER L'ANALISI ENERGETICA DEGLI EDIFICI

5.1. *Introduzione*

La *Building Simulation* permette di affrontare adeguatamente i problemi del processo costruttivo dell'edificio e quelli della prestazione in esercizio.

L' *IBPSA* , *International Building Performance Simulation Association*, è un'organizzazione *non-profit*, ovvero una società internazionale di ricercatori, sviluppatori e professionisti, che si occupa della simulazione delle prestazioni delle costruzioni, dedicata a migliorare l'ambiente costruito, per quanto riguarda la progettazione, la costruzione, il funzionamento e la manutenzione di edifici nuovi ed esistenti in tutto il mondo.

Per assumere un ruolo guida nella promozione e lo sviluppo della tecnologia della simulazione edilizia, *IBPSA* mira a fornire un forum per ricercatori, sviluppatori e professionisti per esaminare gli sviluppi della modellazione degli edifici, agevolare la valutazione, incoraggiare l'uso di programmi software, di normalizzazione degli indirizzi, e accelerare l'integrazione tra la tecnologia e il trasferimento di tecnologia.

L' *IBPSA-Italia* è l'affiliata regionale italiana della *International Building Performance Simulation Association* (www.ibpsa.org), ma opera in totale indipendenza. È costituita senza fini di lucro, e la principale missione di *IBPSA-Italia*, è promuovere e sviluppare la pratica della simulazione degli edifici al fine di migliorare la progettazione, la costruzione, l'esercizio e la manutenzione degli edifici nuovi ed esistenti.

L'obiettivo di *IBPSA-Italia* è creare un forum per lo scambio di informazioni e promuovere collaborazioni tra ricercatori, sviluppatori e operatori attivi nell'ambito della simulazione della prestazione degli edifici e delle tematiche correlate, nonché promuovere iniziative di formazione.

Per il professore *Jan Hensen*, l'informazione che deriva dalla simulazione ha il potenziale di alzare la competitività, la produttività, la qualità e l'efficienza nel settore delle costruzioni, e contemporaneamente facilitare la futura innovazione e il progresso tecnologico (*Hensen e Lamberts*, 2011).

Il professore *JA Clarke*, considera quale aspetto peculiare della simulazione dinamica, la possibilità di comprendere le interrelazioni tra progetto e parametri prestazionali, e di identificare potenziali

aree problematiche, così da implementare e verificare soluzioni progettuali appropriate. In tal modo il progetto che si ottiene è più energeticamente consapevole e permette di raggiungere più alti livelli di comfort e di qualità dell'aria (Clarke, 2001).

La *Building Simulation* si può applicare per indagare vari ambiti del complesso sistema, che è l'edificio.

Il *Department of Energy* degli USA utilizza la seguente classifica degli strumenti di calcolo:

- analisi dell'edificio nel suo complesso;
- analisi di materiali, componenti e sistemi;
- altre applicazioni.

Per quanto riguarda l'edificio, inteso secondo l'ultima accezione presente in ambito normativo, l'analisi comprende il calcolo dei carichi termici di progetto per il dimensionamento impiantistico, e la simulazione energetica può avere diversi obiettivi: ottimizzazione del progetto, analisi di retrofit, valutazione dell'energia rinnovabile, analisi di sostenibilità.

L'analisi di sistemi, componenti o materiali può riguardare l'involucro edilizio, comprendente componenti opachi, trasparenti e sistemi speciali, quali, ad esempio, componenti solari passivi e facciate attive, oppure apparati e sistemi di climatizzazione, ventilazione, illuminazione e reti idrauliche. Altre applicazioni comprendono l'analisi dell'ambiente esterno, con riferimento all'inquinamento atmosferico, alla radiazione solare e al clima, e della qualità dell'ambiente interno, comprendente il comfort termico e l'*indoor air quality*.

In letteratura si trovano anche modelli per valutazioni termoeconomiche e per l'analisi delle infrastrutture o dei servizi pubblici connessi in rete.

Specifiche applicazioni sono infine rivolte alla validazione di modelli e di algoritmi.

In questo lavoro, l'utilizzo della simulazione dinamica è rivolto a verificare le ipotesi di base che giustificano l'adozione di alcuni parametri e procedimenti di calcolo, nonché la congruenza del fabbisogno energetico, in regime di raffrescamento, ottenuto con l'applicazione della simulazione dinamica, e con il procedimento di calcolo della UNI TS 11300-1. 2008. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica per la climatizzazione estiva ed invernale, che rappresenta il recepimento del metodo di calcolo contenuto nella UNI EN ISO 13790 2008. Prestazione energetica degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento, ai fini della determinazione del fabbisogno termico.

5.2. *L'analisi energetica degli edifici*

5.2.1. *Generalità sui modelli diretti ed indiretti*

Un modello matematico descrive il comportamento di un sistema attraverso il linguaggio e gli strumenti della matematica.

Un modello matematico annovera tre componenti:

- le variabili di ingresso, cioè le sollecitazioni che agiscono sul sistema;
- la struttura del sistema e i parametri e/o proprietà, che consentono la necessaria descrizione fisica del sistema, quali, ad esempio, le proprietà termiche o meccaniche dei componenti edilizi;
- le variabili di uscita, ovvero le variabili dipendenti che descrivono la risposta del sistema alle sollecitazioni, ad esempio, nei modelli di simulazione energetica, una di esse è il consumo di energia.

Applicare un modello matematico ad un sistema, significa determinare la terza componente del sistema quando le altre due siano fornite o specificate.

A tal proposito, in letteratura, si trovano due orientamenti distinti, alla modellistica:

- l'approccio diretto o classico;
- l'approccio governato dai dati o inverso.

L'obiettivo del primo è quello di prevedere le variabili di output di un modello specificato, con struttura nota e parametri noti, quando esso è soggetto a variabili di input specificate.

L'obiettivo del secondo è di derivare un modello matematico del sistema e stimarne i parametri, quando siano note e misurate le variabili di input e di output. A differenza del metodo diretto, l'approccio governato dai dati è appropriato quando il sistema di cui si intende investigare il comportamento è già costruito e i dati sulle prestazioni effettive sono disponibili per lo sviluppo del modello e/o la sua identificazione.

La modellazione governata dai dati consente spesso l'identificazione di modelli di sistema che non solo sono più semplici da utilizzare, ma permettono di prevedere in maniera più accurata le prestazioni future del sistema rispetto ai modelli diretti.

I principali codici di simulazione termoenergetica dell'edificio, come EnergyPlus e ESP-r, si basano su modelli di simulazione diretti.

5.2.2. *Elementi comuni e risultati dei modelli classici*

Nonostante le procedure per l'analisi energetica degli edifici varino notevolmente nel loro grado di complessità, esse hanno tutte alcuni elementi comuni:

- il calcolo del carico termico dell'ambiente costruito, legato alla prestazione del fabbricato;
- il calcolo del carico termico degli apparecchi secondari, ovvero apparecchi che distribuiscono fluido di riscaldamento, raffrescamento, o ventilazione agli ambienti climatizzati;
- il calcolo del fabbisogno di energia degli apparecchi primari, ad esempio i generatori termici, ovvero degli apparecchi dell'impianto che convertono il combustibile o l'energia elettrica in energia termica e frigorifera utilizzata dagli apparecchi secondari;
- l'eventuale analisi economica, che permette di stabilire il rapporto costo efficacia delle misure di risparmio energetico.

Il primo passo nell'analisi energetica di un edificio comprende la determinazione del carico termico dell'ambiente costruito, vale a dire la quantità di energia che deve essere aggiunta o sottratta da un ambiente per mantenere condizioni prefissate di temperatura e umidità relativa. Le procedure più semplici assumono che l'energia richiesta per mantenere il comfort sia solo funzione della temperatura esterna di bulbo secco. I metodi più dettagliati considerano gli effetti della radiazione solare, degli apporti termici interni, dell'accumulo di calore nelle pareti perimetrali e nelle partizioni interne e gli effetti del vento sia sullo scambio termico dell'involucro sia sull'infiltrazione.

Benché il calcolo dei carichi di riscaldamento e raffreddamento nei calcoli energetici sia basato sull'applicazione di equazioni simili a quelle utilizzate per dimensionare l'impianto, si tratta di applicazioni alquanto diverse: i calcoli di energia si basano su un profilo di utilizzo medio degli ambienti e su condizioni meteorologiche tipiche, mentre i calcoli di dimensionamento (o di progetto) si basano su condizioni di utilizzo estreme (massime o minime) e sulle condizioni meteorologiche di picco. Attualmente, le procedure più sofisticate sono basate su profili orari per le condizioni climatiche e le caratteristiche operative riferiti a un certo numero di giorni tipici dell'anno o alle 8.760 (24 x 365) ore annue di funzionamento.

Il secondo passo traduce il carico ambiente in un carico per gli apparecchi "secondari", ovvero i componenti dell'impianto di climatizzazione esclusi i generatori. Il calcolo può andare dalla

semplice stima delle perdite o dei guadagni termici di condotti o tubazioni fino a una simulazione oraria dettagliata della prestazione di un sistema ad aria a portata variabile. Questa fase comprende il calcolo di tutte le varie forme di energia richiesta dal sistema secondario, che comprende sia l'energia elettrica per il funzionamento dei ventilatori e/o delle pompe (energia ausiliaria), sia l'energia fornita sotto forma di acqua calda o refrigerata (energia "finale" fornita dai generatori).

Il terzo passo permette di calcolare il combustibile e l'energia elettrica richiesti dagli apparecchi primari per soddisfare i carichi dell'edificio, nonché la richiesta di punta al sistema di fornitura pubblica dell'energia. In questa fase è necessario considerare l'efficienza degli impianti e le loro caratteristiche a carico parziale. Spesso, i calcoli energetici sono seguiti da un'analisi economica (quarto passo) che permette di individuare soluzioni progettuali corrette dal punto di vista costi-benefici, nonché permette di stabilire la convenienza economica delle possibili misure di riqualificazione energetica. Un'analisi energetica approfondita fornisce alcuni dati intermedi, come il tempo di utilizzo e la massima richiesta energetica, che sono necessari per stimare con accuratezza i costi energetici. Inoltre, anche se non inseriti nei calcoli energetici, è opportuno stimare anche i costi di componenti ed apparati.

Nella modellazione energetica dell'edificio possono verificarsi interazioni complesse e non immediatamente prevedibili tra sistemi o tra diverse modalità di trasferimento del calore. Ad esempio, i pannelli radianti influenzano i carichi termici ambiente attraverso diversi fenomeni:

- innalzando la temperatura media radiante nell'ambiente, col risultato che la temperatura dell'aria può essere abbassata a parità di livello di comfort termico;
- incrementando le dispersioni per conduzione attraverso gli elementi di involucro esterno, a causa di una maggiore differenza di temperatura tra la superficie interna e l'aria esterna dovuta ad una maggiore temperatura superficiale interna;
- riducendo il carico di ventilazione, a parità di portata d'aria, a causa della ridotta differenza di temperatura tra l'aria interna e quella esterna;
- riducendo la portata di infiltrazione di aria, poiché la ridotta differenza di temperatura dell'aria riduce l'effetto camino.

Risultati di una simulazione diretta

I risultati della simulazione termica dinamica di un edificio sono generalmente espressi con dettaglio di zona. Una zona termica è la parte di uno spazio condizionato, climatizzata da un unico impianto con un dato *set-point* di temperatura e/o umidità, caratterizzata da un medesimo modello di occupazione e nella quale si ipotizzano variazioni spaziali trascurabili della temperatura interna.

I risultati della simulazione possono inoltre essere suddivisi in istantanei e di sintesi.

I principali risultati istantanei delle simulazioni termiche dinamiche di un edificio sono i valori orari delle seguenti grandezze:

- temperatura e umidità relativa dell'aria;
- temperatura operativa;
- temperatura delle superfici dei componenti d'involucro;
- carichi di raffreddamento e riscaldamento dell'ambiente;
- apporti o perdite di energia termica degli elementi dell'edificio;
- portate d'aria di mandata e di estrazione;
- temperatura e umidità dell'aria di mandata;
- potenza dei vari componenti dell'impianto di climatizzazione.

I principali risultati di sintesi delle simulazioni termiche dinamiche di un edificio sono i valori di picco delle grandezze sopra riportate, nonché i parametri integrati sul tempo, come i valori mensili o stagionali delle seguenti grandezze:

- apporti o dispersioni di energia termica degli elementi d'involucro dell'edificio;
- domanda di energia per raffrescamento e riscaldamento dell'edificio;
- domanda di energia dei sistemi di climatizzazione.

Spesso è necessario tenere traccia delle diverse forme di energia (termica, frigorifera, elettrica) o dei diversi vettori energetici (gas naturale, gasolio, energia elettrica). In alcuni casi, quando i calcoli sono finalizzati a verificare la conformità a leggi o regolamenti, le singole energie devono essere convertite in energia primaria.

5.3. *La classificazione dei modelli di calcolo diretti*

Per classificare i modelli classici si può fare riferimento ai campi di applicazione ed alle condizioni al contorno, oppure si possono considerare gli algoritmi di calcolo.

Sotto l'aspetto del campo di applicazione e delle condizioni al contorno, la modellazione energetica dell'edificio può essere classificata considerando :

- il sistema fisico considerato;
- il livello di dettaglio spaziale;
- la variazione e la scansione temporale delle condizioni al contorno.

Per quanto riguarda il sistema fisico, è possibile considerare:

- il solo fabbricato, inteso come il sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio costruito e dalle strutture interne che ripartiscono detto spazio;
- il fabbricato con gli impianti e i dispositivi tecnologici che si trovano al suo interno, in particolare i terminali dell'impianto di climatizzazione, escludendo i generatori termici;
- l'intero edificio, comprensivo anche dei generatori termici.

Con riferimento al livello di dettaglio spaziale, si può distinguere:

- il singolo ambiente;
- un insieme di ambienti (zona termica);
- l'intero edificio.

In considerazione del regime termico, cioè della variazione temporale delle condizioni al contorno si ha:

- il regime stazionario, in cui tutte le grandezze (temperature, flussi termici, etc.) sono costanti nel tempo;
- il regime variabile, o dinamico, in cui tutte le grandezze (temperature, flussi termici, etc.) sono variabili nel tempo secondo diversi possibili andamenti:

o periodico (tipicamente giornaliero), generalmente considerato per considerare le condizioni estive di progetto;

o variabile non periodico, generalmente utilizzato nelle simulazioni di lungo periodo (ad esempio l'anno).

Nel regime stazionario i dati che rappresentano le condizioni al contorno, quali le variabili climatiche, sono aggregati nel tempo, ad esempio mediante l'adozione di un valore medio mensile o medio stagionale (metodi per il calcolo del consumo) oppure di un valore di picco (per il dimensionamento degli impianti).

Nel regime dinamico i profili temporali delle grandezze di interesse sono scanditi con un certo intervallo di tempo (*time step*), che può essere diverso per diverse parti dell'edificio e dell'impianto (ad es. un'ora per la simulazione dell'edificio e pochi minuti per la simulazione di alcuni componenti impiantistici).

I modelli di simulazione dinamici, prendono in considerazione la variazione temporale delle condizioni al contorno (clima esterno, profilo di utilizzo e gestione dell'edificio) e quei fenomeni, quali l'accumulo termico nelle strutture e negli impianti, che sono strettamente connessi alla variabilità temporale delle grandezze in gioco.

Considerando gli algoritmi di calcolo per la modellazione dell'ambiente costruito e con riferimento al dettaglio nell'analisi dei carichi termici dell'ambiente, la principale distinzione è tra:

- metodi che risolvono l'equazione di bilancio termico convettivo dell'aria in ambiente e le equazioni di bilancio termico conduttivo, convettivo e radiante di tutte le superfici a contatto con l'aria interna (*air heat transfer*, AHT);
- metodi che assumono il carico termico globale come somma dei carichi termici prodotti separatamente dalle diverse sollecitazioni subite dall'ambiente (temperatura esterna, radiazione solare, sorgenti interne, ventilazione).

Sempre per quanto riguarda gli algoritmi, i modelli per la simulazione energetica dell'edificio possono essere classificati in base:

- alla capacità di modellare diversi impianti di climatizzazione e modalità di regolazione;
- alle modalità di modellazione:

del bilancio termico dell'aria interna e delle superfici interne dell'ambiente costruito;

del bilancio termico delle superfici esterne dell'involucro edilizio;

dei fenomeni di conduzione termica attraverso l'involucro;

della radiazione solare entrante in ambiente;

degli apporti di energia da parte delle sorgenti interne (occupanti, apparecchi di illuminazione, macchinari e apparecchiature);

delle infiltrazioni e della ventilazione naturale.

Le principali ipotesi di calcolo specificate dalle normative internazionali che riguardano l'applicazione di modelli di simulazione dinamici dettagliati per l'analisi dell'ambiente costruito o dell'edificio nel suo complesso sono state enumerate nel Capitolo I.

5.3.3 Modellazione degli impianti

Modelli di singoli componenti di entrambi i sistemi di climatizzazione primari e secondari sono di solito impostati come singole sub-routine in grado di essere integrate all'interno di programmi modulari (TRNSYS) o inclusi nelle librerie (ASHRAE Toolkit).

La modellazione degli impianti può essere effettuata considerando l'interazione (azioni e retroazioni) tra l'edificio e l'impianto e tra i diversi componenti di quest'ultimo, oppure può essere effettuata secondo un *flow-chart* in cascata che parte dall'edificio per risalire alle fonti energetiche secondo una catena.

In genere, i modelli che rappresentano i singoli componenti impiantistici combinano due diversi approcci:

- la modellazione deterministica ;
- la modellazione regressiva .

Il modello deterministico, basato sulla comprensione dei processi fisici coinvolti, può essere utilizzato per alcuni semplici componenti secondari quali i condotti e le tubazioni, ma non è impiegabile per i componenti più complessi come i generatori termici. Per questi ultimi l'approccio più appropriato consiste nell'adozione di curve di correlazione tra la potenza termica generata e le variabili indipendenti (condizioni al contorno, parametri di regolazione), in base al quale i parametri del modello diventano i coefficienti di un'espressione polinomiale e non hanno significato fisico.

La maggior parte dei modelli che rappresentano il comportamento dei componenti d'impianto è di tipo statico o quasi-statico, anche se i modelli dinamici sono necessari per alcune applicazioni, come ad esempio:

- l'analisi energetica di gestione (che conduce a strategie di controllo ottimali);

- la simulazione di sistemi di controllo ad anello chiuso;
- la simulazione, il rilevamento dei guasti e la diagnosi in tempo reale.

5.4. *I fondamenti della modellazione energetica dell'ambiente confinato mediante il bilancio sull'aria*

Il comportamento termico dell'edificio viene studiato facendo riferimento al sistema termodinamico costituito dall'aria all'interno dell'ambiente costruito. Il volume di controllo è quindi rappresentato dall'aria confinante con la superficie interna dell'involucro edilizio e con le superfici degli elementi interni (arredi, persone, impianti), le quali rappresentano la superficie di controllo (o superficie di frontiera) del sistema.

Gli strumenti per la modellazione del comportamento termofisico degli ambienti confinati sono essenzialmente riferibili ai seguenti bilanci:

- bilancio di massa d'aria;
- bilancio di massa di vapore acqueo;
- bilancio di energia.

5.4.1 *Bilancio di massa d'aria*

Gli scambi di massa di aria tra l'ambiente costruito e l'ambiente esterno avvengono per due fenomeni distinti:

- infiltrazione
- ventilazione

L'infiltrazione è l'ingresso incontrollato di aria esterna attraverso l'involucro edilizio dovuto all'esistenza di passaggi. Questo fenomeno si verifica per effetto di una differenza di pressione dell'aria tra ambiente interno ed ambiente esterno, causata dalle forze di galleggiamento indotte da differenze di temperatura tra esterno ed interno e dall'effetto del vento. Si parla di exfiltrazione allorché l'aria fluisce dall'interno verso l'esterno. La ventilazione è l'ingresso di aria esterna (verosimilmente più pulita di quella interna) al fine di garantire il controllo della qualità dell'aria interna (IAQ). La ventilazione è definita naturale quando avviene attraverso aperture (finestre, griglie) per effetto di forze naturali (galleggiamento, vento); è definita meccanica quando avviene per effetto di macchine (ventilatori) e con consumo di energia (si veda anche il glossario del Capitolo II).

Il bilancio di massa d'aria dell'ambiente può essere scritto come:

$$\sum \dot{m}_a^{in} + \sum \dot{m}_a^{ex} = \frac{dm_{a,i}}{d\tau} \cong 0 \quad (V.1)$$

dove:

\dot{m}_a^{in}

generica portata d'aria entrante in ambiente [kg/s];

\dot{m}_a^{ex}

generica portata d'aria uscente dall'ambiente [kg/s];

$m_{a,i}$

massa d'aria contenuta nell'ambiente [kg].

Poiché la variazione della massa di aria interna nell'unità di tempo ($dm_a/d\tau$) è trascurabile, l'equazione di bilancio della massa d'aria stabilisce che la sommatoria delle portate di aria in ingresso nell'ambiente (per ventilazione naturale, ventilazione meccanica, infiltrazione) deve essere pari alla sommatoria delle portate di aria in uscita dall'ambiente (per ventilazione naturale, estrazione meccanica, exfiltrazione):

$$\sum \dot{m}_a^{in} = \sum \dot{m}_a^{ex} \quad (V.2)$$

5.4.2 Bilancio di massa di vapore acqueo

Gli scambi di massa di vapore acqueo avvengono attraverso la ventilazione e per la presenza di sorgenti interne di vapore (persone, animali, piante, attività). Lo scambio di vapore legato alla ventilazione è legato alla diversa umidità specifica delle portate di aria entranti ed uscenti (cfr. equazione di bilancio di massa): ad esempio, sostituendo una certa quantità di aria interna con una pari quantità di aria esterna più secca di quella interna, come avviene nella stagione invernale, si sarà sottratta all'ambiente una certa quantità di vapore acqueo. In assenza di fenomeni di inerzia igrica (ovvero l'accumulo e la cessione di vapore da parte dei materiali edilizi e degli arredi) e trascurando i fenomeni di diffusione del vapore attraverso ambienti a differenti pressioni parziali di vapore, il bilancio di massa di vapore nell'ambiente può essere scritto come:

$$\sum \dot{m}_a^{in} x^{in} + \sum \dot{m}_a^{ex} x^{ex} + \dot{m}_{v,I} + \dot{m}_{v,H} = \frac{dm_{v,i}}{d\tau} = m_{a,i} \frac{dx_i}{d\tau} \cong 0 \quad (V.3)$$

dove:

$\dot{m}_a^{in} x^{in}$

generica portata di vapore entrante in ambiente attraverso l'immissione di una portata d'aria con umidità specifica x^{in} [kg/s];

$\dot{m}_a^{ex} x^{ex}$

generica portata di vapore uscente in ambiente attraverso l'estrazione di una portata d'aria con umidità specifica x^{ex} [kg/s];

$\dot{m}_{v,I}$

portata di vapore complessivamente prodotta in ambiente da sorgenti di vapore non intenzionali [kg/s];

$\dot{m}_{v,H}$

portata di vapore prodotta in ambiente da umidificatori (valore positivo) oppure sottratta da deumidificatori (valore negativo) [kg/s];

$m_{a,i}$

massa di aria contenuta nell'ambiente [kg].

Il bilancio di massa di vapore può essere risolto per determinare l'eventuale necessità di effettuare operazioni di umidificazione o deumidificazione o, in assenza di controllo impiantistico, per determinare il valore dell'umidità che si viene ad instaurare all'equilibrio.

Nel caso in cui vi sia una sola portata di aria immessa in ambiente da un impianto di climatizzazione ad aria in condizioni di mandata (su), il bilancio di massa di vapore dell'ambiente si esprime come:

$$\dot{m}_a(x_{su} - x_i) + \dot{m}_{v,I} + \dot{m}_{v,H} = 0 \quad (V.4)$$

dove:

\dot{m}_a

portata in massa di aria secca immessa in ambiente per ventilazione meccanica (la portata immessa è pari a quella estratta) [kg/s];

x_{su}

umidità specifica dell'aria entrante in ambiente nelle condizioni di mandata nel caso di ventilazione meccanica .

Mentre, nel caso in cui vi sia una sola portata di aria esterna immessa per infiltrazione o ventilazione naturale

$$\dot{m}_a(x_e - x_i) + \dot{m}_{v,I} + \dot{m}_{v,H} = 0 \quad (V.5)$$

dove:

m_a : portata in massa di aria secca immessa in ambiente per infiltrazione e/o per ventilazione naturale o per ventilazione meccanica (la portata immessa è pari a quella estratta) [kg/s];

χ_e : umidità specifica dell'aria entrante in ambiente nelle condizioni esterne .

5.4.3 Bilancio di energia termica

Il bilancio di energia termica comprende un sistema di equazioni che rappresentano rispettivamente:

- il bilancio di energia termica sensibile sull'aria;
- il bilancio di energia termica sulla superficie interna dell'involucro edilizio;

- il bilancio di energia termica sulla superficie esterna dell'involucro edilizio;
- la conduzione termica attraverso l'involucro edilizio;
- l'accumulo di calore delle strutture esterne e interne.

Bilancio di energia termica sensibile sull'aria

L'equazione che esprime il bilancio di energia termica sensibile sull'aria interna può essere scritta come:

$$\Phi_{c,i} + \Phi_v + \Phi_{va} + \Phi_{i,c} + \Phi_{h,c} = C_{a,i} \frac{\partial t_i}{\partial \tau} = c_a m_{a,i} \frac{\partial t_i}{\partial \tau} \quad (V.6)$$

dove:

$\Phi_{c,i}$ = flusso termico scambiato per convezione [W];

Φ_v = flusso termico scambiato per ventilazione [W];

Φ_{va} = flusso termico dovuto all'aria entrante in ambiente attraverso intercapedini d'aria interne agli elementi che racchiudono l'ambiente [W];

$\Phi_{i,c}$ = flusso termico convettivo ceduto dalle sorgenti termiche interne [W];

$\Phi_{h,c}$ = flusso termico convettivo dell'impianto di climatizzazione ad acqua [W];

$C_{a,i}$ = capacità termica dell'aria interna [J/K];

t_i = temperatura dell'aria interna [K];

τ = tempo [s];

c_a = calore specifico dell'aria [J/(kg K)];

$m_{a,i}$ = massa dell'aria interna [kg].

Il flusso termico scambiato per convezione con le superficie che racchiudono l'aria vale:

$$\Phi_{c,i} = \sum_{j=1}^N (A \varphi_{c,i})_j = \sum_{j=1}^N h_{c,i,j} A_j (t_{s_j} - t_i) \quad (V.7)$$

dove:

N = numero di superfici che delimitano l'aria interna;

A = area di ciascun elemento edilizio [m^2];

$\varphi_{c,i}$ = flusso termico areico scambiato per convezione con l'aria interna [W/m^2];

$h_{c,i}$ = coefficiente di scambio termico convettivo di ciascun elemento edilizio [$W/(m^2K)$];

mentre il flusso termico scambiato per ventilazione vale:

$$\Phi_v = c_a \dot{m}_a (t_e - t_i) \quad (V.8)$$

Sostituendo nella (2.6) la (2.7) e la (2.8), l'equazione del bilancio di energia termica sensibile sull'aria interna diviene:

$$\sum_{j=1}^N (A \varphi_{c,i})_j + c_a \dot{m}_a (t_e - t_i) + \Phi_{va} + \Phi_{i,c} + \Phi_{h,c} \cong 0 \quad (V.9)$$

$$\sum_{j=1}^N h_{c,i,j} A_j (t_{s,j} - t_i) + c_a \dot{m}_a (t_e - t_i) + \Phi_{va} + \Phi_{i,c} + \Phi_{h,c} \cong 0 \quad (V.10)$$

Bilancio di energia termica sulla superficie interna

Il bilancio di energia termica sulla superficie interna del j -esimo componente edilizio può essere scritto come:

$$\varphi_{r,i,j} + \varphi_{sol,i,j} + \varphi_{c,i,j} + \varphi_{cd,j} + \frac{\Phi_{i,r} + \Phi_{h,r}}{\sum_{k=1}^N A_k} \quad (V.11)$$

dove:

$\varphi_{r,i}$ = flusso termico areico dovuto alla radiazione ad elevata lunghezza d'onda scambiato con le altre superfici interne [W/m^2];

$\varphi_{sol,r}$ = flusso termico areico dovuto alla radiazione a bassa lunghezza d'onda assorbito [W/m^2];

$\varphi_{cd,i}$ = flusso termico areico scambiato per conduzione sulla superficie [W/m^2];

$\varphi_{i,r}$ = flusso termico dovuto alla componente radiante degli apporti interni [W];

$\varphi_{h,r}$ = flusso termico dovuto alla componente radiante degli apporti dell'impianto di riscaldamento [W];

A_k = area dell'elemento k-esimo dell'ambiente [m^2].

Bilancio di energia termica sulla superficie esterna

La temperatura superficiale esterna di un elemento edilizio è ottenuta dalla risoluzione della seguente equazione:

$$\varphi_{r,ej} + \varphi_{sol,ej} + \varphi_{c,ej} + \varphi_{cd,ej} = 0 \quad (V.13)$$

dove:

$\varphi_{r,e}$ = flusso termico areico dovuto alla radiazione ad elevata lunghezza d'onda scambiato dalla superficie [W/m^2];

$\varphi_{sol,e}$ = flusso termico areico dovuto alla radiazione a bassa lunghezza d'onda (solare) assorbito dalla superficie [W/m^2];

$\varphi_{c,e}$ = flusso termico areico scambiato per convezione con l'aria esterna [W/m^2];

$\varphi_{cd,e}$ = flusso termico areico scambiato per conduzione sulla superficie esterna [W/m^2].

Conduzione termica e accumulo

Il flusso termico trasmesso per conduzione attraverso l'involucro edilizio può essere ricavato con diversi metodi, analitici o numerici, utilizzando vari passi temporali. I due metodi più diffusi all'interno dei software di simulazione sono quello alle differenze finite, che opera una discretizzazione spaziale del componente, e quello delle funzioni di trasferimento della conduzione (CTF).

La capacità termica delle strutture edilizie che non sono soggette a fenomeni di scambio termico viene sommata alla capacità termica dell'aria interna.

5.5. Derivazione del fattore di utilizzazione da simulazioni dinamiche

I fattori di utilizzazione sono funzione del rapporto di bilancio termico e della costante di tempo dell'edificio o della zona dell'edificio, come già detto al capitolo I.

I valori dei parametri nelle curve dei fattori di utilizzazione, a_0 e τ_0 , sono valori empirici e possono essere determinati mediante identificazione parametrica o tecniche di analisi di regressione, applicate sui risultati ottenuti da una varietà rappresentativa di casi di calcolo, utilizzando un

metodo di simulazione dinamica dettagliata. I valori, inoltre, possono essere caratteristici per ogni nazione.

L' approccio "black box"

Un modo per ricavare i dati di ingresso necessari per il metodo mensile dal metodo di simulazione dettagliata, è il seguente.

Devono essere effettuati tre calcoli aggiuntivi con il metodo di simulazione dettagliata :

- caso 0: calcolo ordinario per ricavare $Q_{H,nd,0}$ e $Q_{C,nd,0}$;
- caso 1: come il caso 0, ma con apporti termici interni e solari nulli ed extra flusso termico per irraggiamento ad alta lunghezza d'onda verso la volta celeste nullo, per ricavare $Q_{H,nd,1}$ e $Q_{C,nd,1}$.

Il risultato, è che, con buona approssimazione:

$$Q_{H,ht} = Q_{H,nd,1} \text{ e } Q_{C,ht} = Q_{C,nd,1} \quad (V.14)$$

- caso 2: come il caso 0, ma con una temperatura di regolazione elevata per il riscaldamento e una temperatura di regolazione bassa per il raffrescamento, così che nella modalità di riscaldamento tutti gli apporti termici siano utilizzati e nella modalità di raffrescamento tutte le dispersioni siano utilizzate, per ricavare $Q_{H,nd,2}$ e $Q_{C,nd,2}$.

- caso 3: come il caso 2, ma con apporti termici interni e solari nulli ed extra flusso termico per irraggiamento ad alta lunghezza d'onda verso la volta celeste nullo, per ricavare $Q_{H,nd,3}$ e $Q_{C,nd,3}$.

Il risultato, è che, con buona approssimazione:

$$Q_{H,gn} = (Q_{H,nd,3} - Q_{H,nd,2}) \text{ e } Q_{C,gn} = (Q_{C,nd,2} - Q_{C,nd,3}) \quad (V.15)$$

Con i fabbisogni mensili di energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento, $Q_{H,nd,0}$ e $Q_{C,nd,0}$, ricavati dal metodo di simulazione dettagliata, e i valori corrispondenti degli apporti termici mensili, $Q_{H,gn}$ e $Q_{C,gn}$, e dello scambio termico mensile, $Q_{H,ht}$ e $Q_{C,ht}$, ricavati con l'approccio "black box", i fattori di utilizzazione sono ricavati dalle equazioni seguenti:

$$\eta_{H,gn} = (Q_{H,ht} - Q_{H,nd,0})/Q_{H,gn} ; \quad (V.16)$$

$$\eta_{C,ls} = (Q_{C,gn} - Q_{C,nd,0})/Q_{C,ht} ; \quad (V.17)$$

con i valori corrispondenti dei rapporti di bilancio termico:

$$\gamma_H = Q_{H,gn} / Q_{H,ls} ; \quad (V.18)$$

$$\gamma_C = Q_{C,\text{gn}} / Q_{C,\text{ls}} . \tag{V.19}$$

CAPITOLO VI

CONFRONTO DEI DATI CLIMATICI DEI MESI ESTIVI PER LA IDENTIFICAZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO CHE CARATTERIZZANO IL REGIME TERMICO DELL'EDIFICIO

6.1. Dati climatici per il calcolo del fabbisogno di energia dell'edificio

Nel solco tracciato da Victor Olgyay, che con il suo pregevole testo *Progettare con il clima* ha fornito gli strumenti culturali e metodologici per lo sviluppo di "un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico", e secondo l'indicazione di lavorare con le forze della natura, non contro di esse, si sono analizzati gli aspetti che caratterizzano il clima della nostra nazione, considerando che il clima di un luogo dipende, in termini generali, dai fattori astronomici che concorrono a definire l'assetto *macroclimatico* terrestre e, in termini più specifici, dai fattori geografici che operano su scala *mesoclimatica* regionale, e dai fattori territoriali che contribuiscono alla caratterizzazione del *clima locale*.

Si è, inoltre, tenuto conto della proposta di suddivisione del territorio italiano in aree climatiche omogenee dal punto di vista della progettazione edilizia, elaborata dal CNR. Pur trattandosi di una classificazione provvisoria, si sono considerate ledefinite due mappe climatiche definite e rappresentate in figura VI.1., una per la stagione invernale ed una per la stagione calda, che dividono l'Italia in sette aree climatiche. La suddivisione vale per le località di pianura (sino a 300m s.l.m.) ed è stata elaborata assumendo alcuni parametri guida, quali le temperature medie stagionali, le temperature medie del mese più caldo e più freddo, i valori medi stagionali della radiazione solare e della velocità del vento (con la direzione prevalente), l'umidità relativa media del mese più caldo, il numero di mesi in cui la temperatura è superiore o inferiore a 20 °C e numero di ore in cui la temperatura si mantiene a 26 °C o al di sotto di 0°C.

In definitiva, in considerazione delle caratteristiche climatiche del territorio italiano, che secondo la classificazione di Koppen-Geiger presenta climi che vanno dal temperato subtropicale (CS) al temperato freddo (Dw), con qualche zona di nivale (EF), sono state selezionate undici località ritenute significative per la rappresentazione delle zone climatiche, che spaziano dalla latitudine di Palermo (N 38° 10') a quella di Bolzano (N 46° 28') e dalla longitudine di Milano (E 8°43') a quella di Bari (E 16° 46'). La scelta, inoltre, copre le zone climatiche dalla B alla E secondo la suddivisione presente sul DPR 412/93, con GG che vanno da 751(zona B) a 2791(zona E).

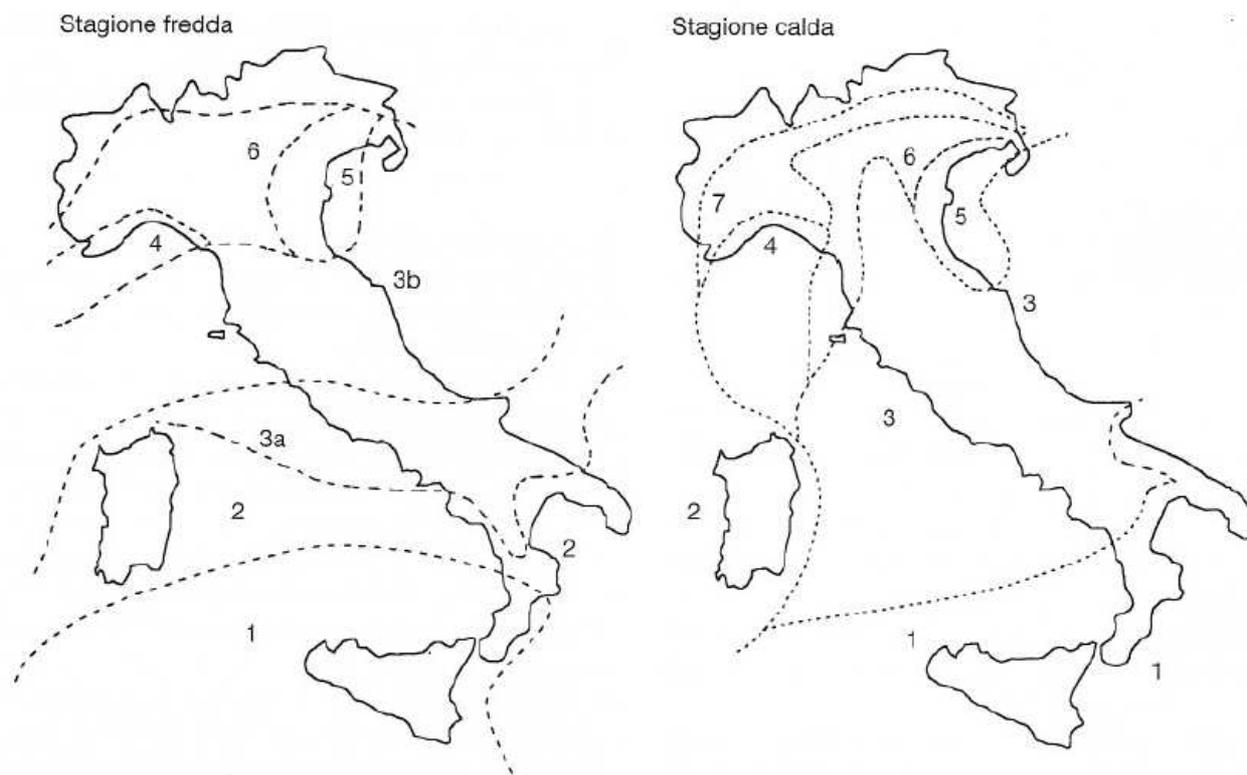


FIG. VI.1. Mappe climatiche dell' Italia proposte dal CNR.

TAB.VI.1. Località rappresentative delle condizioni climatiche del territorio italiano

Località	Lat/Long	h slm (m)	Zona climatica DPR 412/93	GG
PALERMO	{N 38° 10'} {E 13° 6'}	34	B	751
CAGLIARI	{N 39° 15'} {E 9° 3'}	18	C	990
BARI	{N 41° 7'} {E 16° 46'}	49	C	1185
ROMA	{N 41° 47'} {E 12° 13'}	3	D	1415

ANCONA	{N 43° 37'} {E 13° 31'}	105	D	1688
FIRENZE	{N 43° 47'} {E 11° 11'}	38	D	1821
VERONA	{N 45° 22'} {E 10° 52'}	68	D	2068
RIMINI	{N 44° 1'} {E 12° 37'}	13	E	2139
MILANO	{N 45° 37'} {E 8° 43'}	211	E	2404
POTENZA	{N 40° 37'} {E 15° 48'}	843	E	2472
BOLZANO	{N 46° 28'} {E 11° 19'}	241	E	2791

6.2. Creazione dati climatici “Giovanni De Giorgio”

L'origine dell'anno tipo che figura nel weather file del DOE e di energy plus, e cioè la costruzione di sequenze orarie di dati climatici più probabili, per vari siti in Italia risale al Progetto Finalizzato Energetica del 1979, realizzato dall'IFA (Istituto di Fisica dell'Atmosfera del CNR) nel seguente modo. Utilizzando i dati provenienti dalle stazioni del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (68 stazioni sparse in modo piuttosto omogeneo sul territorio nazionale), raccolti in maniera praticamente continua nel periodo 1951-1970, furono calcolate, per ogni stazione, il valore medio e varianza della temperatura dell'aria per ogni mese dell'anno sull'intera popolazione. La stessa operazione fu poi ripetuta per ogni singolo mese di ogni singolo anno. Fu allora selezionato quale mese tipo più rappresentativo quello con valore medio e varianza della temperatura dell'aria più prossimi ai valori calcolati per quel mese sull'intera popolazione. L'anno tipo venne infine costruito come composizione dei mesi tipo. All'anno tipo, costituito da una sequenza di mesi reali (cioè effettivamente verificatisi) provenienti da anni diversi, furono aggiunte le altre grandezze meteorologiche estratte dall'insieme dei dati:

- la velocità del vento a 10 metri dal suolo (data dalla media aritmetica calcolata nei 10 minuti centrati intorno all'ora sinottica a cui il valore si riferisce);
- l'umidità relativa dell'aria al suolo;
- il numero di ore e di decimi di ora di sole verificatisi nell'intera giornata. A tali dati, disponibili per ognuna delle 68 stazioni è stata aggiunta quando disponibile (30 stazioni) la irradiazione solare totale giornaliera sul piano orizzontale (dato rilevato a partire dal 1958). Tali anni tipo furono registrati su un nastro magnetico.

In seguito al confronto tra le distribuzioni orarie di irradiazione solare diretta e diffusa, così come veniva fornita dagli archivi CRTN, e quelle che si ottenevano a partire dallo stesso dato di irradiazione totale giornaliera e utilizzando le più note e affidabili correlazioni reperibili in

letteratura (Erbs; Liu-Jordan; Collares-Pereira e Rabl) , mostrarono come il metodo utilizzato dal CRTN comportasse una sovrastima sistematica piuttosto consistente della radiazione diretta . Fu pertanto ricostruito l'intero insieme degli anni tipo per ogni stazione sostituendo ai valori di irradiazione oraria diretta e diffusa calcolati dal CRTN i valori ricalcolati utilizzando le seguenti correlazioni:

- Erbs , per la stima del rapporto tra irradiazione diffusa e totale giornaliera, K_T ;
- Liu-Jordan , *modificata* per la stima del fattore di ripartizione della irradiazione diffusa giornaliera in irradiazione diffusa oraria, r_d ;
- Collares-Pereira e Rabl, *modificata* per la stima del fattore di ripartizione della irradiazione totale giornaliera in irradiazione totale oraria, r_t .

In particolare furono costruiti due diversi insiemi di anni tipo per le 67 stazioni disponibili (i dati di una stazione risultarono incompleti), uno con dati relativi al tempo standard, uno con i dati relativi al tempo solare. In quest'ultimo caso i dati di temperatura, umidità e velocità dell'aria furono traslati utilizzando una interpolazione con spline cubica.

6.3. Dati climatici CTI

Il Sottogruppo 09 “ Dati climatici” del Gruppo di lavoro 102 “ Isolanti e isolamento-Metodi di calcolo e di prova”, del CTI (Comitato Termotecnico Italiano) ha concluso la prima parte della norma che fornisce per il territorio italiano i dati climatici convenzionali necessari per la progettazione e la verifica delle prestazioni energetiche e termoigrometriche degli edifici, inclusi gli impianti tecnici per la climatizzazione estiva ed invernale ad essi asserviti. Tale norma (UNI 10349 : 2012) si articola in tre parti, la seconda e la terza sono ancora oggetto di studio. La prima riporta le medie mensili e i dati orari della temperatura, pressione di vapore, irradiazione solare globale giornaliera e velocità del vento per tutti i capoluoghi di provincia che individuano gli anni di riferimento, per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio, cioè fornisce per il territorio italiano i dati climatici convenzionali (medie mensili e anno caratteristico) necessari per la progettazione e la verifica delle prestazioni energetiche e termoigrometriche degli edifici. I dati sono organizzati in modo da presentare i valori medi orari riferiti alle ore 1-24 di ciascuna giornata (il valore riportato è la media dell'ora precedente a quella indicata: es. il valore riferito alle ore 15:00 è la media dei valori misurati nel periodo che va dalle 14:00 alle 15:00).

Il metodo per ricavare i valori orari dell'anno tipo dei dati meteorologici necessari per valutare il fabbisogno medio annuale di energia per il riscaldamento ed il raffrescamento degli edifici è quello della UNI EN ISO 15927-4 : 2005 Calcolo e presentazione dei dati climatici – Parte 4 : Dati orari per la valutazione del fabbisogno annuale di energia per il riscaldamento ed il raffrescamento.

La seconda parte riguarda i dati rappresentativi delle condizioni climatiche limite, da utilizzare per il dimensionamento degli impianti tecnici per la climatizzazione estiva ed invernale e per valutare il rischio di surriscaldamento, la terza, le differenze di temperatura cumulate (gradi giorno).

6.3.1. Caratteristiche dell' anno tipo per le località considerate

In questo paragrafo, si riportano i valori minimi, medi e massimi, che saranno raggruppati nei prospetti della norma, per tutte le località scelte per rappresentare le condizioni climatiche nazionali. Si riporta, inoltre, il confronto tra le temperature medie, che derivano dai nuovi dati climatici e quelle presenti sulla UNI 10349 : 1994, per i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre. Nell'appendice AX si riportano i valori orari del mese di luglio per la stazione di ROMA.

ANCONA

Stazione	Provincia	Lon °	Lon '	Lon ''	Lat °	Lat '	Lat ''
Ancona Regione	AN	13	31	00	43	37	00

Dati relativi alla località	Temperatura [°C]	Radiazione solare [W/m ²]	Umidità relativa [%]	Velocità del vento [m/s]
min	-1.4	0.0	13.0	0.2
med	15.6	160.2	64.0	1.7
max	36.9	1077.0	95.0	10.1
%1	1.9	0.0	27.0	0.2
%2	2.9	0.0	31.0	0.2
%5	4.6	0.0	37.0	0.2
%50	15.1	0.0	64.0	1.4
%95	27.2	763.1	89.0	4.6
%98	29.3	865.6	92.0	5.6
%99	30.7	894.0	93.0	6.3

ANCONA T medie (°C)

	CTI	UNI10349
Giugno	22.19708	21.8
Luglio	25.70524	24.4
Agosto	24.62339	24.1
Settembre	20.56097	21.3

BARI

Stazione	Provincia	Lon °	Lon '	Lon ''	Lat °	Lat '	Lat ''
Monopoli	BA	17	17	40	40	55	11

Dati relativi alla località	Temperatura [°C]	Radiazione solare [W/m ²]	Umidità relativa [%]	Velocità del vento [m/s]
min	0.2	0.0	17.0	0.2
med	17.5	136.1	67.1	2.9
max	41.0	918.7	98.0	13.4

%1	4.0	0.0	29.0	0.5
%2	4.8	0.0	32.0	0.6
%5	6.5	0.0	39.0	0.8
%50	16.9	0.0	68.0	2.6
%95	30.3	658.4	92.0	6.1
%98	32.7	752.8	94.0	7.1
%99	34.3	783.3	95.0	7.9

BARI	T medie (°C)	
	CTI	UNI10349
Giugno	24.11792	22.3
Luglio	27.4629	24.7
Agosto	25.60833	24.5
Settembre	23.16028	22.0

BOLZANO

Stazione	Provincia	Lon °	Lon '	Lon ''	Lat °	Lat '	Lat ''
Bolzano - via Amba Alagi	BZ	11	20	36	46	29	59

Dati relativi alla località	Temperatura [°C]	Radiazione solare [W/m ²]	Umidità relativa [%]	Velocità del vento [m/s]
min	-7.6	0.0	9.0	0.2
med	11.3	160.9	57.8	2.2
max	37.5	1036.0	99.0	8.4
%1	-4.4	0.0	15.0	0.3
%2	-3.6	0.0	19.0	0.4
%5	-2.5	0.0	26.0	0.5
%50	11.2	0.0	57.0	1.8
%95	26.9	745.0	91.0	4.8
%98	30.0	845.8	95.0	5.4
%99	31.8	875.0	97.0	5.8

BOLZANO	T medie (°C)	
	CTI	UNI 10349
Giugno	19.46819	21.0
Luglio	24.80712	22.7
Agosto	20.22043	22.0
Settembre	13.26292	18.8

CAGLIARI

Stazione	Provincia	Lon °	Lon '	Lon ''	Lat °	Lat '	Lat ''
Decimomannu	CA	08	59	09	39	19	21

Dati relativi alla località	Temperatura [°C]	Radiazione solare [W/m ²]	Umidità relativa [%]	Velocità del vento [m/s]
min	-3.3	0.0	13.0	0.0
med	16.1	163.0	76.5	0.9
max	39.4	1019.0	100.0	6.7
%1	0.6	0.0	28.0	0.0
%2	1.9	0.0	30.0	0.0
%5	4.3	0.0	37.0	0.0
%50	15.8	6.5	82.0	0.5
%95	28.5	728.1	100.0	3.0
%98	31.2	809.8	100.0	3.4
%99	32.6	835.2	100.0	3.7

CAGLIARI T medie (°C)

CTI UNI10349

Giugno 22.12278 22.9

Luglio 24.60847 25.5

Agosto 24.6082 25.5

Settembre 19.34514 23.3

FIRENZE

Stazione	Provincia	Lon °	Lon '	Lon ''	Lat °	Lat '	Lat ''
Anghiari	AR	12	03	30	43	33	27
Firenze città	FI	11	15	53	43	46	17

Dati relativi alla località	Temperatura [°C]	Radiazione solare [W/m ²]	Umidità relativa [%]	Velocità del vento [m/s]
min	-3.3	0.0	12.0	0.2
med	15.8	166.0	62.5	1.3
max	38.5	924.0	97.0	5.7
%1	-0.4	0.0	18.0	0.2
%2	1.1	0.0	21.5	0.3
%5	3.3	0.0	27.0	0.4
%50	15.5	0.0	65.0	1.1
%95	29.9	718.0	89.0	2.9
%98	33.0	814.0	91.5	3.4
%99	34.6	843.1	93.5	3.7

FIRENZE T medie (°C)

	CTI	UNI
		10349
Giugno	23.21236	22.2
Luglio	25.83172	25.0
Agosto	23.30188	24.3
Settembre	22.01444	20.9

MILANO

Stazione	Provincia	Lon °	Lon '	Lon ''	Lat °	Lat '	Lat ''
Milano - via Juvara	MI	9	13	0	45	28	0

Dati relativi alla località	Temperatura [°C]	Radiazione solare [W/m ²]	Umidità relativa [%]	Velocità del vento [m/s]
min	-3.5	0.0	7.0	0.2
med	14.1	142.0	73.2	1.7
max	34.1	978.0	98.0	9.5
%1	-1.2	0.0	20.0	0.5
%2	-0.3	0.0	27.0	0.6
%5	1.2	0.0	36.0	0.7
%50	13.8	0.3	76.0	1.5
%95	27.3	673.0	96.0	3.0
%98	29.6	796.8	96.0	3.7
%99	30.6	848.0	97.0	4.2

MILANO	T medie (°C)	
	CTI	UNI
		10349
Giugno	23.86278	22.5
Luglio	23.63858	25.1
Agosto	23.39583	24.1
Settembre	20.57861	20.4

PALERMO

Stazione	Provincia	Lon °	Lon '	Lon ''	Lat °	Lat '	Lat ''
Palermo	PA	13	19	40	38	07	52

Dati relativi alla località	Temperatura [°C]	Radiazione solare [W/m ²]	Umidità relativa [%]	Velocità del vento [m/s]
min	2.9	0.0	11.0	0.2
med	18.5	182.4	66.5	0.8
max	36.7	983.3	100.0	4.6
%1	5.7	0.0	24.0	0.2
%2	6.4	0.0	30.0	0.2
%5	8.4	0.0	38.0	0.2
%50	17.8	1.4	66.0	0.6

%95	29.6	780.6	97.0	2.0
%98	31.5	863.9	100.0	2.4
%99	32.5	897.2	100.0	2.6

PALERMO T medie (°C)
 CTI UNI10349
 Giugno 23.85583 22.7
 Luglio 26.94059 25.5
 Agosto 27.00255 25.4
 Settembre 23.41806 23.6

POTENZA

Stazione	Provincia	Lon °	Lon '	Lon ''	Lat °	Lat '	Lat ''
Matera	MT	16	29	14	40	39	20
Oppido Lucano	PZ	15	58	52	40	45	29

Dati relativi alla località	Temperatura [°C]	Radiazione solare [W/m ²]	Umidità relativa [%]	Velocità del vento [m/s]
min	-2.0	0.0	9.3	0.2
med	13.4	185.0	72.2	0.9
max	36.3	1058.7	100.0	3.8
%1	-0.5	0.0	22.5	0.2
%2	0.5	0.0	26.7	0.2
%5	2.5	0.0	33.7	0.2
%50	12.8	0.0	74.2	0.8
%95	27.4	820.3	100.0	2.0
%98	29.7	929.6	100.0	2.4
%99	31.0	975.6	100.0	2.6

POTENZA T medie (°C)
 UNI
 CTI 10349
 Giugno 20.82472 19.1
 Luglio 22.92433 21.9
 Agosto 23.16788 21.9
 Settembre 18.12944 18.9

RIMINI

Stazione	Provincia	Lon °	Lon '	Lon ''	Lat °	Lat '	Lat ''
Rimini	RN	12	34	25	44	03	33

Dati relativi alla località	Temperatura [°C]	Radiazione solare [W/m ²]	Umidità relativa [%]	Velocità del vento [m/s]
min	-2.3	0.0	8.0	0.2
med	15.1	160.4	68.9	1.8
max	36.3	992.0	99.0	8.1
%1	1.1	0.0	23.0	0.2
%2	2.2	0.0	29.0	0.2
%5	3.9	0.0	39.0	0.5
%50	15.4	0.0	70.0	1.5
%95	26.5	750.0	94.0	3.8
%98	28.3	855.0	97.0	4.5
%99	29.1	893.4	98.0	5.2

RIMINI(RN) T medie (°C)

CTI UNI10349

Giugno	22.70944	20.8
Luglio	24.56976	23.4
Agosto	22.21532	22.7
Settembre	20.29403	19.9

ROMA

Stazione	Provincia	Lon °	Lon '	Lon ''	Lat °	Lat '	Lat ''
Ponte di Nona	RM	12	38	57	41	53	49

Dati relativi alla località	Temperatura [°C]	Radiazione solare [W/m ²]	Umidità relativa [%]	Velocità del vento [m/s]
min	-4	0	15	0.5
med	15.79168	149.1719	70.5339 8	1.33442 9
max	37.2	928.1	100	8.7
%1	1.059	0	25.4	0.5
%2	2	0	28.018	0.5
%5	3.6	0	33.395	0.5
%50	15.2	0	73.5	1
%95	30.8	728.9	99.9	3.4
%98	33	815	100	4.4
%99	33.9	841.9	100	5.2

ROMA

T medie (°C)

UNI

CTI 10349

Giugno	22.31222	22.9
Luglio	25.32823	25.7
Agosto	25.72728	25.3
Settembre	21.84403	22.4

VERONA

Stazione	Provincia	Lon °	Lon '	Lon ''	Lat °	Lat '	Lat ''
Buttapietra	VR	11	00	37	45	21	11

Dati relativi alla località	Temperatura [°C]	Radiazione solare [W/m ²]	Umidità relativa [%]	Velocità del vento [m/s]
min	-9.1	0.0	13.0	0.2
med	13.5	158.5	78.2	0.9
max	37.0	1023.0	100.0	8.0
%1	-4.5	0.0	27.0	0.2
%2	-3.3	0.0	30.0	0.2
%5	-1.1	0.0	36.0	0.2
%50	12.9	0.0	86.0	0.6
%95	29.6	755.0	100.0	2.4
%98	32.8	847.0	100.0	3.0
%99	34.3	882.0	100.0	3.4

VERONA	T medie (°C)	
	CTI	UNI
		10349
Giugno	23.79472	21.7
Luglio	24.46116	23.8
Agosto	24.09677	23.6
Settembre	18.20389	20.2

6.4. Confronto dei dati orari di temperatura

Per ogni località considerata, si sono confrontate le temperature esterne orarie, che caratterizzano l'anno tipo De Giorgio, con quelle che caratterizzano l'anno tipo prodotto dal CTI, per i mesi di luglio e agosto.

Nelle pagine seguenti, si riportano i risultati di tale confronto attraverso dei diagrammi che hanno in ordinata la temperatura esterna in °C, ed in ascissa il numero mensile di ore, per i mesi di luglio ed agosto.

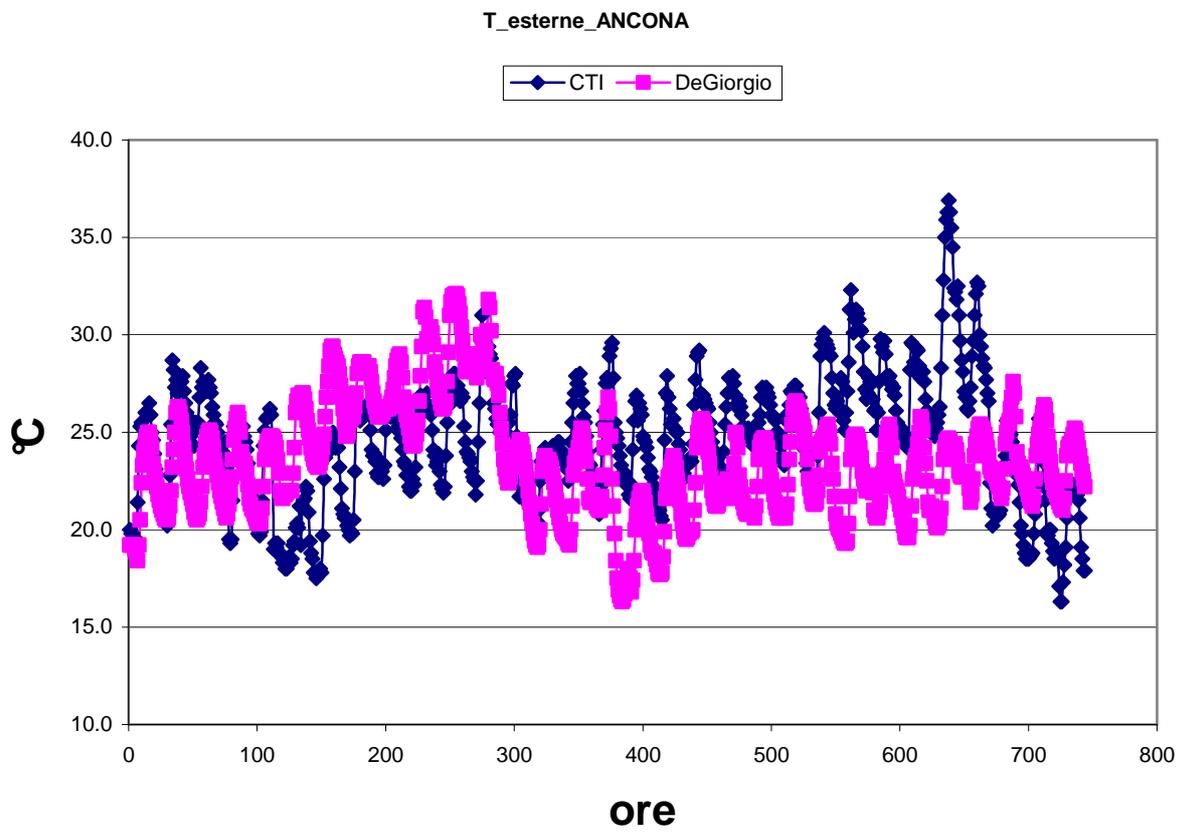
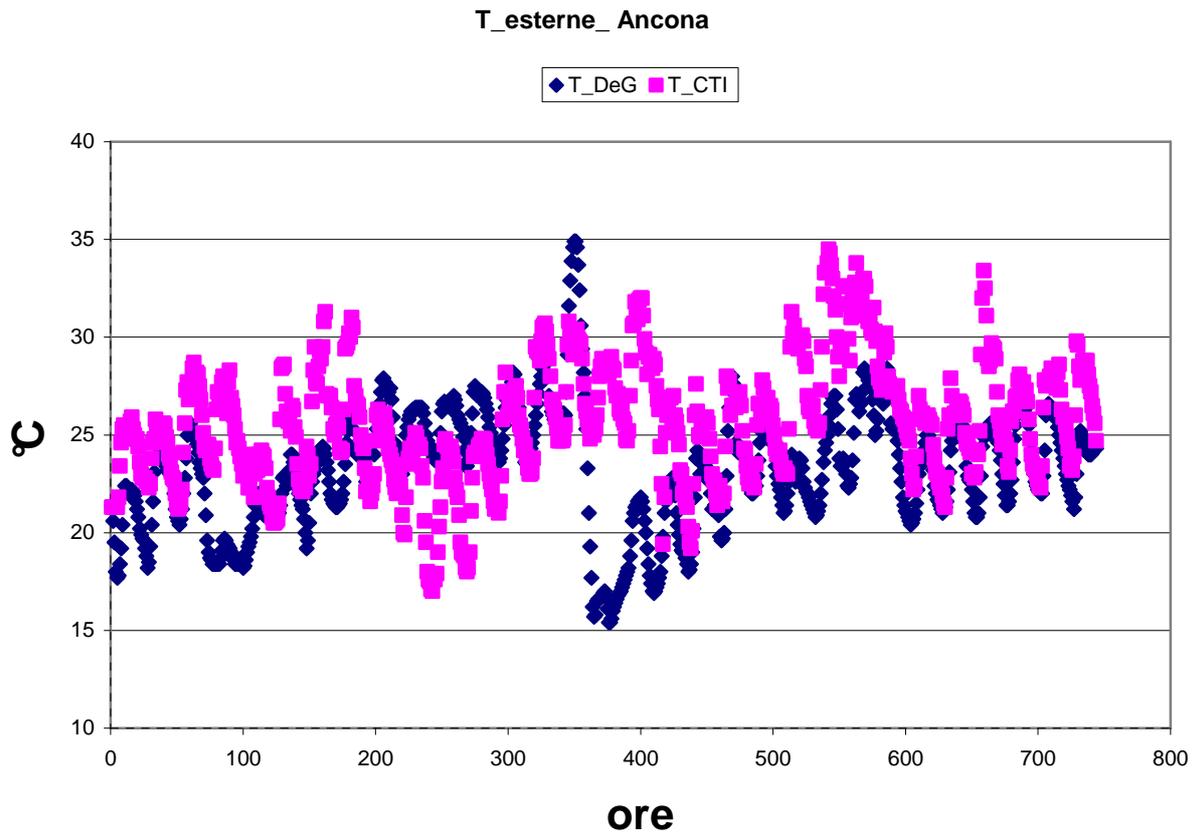


FIG.VI.2. *Temperature esterne di Ancona, per i mesi di luglio e agosto*

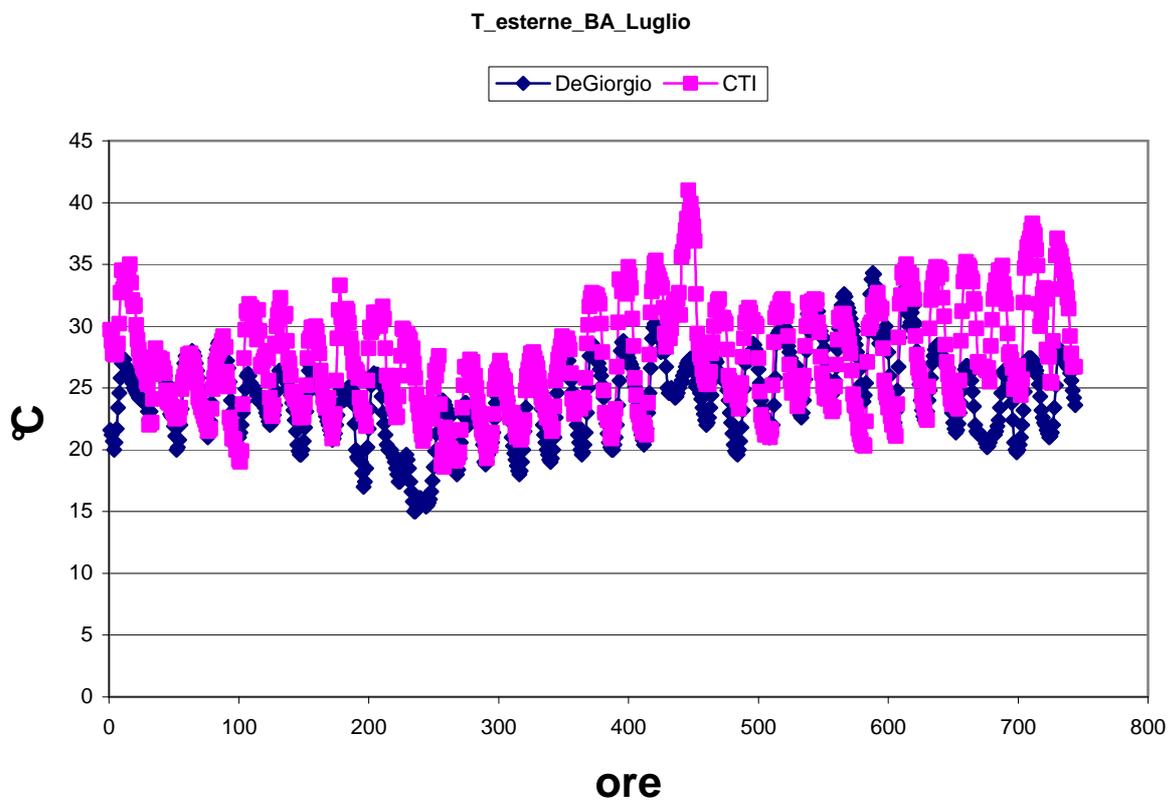
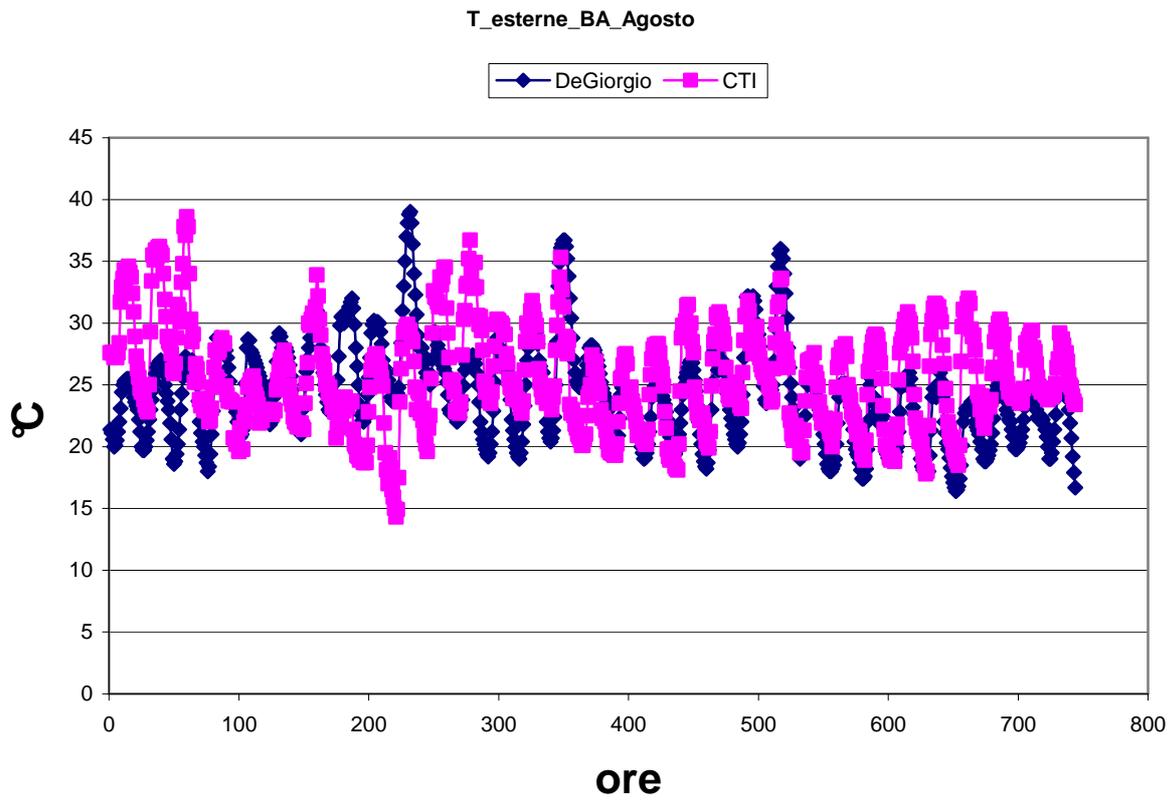


FIG.VI.3. Temperature esterne di Bari, per i mesi di luglio e agosto

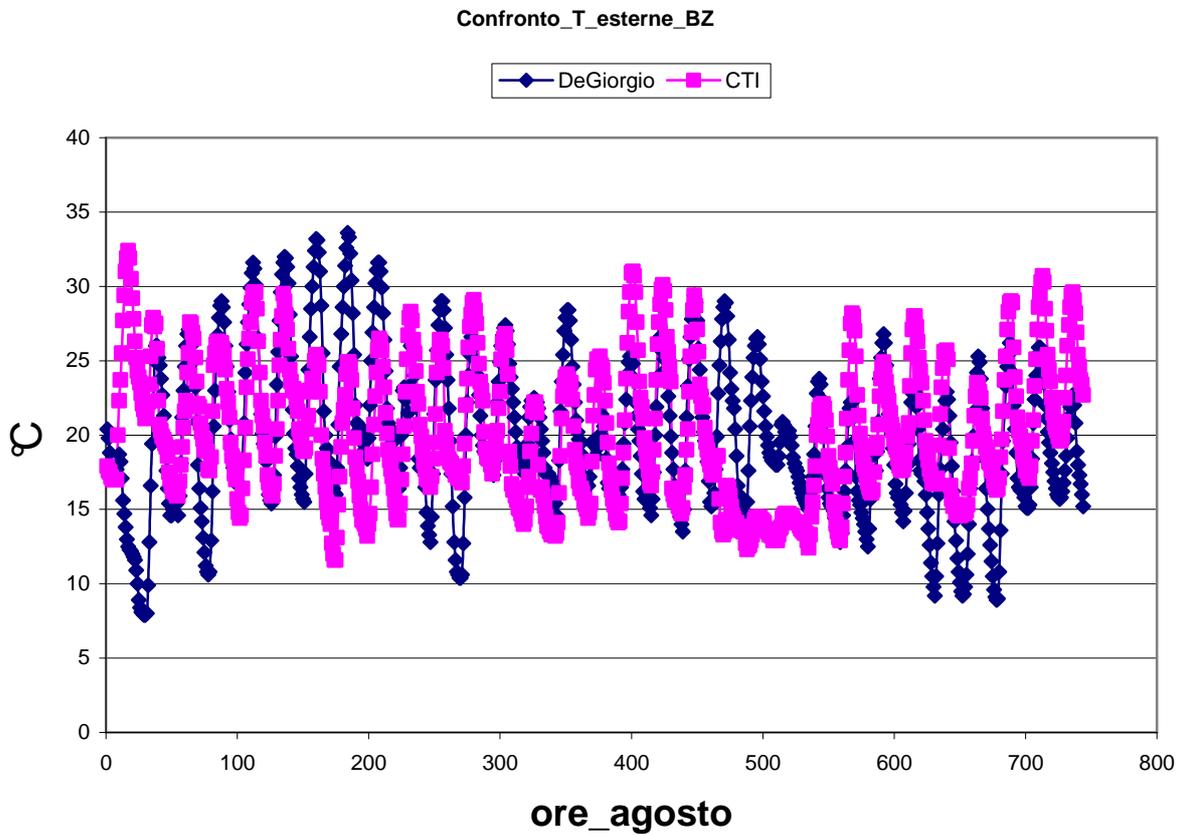
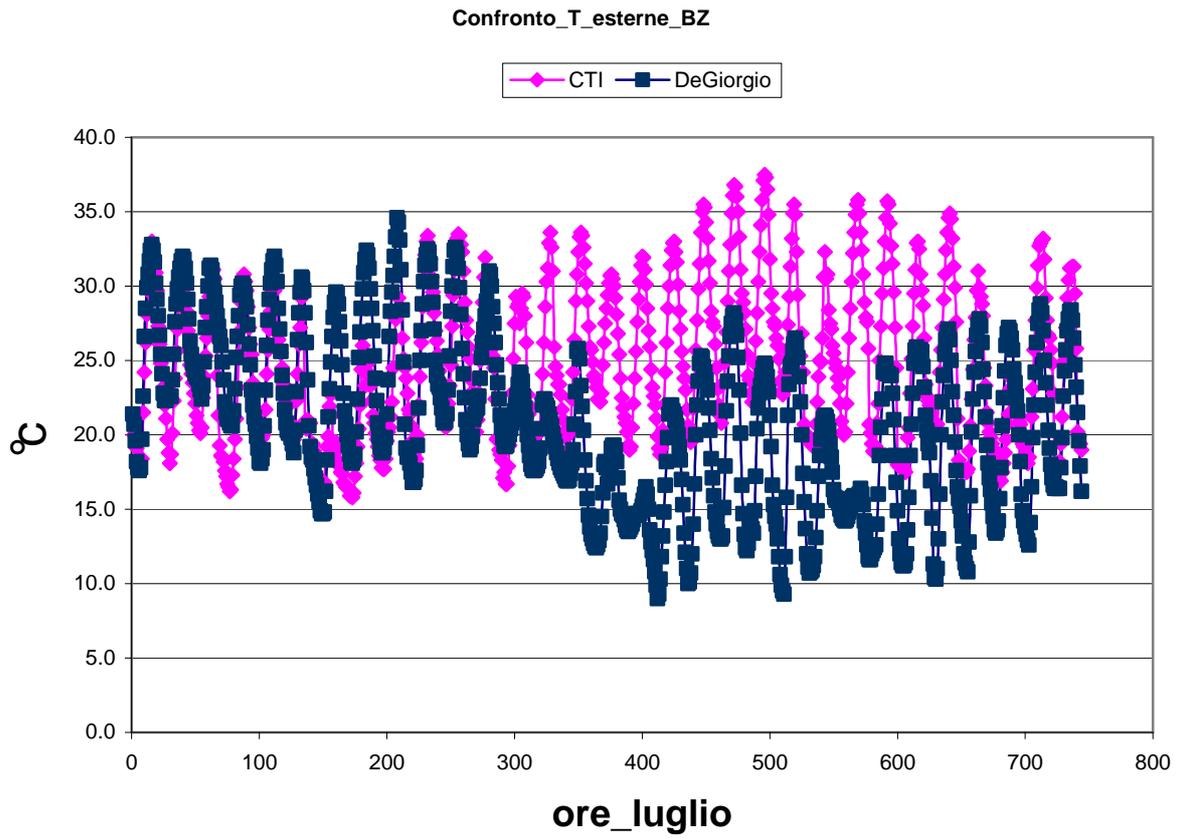


FIG.VI.4. *Temperature esterne di Bolzano, per i mesi di luglio e agosto*

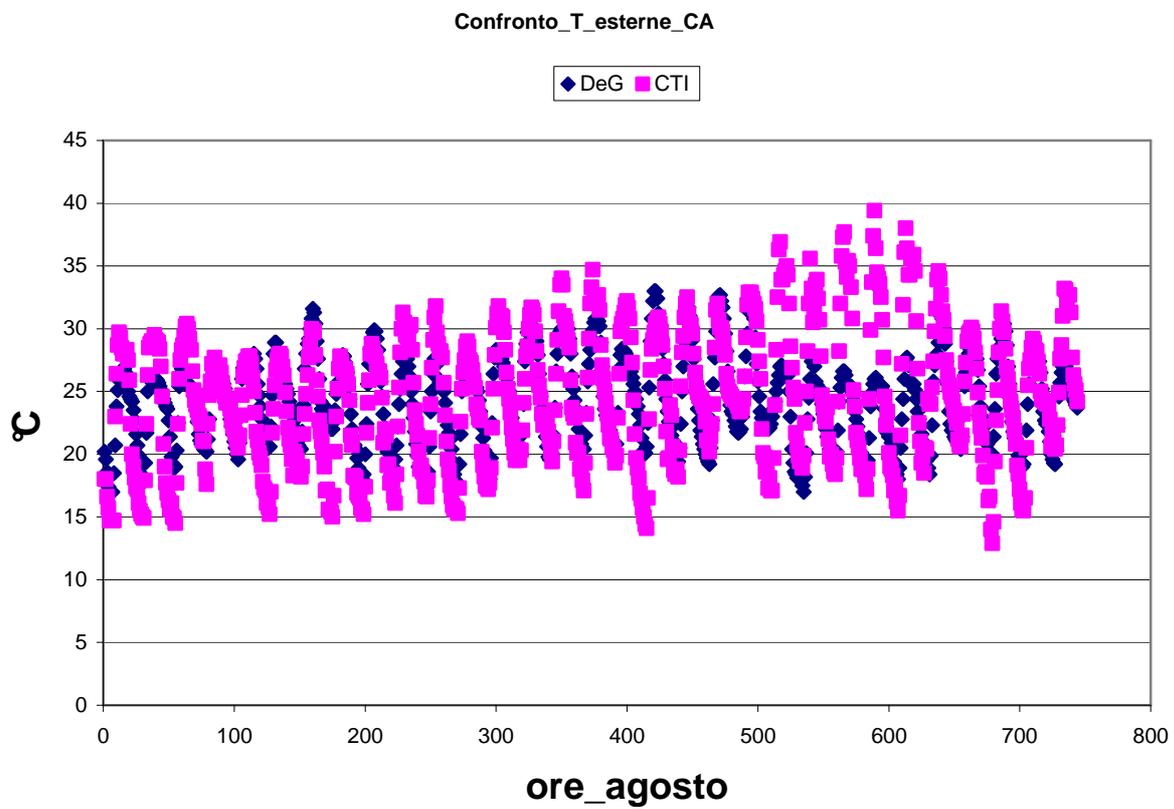
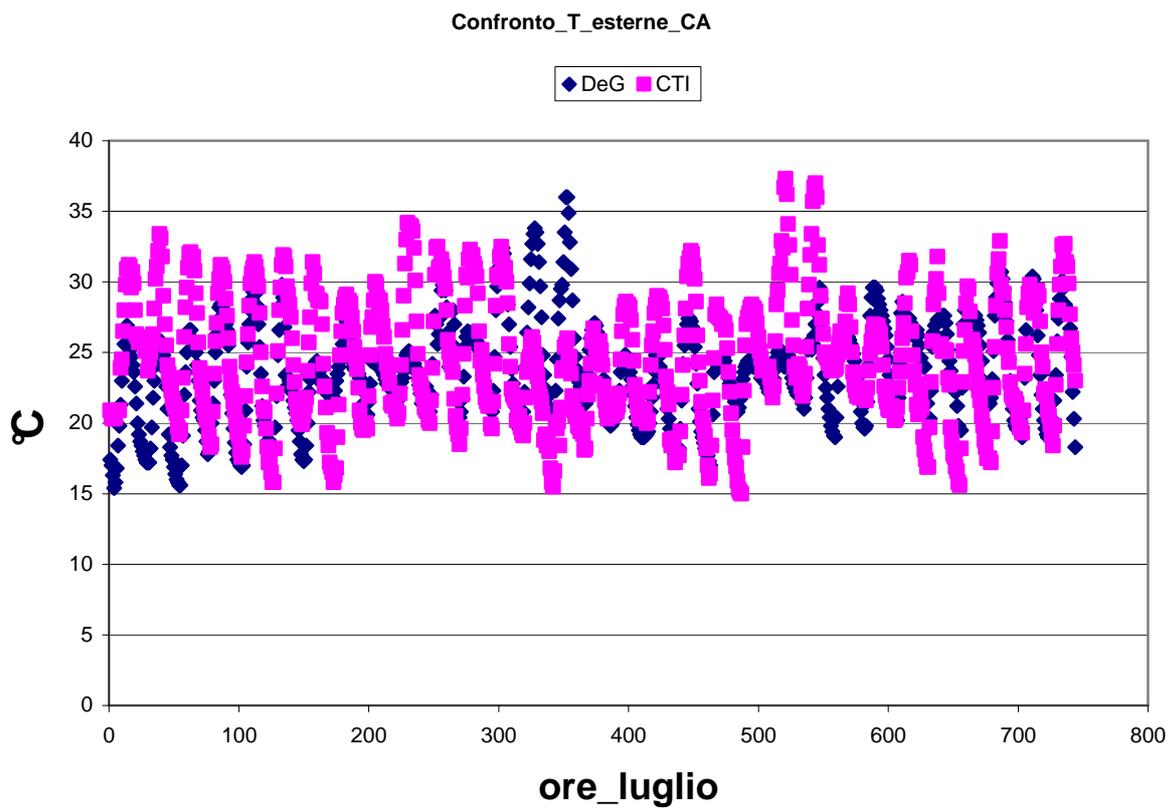


FIG.VI.5. Temperature esterne di Cagliari, per i mesi di luglio e agosto.

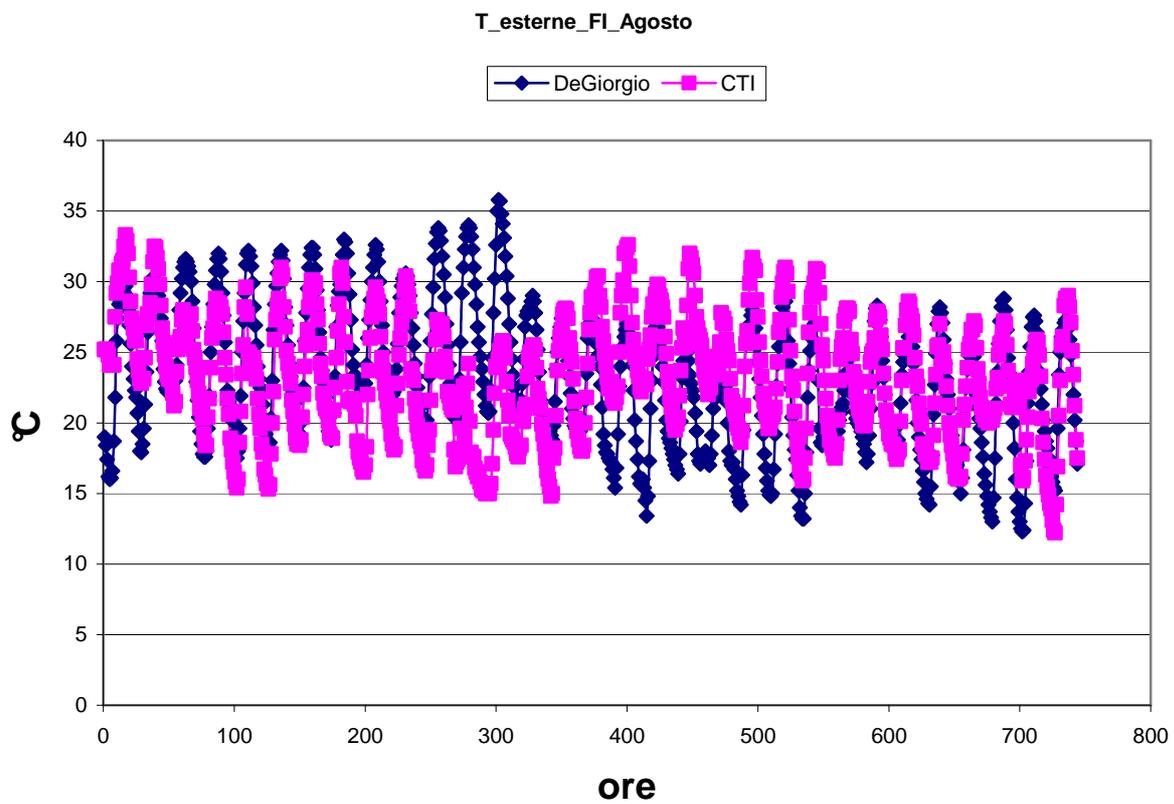
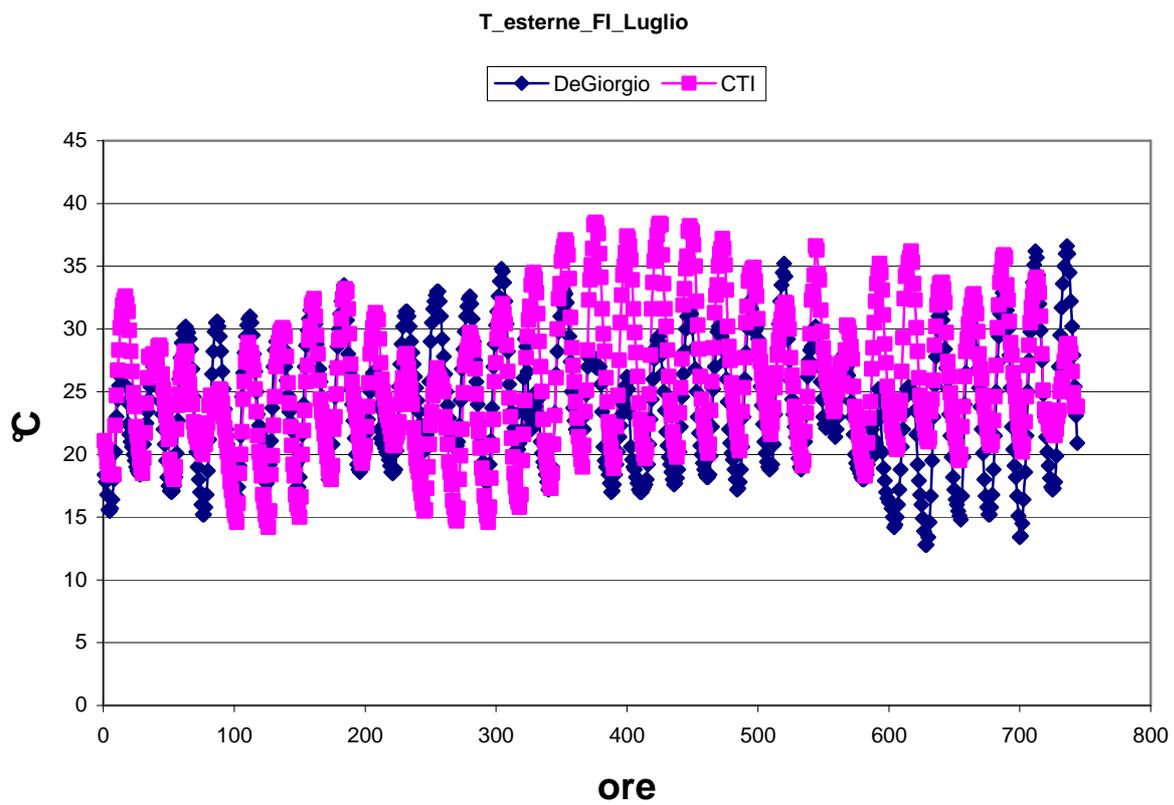


FIG.VI.6. *Temperature esterne di Firenze, per i mesi di luglio e agosto*

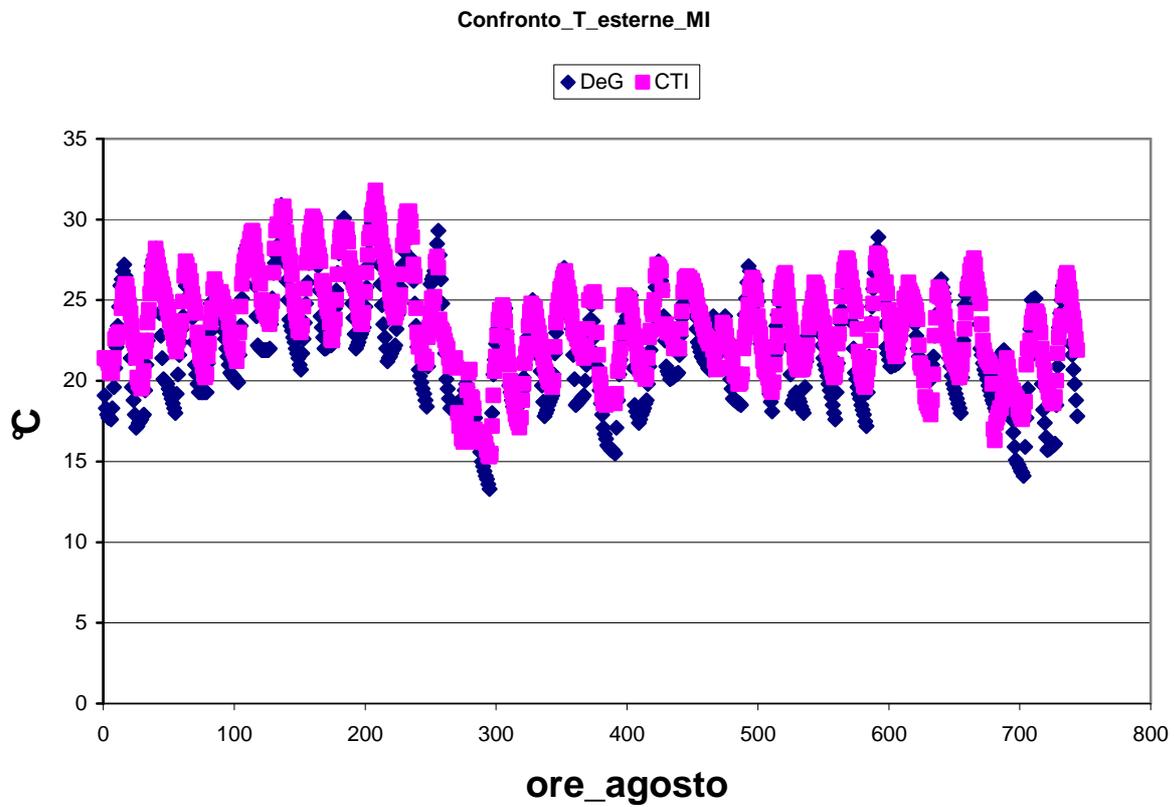
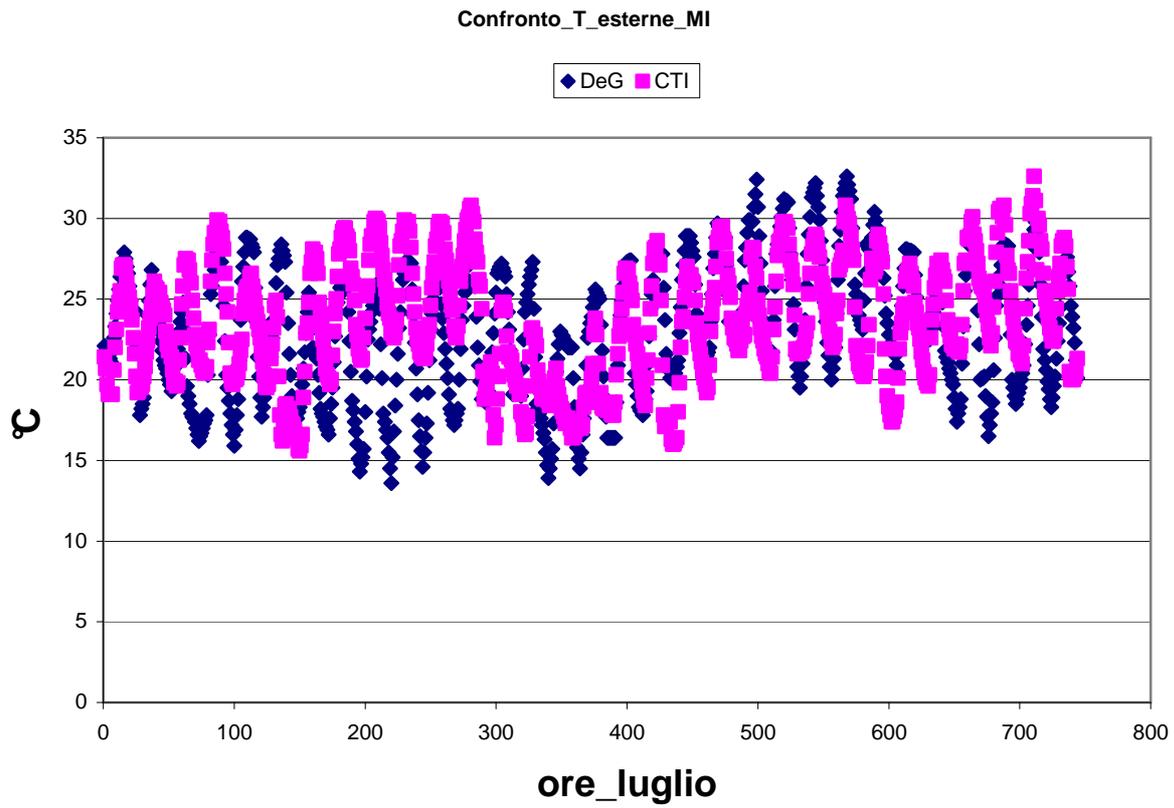


FIG.VI.7. *Temperature esterne di Milano, per i mesi di luglio e agosto*

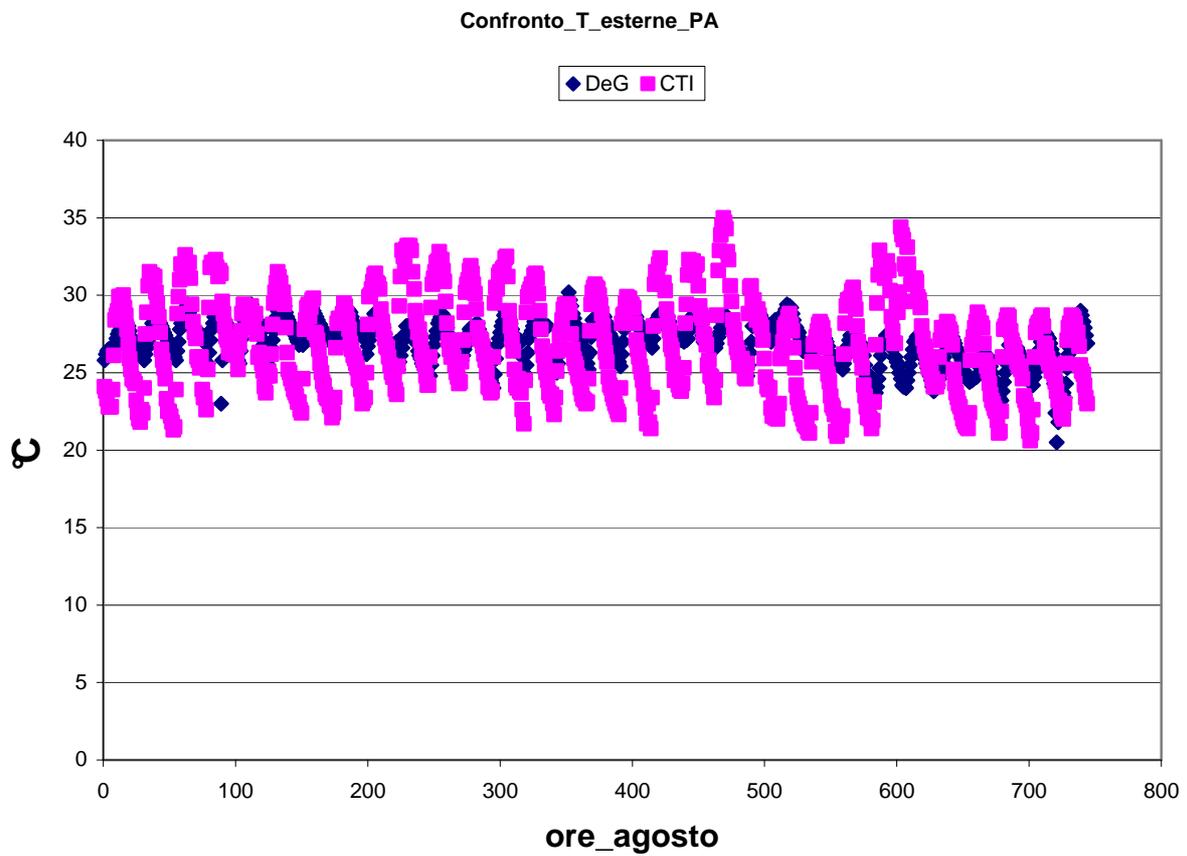
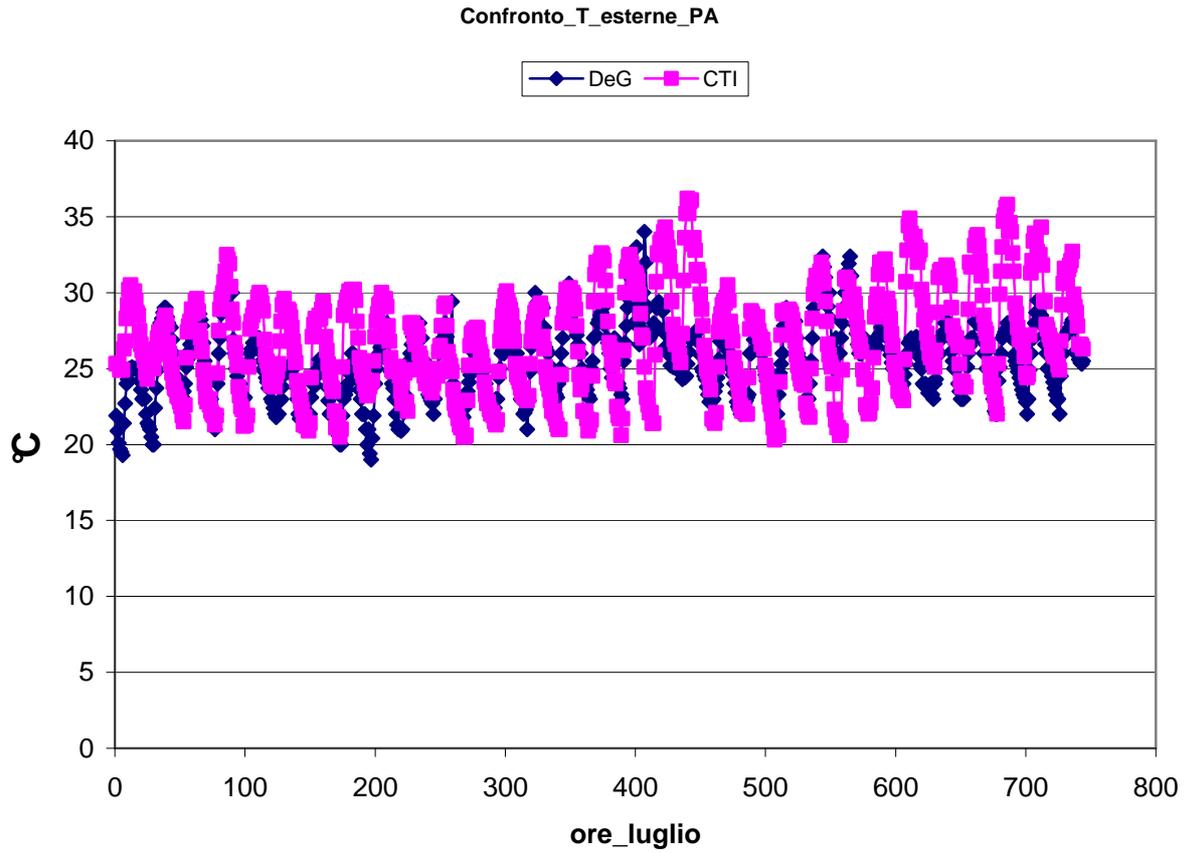


FIG.VI.8. Temperature esterne di Palermo, per i mesi di luglio e agosto

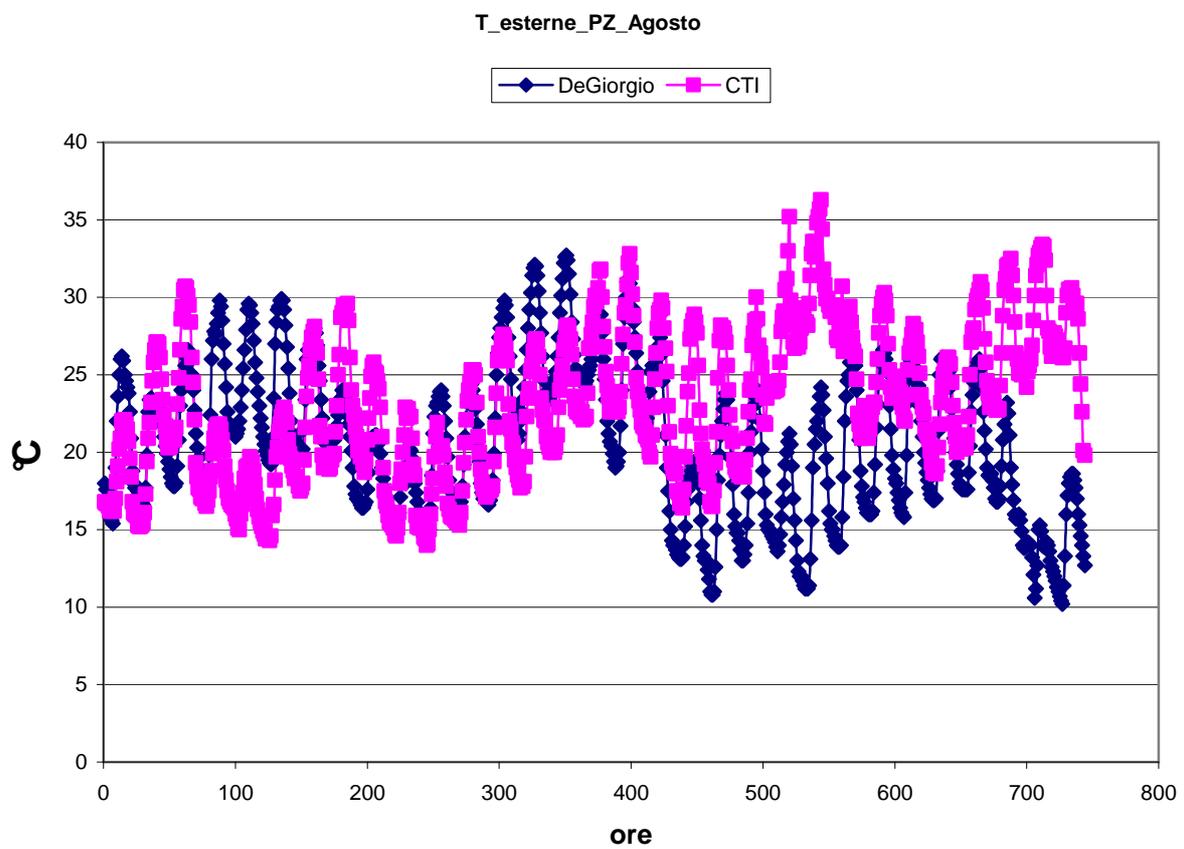
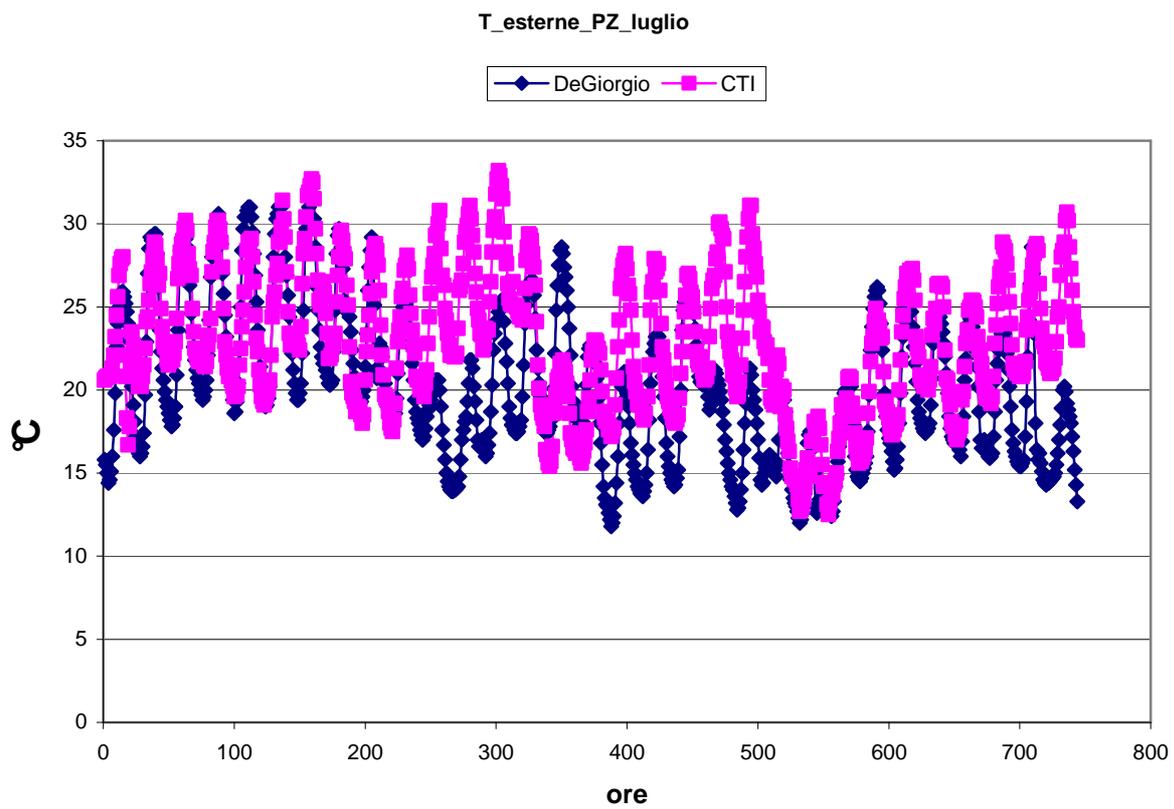


FIG.VI.9. Temperature esterne di Potenza, per i mesi di luglio e agosto

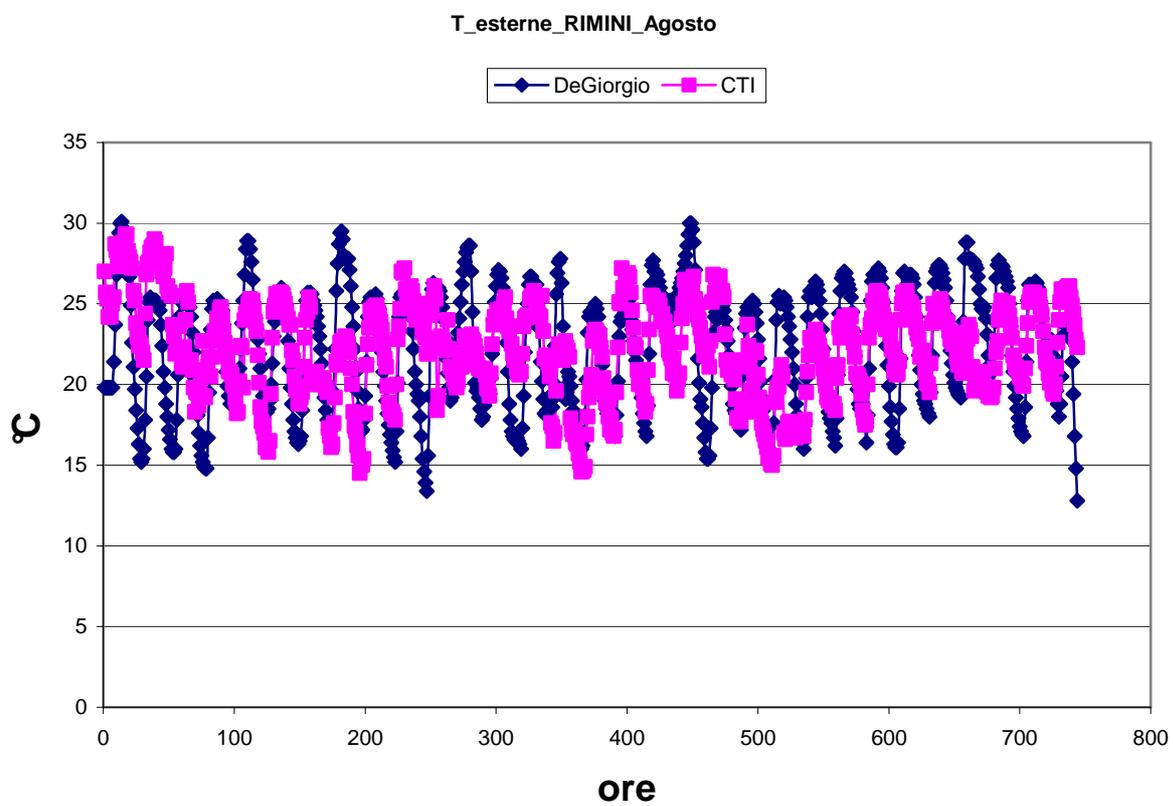
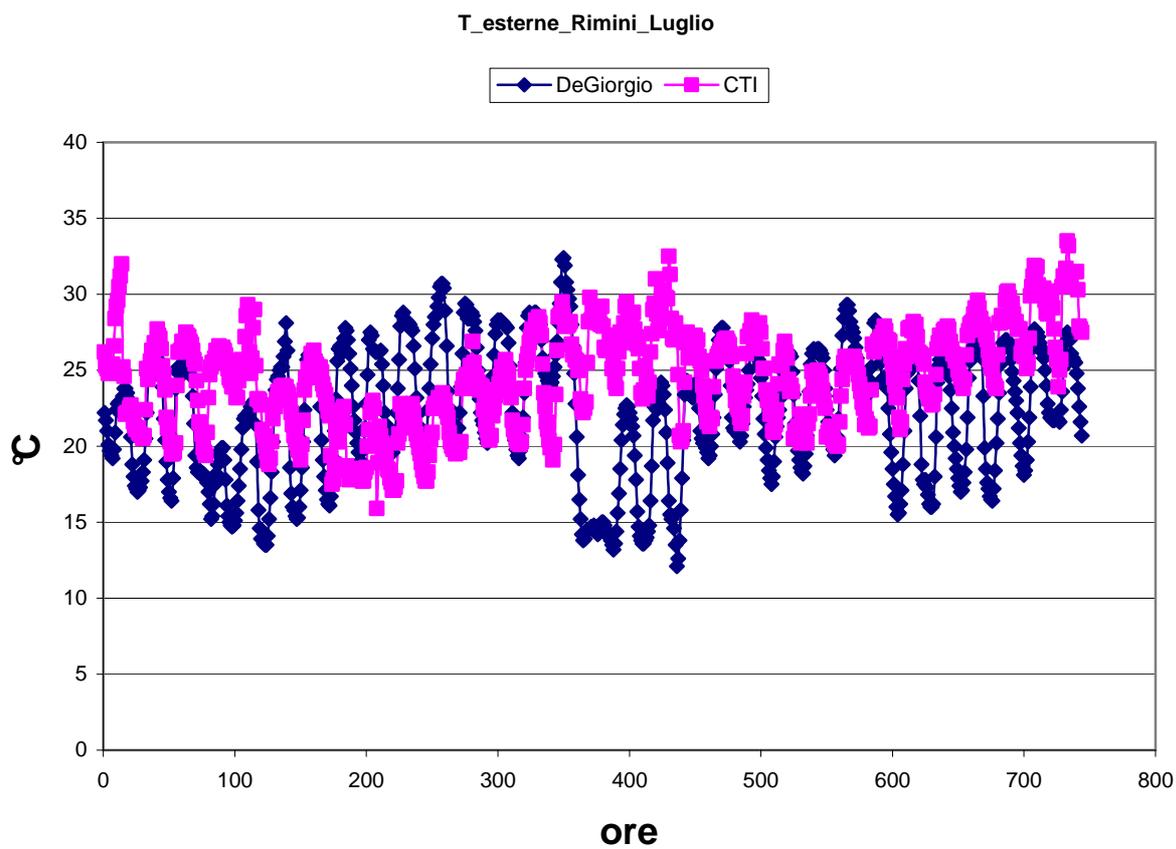


FIG.VI.10. Temperature esterne di Rimini, per i mesi di luglio e agosto

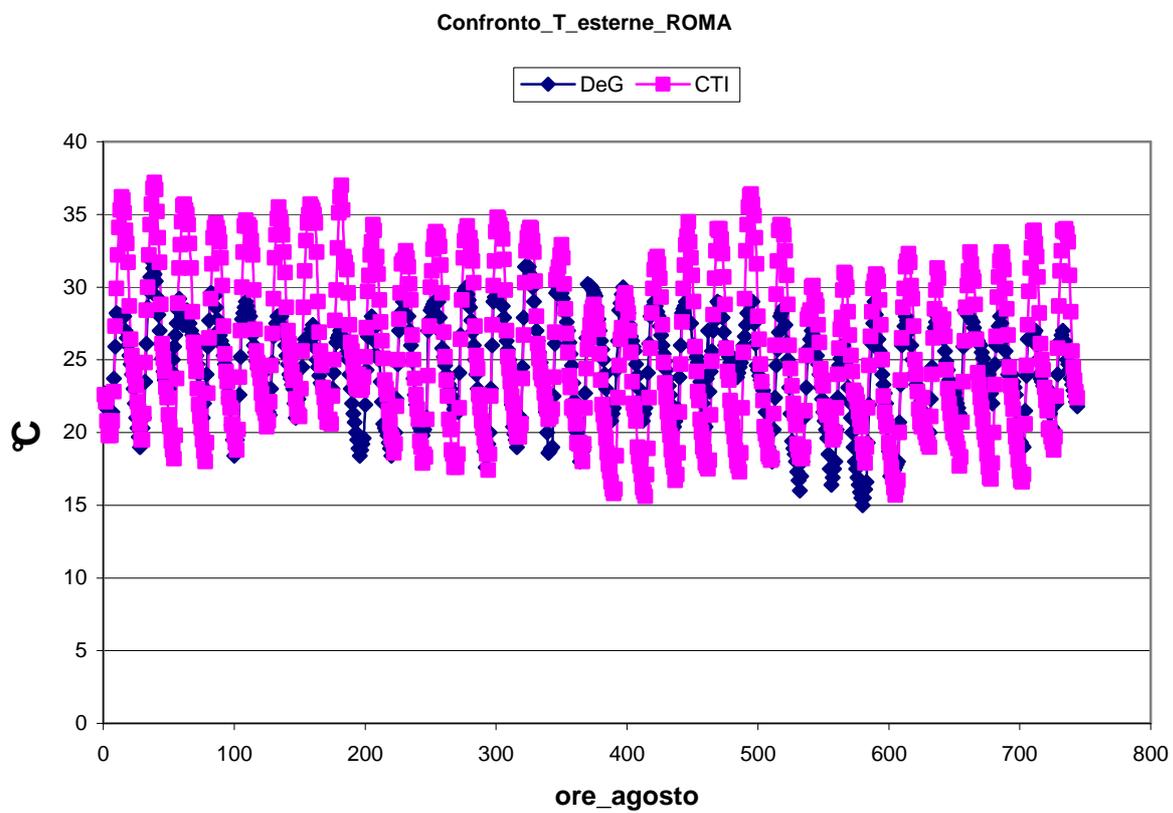
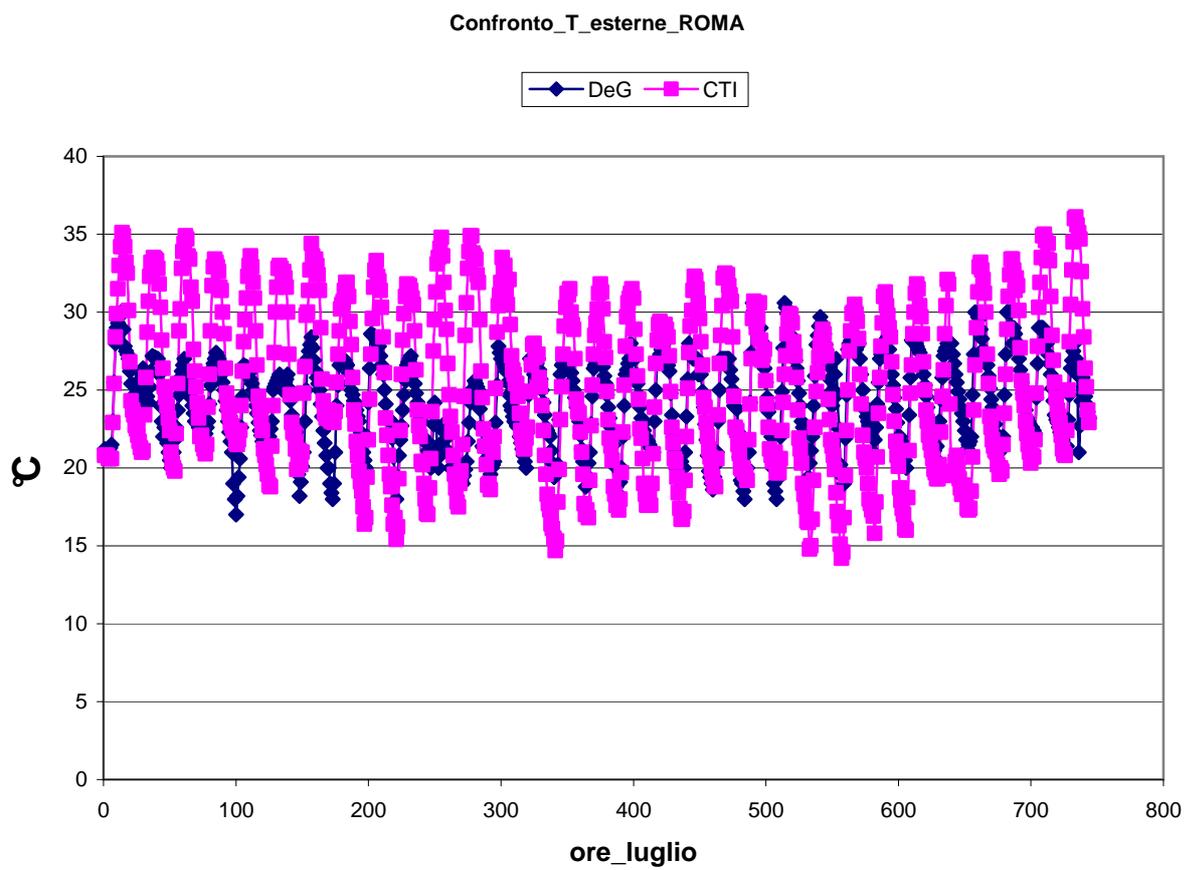


FIG.VI.11. Temperature esterne di Roma, per i mesi di luglio e agosto

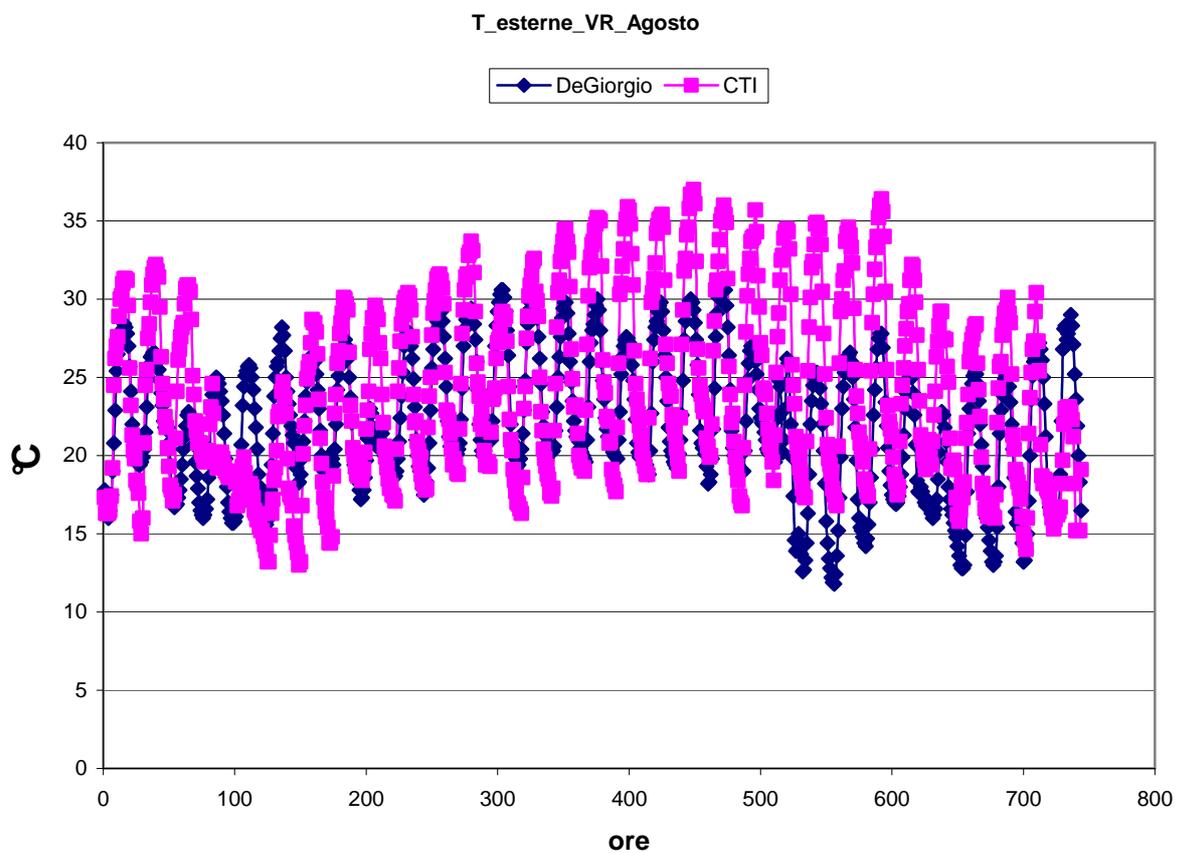
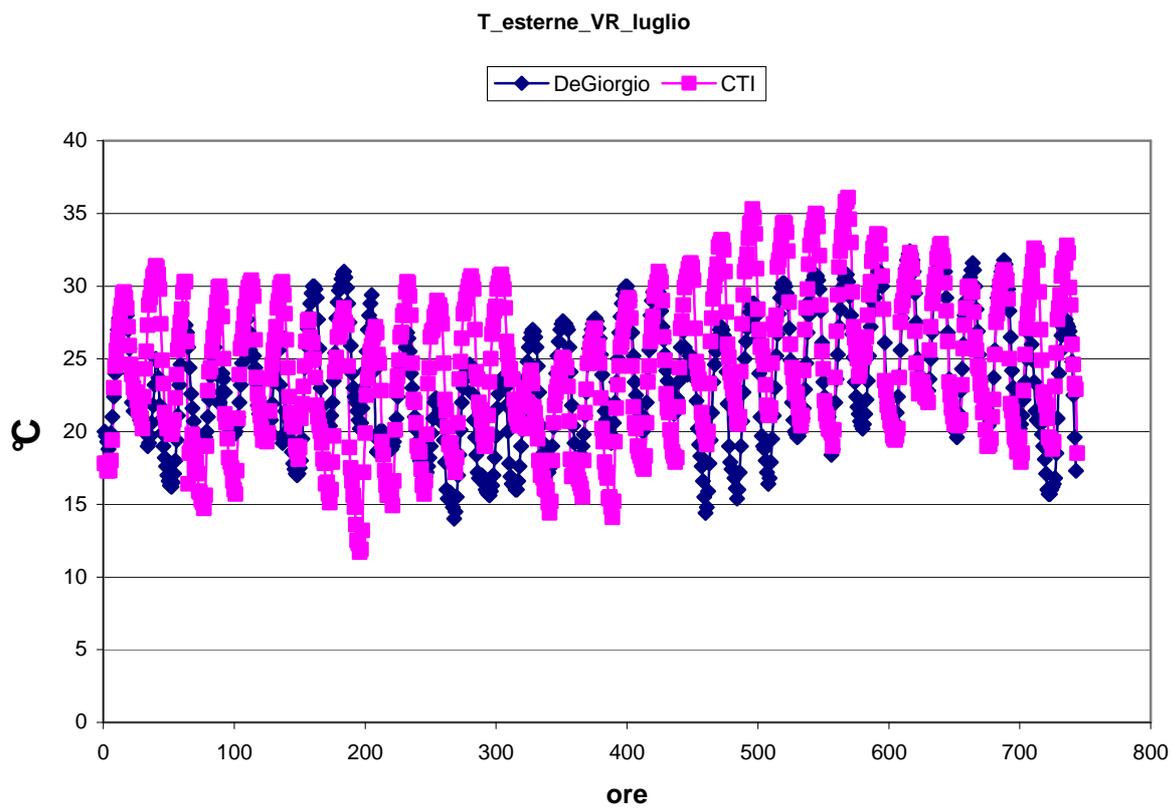


FIG.VI.12. Temperature esterne di Verona, per i mesi di luglio e agosto

6.5. Costruzione dell'Energy Plus Weather data file dell'anno tipo CTI

Con riferimento al *software* di simulazione utilizzato, le condizioni al contorno meteorologiche sono inserite attraverso un file .epw (Energy Plus Weather data file) quando si svolge una simulazione di lungo periodo in condizioni di esercizio. Il file .epw contiene tutte le grandezze climatiche dell'anno tipo di una certa località, cioè, 8760 valori orari di temperatura a bulbo secco dell'aria, temperatura a bulbo umido dell'aria, umidità specifica dell'aria e così via, poi interpolati dal software sul *time step* di calcolo utilizzato. Si osservi, in relazione all'elaborazione dei dati, che il file climatico contiene l'irradianza diretta normale (non l'irradianza diretta su piano orizzontale), che viene impiegata nel calcolo della quota diretta della radiazione solare su una superficie comunque orientata, e l'irradianza diffusa orizzontale, che viene impiegata nel calcolo della quota diffusa della radiazione solare su una superficie comunque orientata avendo assunto un modello di cielo anisotropo. Per quanto riguarda la definizione della posizione del Sole il software utilizza le formule astronomiche di Meeus. Per il calcolo del flusso radiativo scambiato con la volta celeste il file climatico comprende il dato relativo alla radiazione infrarossa su piano orizzontale; in alternativa può essere fissata dall'utente la temperatura della volta celeste, come è stato fatto nel capitolo VIII, par 8.xxx. , per l'applicazione dell'approccio *black-box* al calcolo dei termini di bilancio energetico. Infine, i calcoli relativi alla determinazione delle ombre vengono effettuati generalmente ogni 20 giorni in una simulazione di lungo periodo.

Per la costruzione dell'anno di riferimento CTI, in un formato congruente con il software di simulazione, si è partiti dal formato e dai dati disponibili, che sono stati elaborati con TRNSYS per ottenere tutte le grandezze necessarie alla costruzione del file .epw (Energy Plus Weather data file).

L'input del processo per la costruzione di quello che si definisce “ anno tipo CTI ” sono i dati dell'anno di riferimento, che sono opportunamente elaborati da diverse Type di Trnsys simulation studio. La type 9c di Data Readers, consente l'inserimento dei dati che vengono elaborati nella Type 33e di Physical Phenomena Thermodynamic Properties e nella Type 16c di Physical Phenomena, opportunamente collegate, consentono di avere le grandezze fondamentali per la costruzione del file meteo compatibile. Queste grandezze, a loro volta, vengono inviate ad altre Type per la conversione delle unità di misura ed infine alla Type25a per il file di output.

Il file di output di Trnsys simulation studio, non contiene l'irradianza solare diretta sulla superficie perpendicolare ai raggi solari, che si calcola mediante i contenuti dell'Appendice A della (bozza) UNI 10349_2012: Metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata.

In considerazione di una superficie definita da una inclinazione β rispetto all'orizzontale e da un azimut γ l'irradianza solare totale che incide sulla superficie (*i*-esima) comunque inclinata ed orientata è data dalla somma delle componenti diretta e diffusa.

Indicata l'irradianza diretta con $I_{i,b}$, si ha:

$$I_{i,b} = I_{h,b} R_b , \quad (VI.1)$$

dove

$I_{h,b}$ é l'irradianza diretta sulla superficie orizzontale e

$$R_b = (\cos\theta / \sin \alpha) \quad (VI.2)$$

con

θ = angolo di incidenza;

α = altezza solare.

Donde, nel caso specifico,

$$I_{i,b} = I_{h,b} (1 / \cos \theta_z), \quad (VI.3)$$

dove θ_z è l'angolo zenitale.

A questo punto, con un lavoro sistematico e puntuale di inserimento dei valori determinati e ulteriori passaggi tra i formati .xls e .csv si giunge al formato compatibile ed alla possibilità di fare la simulazione con l'anno tipo CTI.

CAPITOLO VII

ANALISI DELLE CONDIZIONI DI TEMPERATURA INTERNA PER LA VALIDAZIONE DEL METODO MENSILE FONDATA SUL FATTORE DI UTILIZZAZIONE DELLE DISPERSIONI

7.1. Generalità

In questo capitolo, non si vuole entrare nel merito dei criteri e dei sistemi per la validazione, delle procedure di calcolo, che per altro mettono a disposizione sia un numero di casi di prova che di corrispondenti criteri di validazione limitati sia in numero, si ripete, che scopo, per essere utilizzati per garantire solo piccole differenze nei risultati. Ad esempio, i casi IEA BESTEST permettono, a seconda del caso, una deviazione dal risultato di riferimento di una larghezza di banda compresa tra il 50% e il 150%. Pertanto essi sono sufficientemente validi per filtrare i metodi chiaramente errati, ma non sufficientemente efficaci per assicurare quella elevata riproducibilità che può essere richiesta nel contesto della regolamentazione edilizia.

L'ampiezza della larghezza di banda, dipende da diversi motivi, uno dei quali è che a ciascun metodo è permesso l'utilizzo dei propri algoritmi, talvolta semplificati, talvolta più dettagliati.

Questo, perché il livello di dettaglio richiesto differisce, a seconda del centro di interesse del calcolo e, perché non c'è ancora un accordo internazionale sui requisiti minimi per i calcoli, quando si tratta di dettagli specifici del calcolo (per esempio l'effetto angolare della trasmittanza solare della vetrata e dei dispositivi di schermatura solare) e quando si tratta di impianti tecnici per il riscaldamento, il raffrescamento e la ventilazione.

Per ridurre la larghezza di banda è necessario specificare nei minimi dettagli le assunzioni, le condizioni al contorno e gli algoritmi di calcolo, o almeno le assunzioni per la loro semplificazione. Ci si collega, invece, ai casi di prova a cui è stato sottoposto il metodo di calcolo mensile per la validazione, che sono presenti nella UNI EN ISO 13790.

Il Technical Committee 89, nell'ambito della preparazione delle norme per l'EPBD, incaricò nel 2003, il CEN TC89 WG4 (TNO Building and Construction Research-Department of Sustainable Energy and Buildings) di sviluppare un metodo mensile per il regime di raffrescamento, contemporaneamente, nel CEN TC89 WG6, il CSTB propose un metodo orario che fu sottoposto a validazione e il WG 6 sollecitò che anche il metodo mensile fosse sottoposto agli stessi casi.

I casi di prova del WG 6 comprendevano solo il clima di Parigi e il TNO propose di aggiungere altri due climi, quello di Roma e Stoccolma, i cui dati climatici furono generati all'interno del progetto IEA SHC Task 27.

Tali dati climatici furono implementati nel foglio di calcolo elettronico fornito dal CSTB, per il metodo orario semplificato.

7.2. Tipo di validazione

Il tipo di test per la validazione è quello che in letteratura viene indicato con il termine : *Qualification (or validation) tests* , dove il termine *Qualification* è utilizzato all'interno di IEA, mentre altri usano il termine *validation* , nel senso che la sua funzione è quella di paragonare i risultati di un certo metodo di calcolo con i risultati che derivano da una rappresentazione dettagliata della realtà fisica.

In this case the monthly method should fit in, because all the methods use their own method, (da Monthly method to calculate cooling demand for EP regulations).

In figura VII.1. si riporta una rappresentazione grafica di quanto esposto.

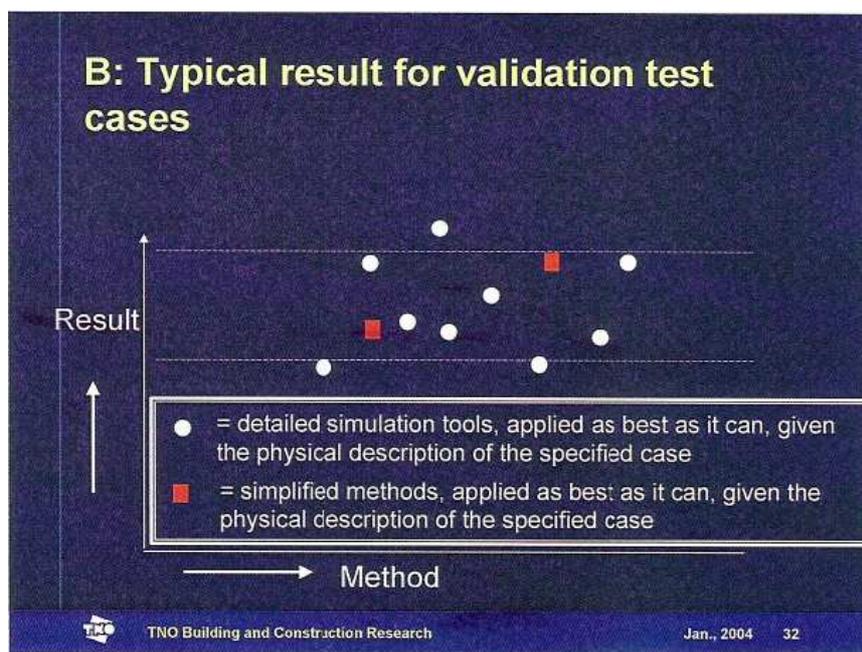


FIG. VII.1. Tipo di validazione dei casi di prova.

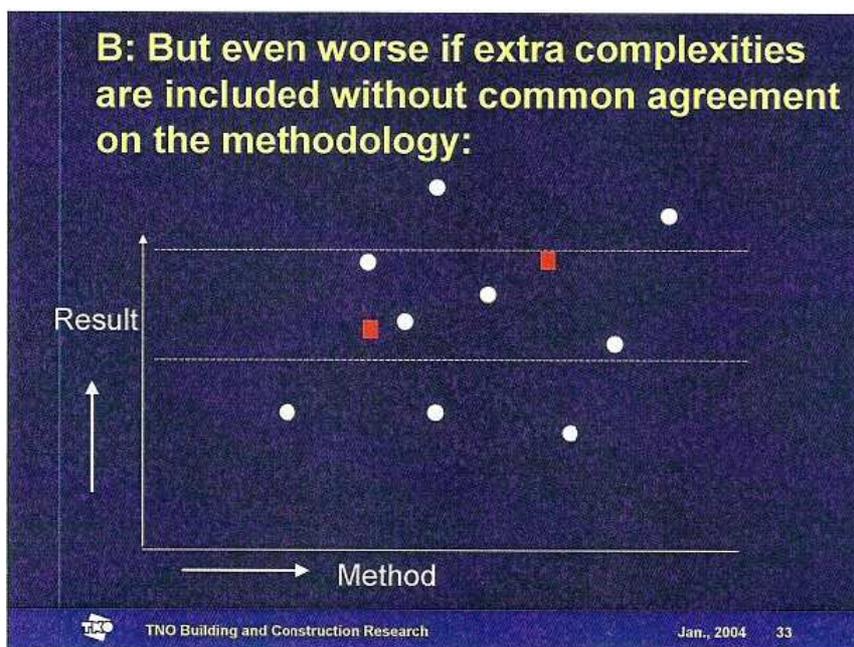


FIG.VII.2.

Nella figura VII.2. è rappresentata la situazione per cui si genera una dispersione ancora maggiore dei risultati, se sono incluse ulteriori complessità senza un accordo comune sulla metodologia.

7.2.1. *Casi di prova e risultati del CEN TC 89*

I casi di prova sono quelli della UNI EN 15265, rappresentati nella tabella seguente.

<i>Test</i>	<i>shading</i>	<i>mass</i>	<i>internal gains</i>	<i>intermittent heat/cool</i>	<i>with roof</i>
1	si	leggera	si	no	si
2	si	pesante	si	no	si
3	si	leggera	no	no	si
4	no	leggera	si	no	si
5	si	leggera	si	si	no
6	si	pesante	si	si	no
7	si	leggera	no	si	no
8	no	leggera	si	si	no
9	si	leggera	si	si	no
10	si	pesante	si	si	no
11	si	leggera	no	si	no
12	no	leggera	si	si	no

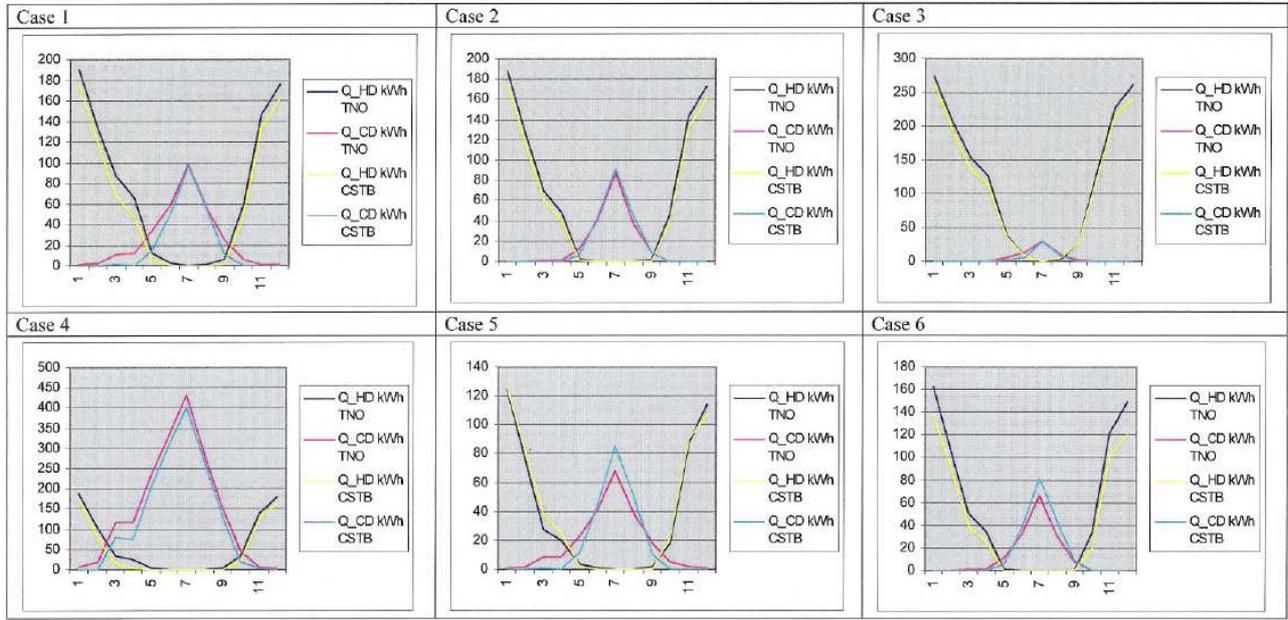
TAB.VII.1. *Caratteristiche dei casi di prova*

I risultati corrispondenti, sono riportati nelle figure seguenti, in cui i fabbisogni contrassegnati con TNO derivano dal metodo mensile, mentre quelli contrassegnati con CSTB, derivano dal metodo orario semplificato.

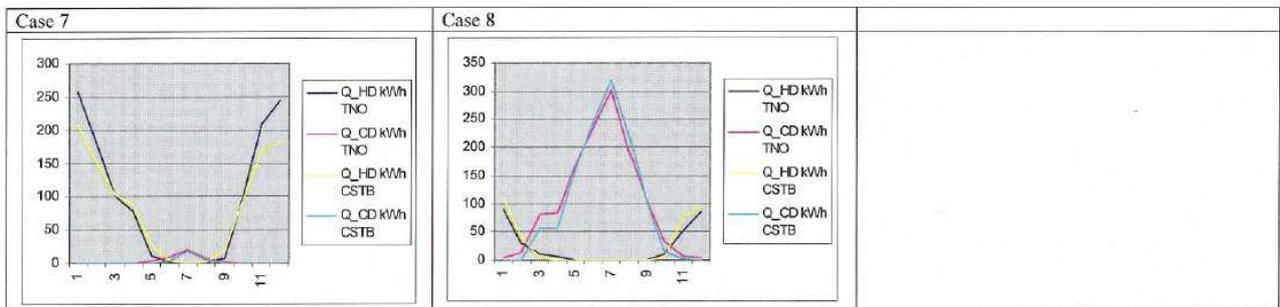
Per le condizioni climatiche di Parigi (FIG. VII.3.)

Representative examples of the results:
((the complete set of results is available as excel file))

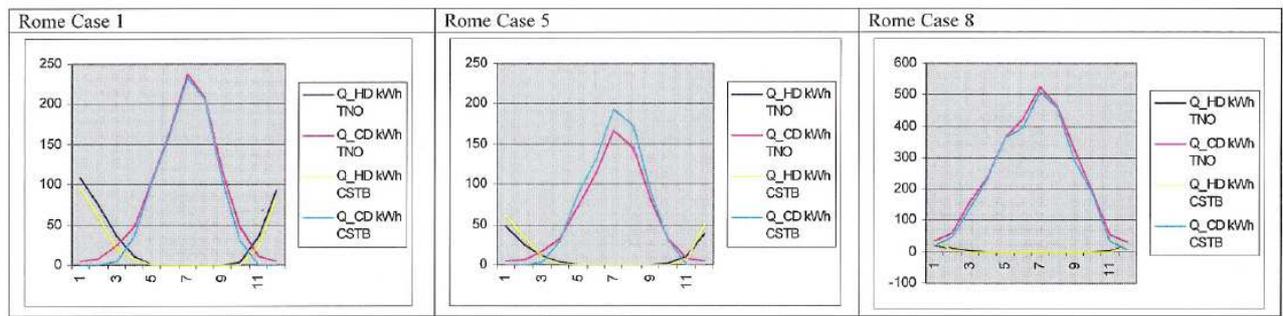
Paris climate:



Per le condizioni climatiche di Roma e Stoccolma(FIG.VII.4.)



Other climates: similar results, examples::



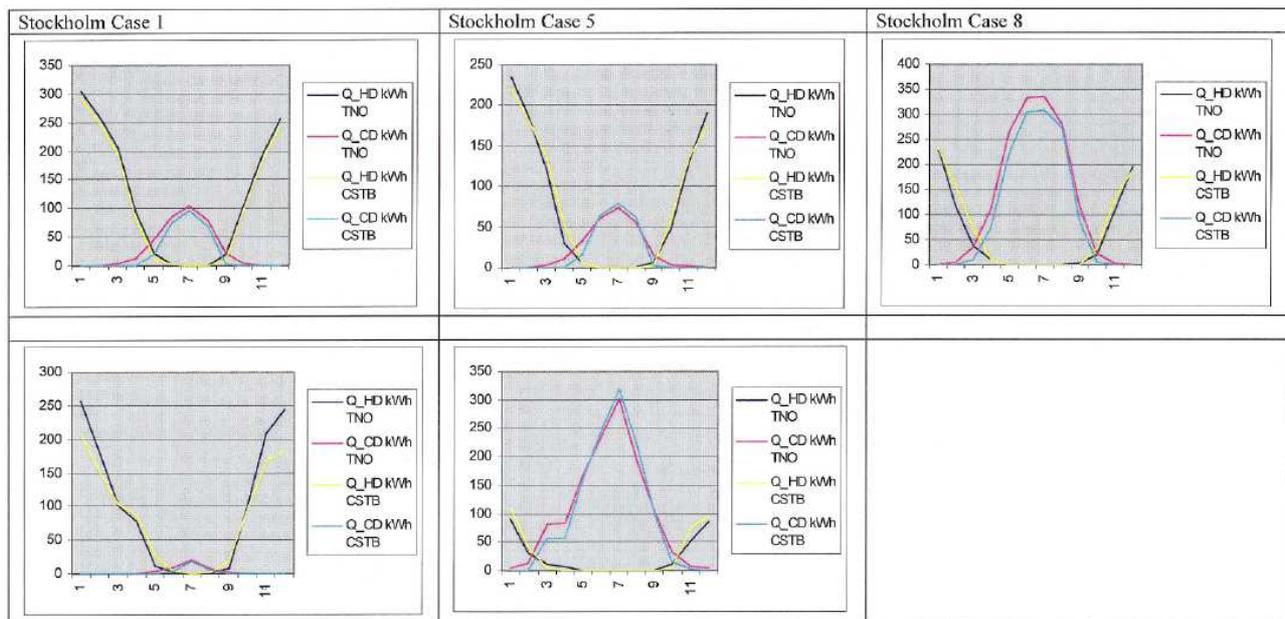


FIG. VII.3.e FIG.VII.4.

7.3. Obiettivi delle simulazioni

Data la spiegazione del fattore di utilizzazione delle dispersioni, focalizzata nel par 1.xxx. e considerate le ricerche ed i risultati che si sono susseguiti sull'argomento e riportati in letteratura, ci si pone l'obiettivo di determinare la temperatura interna, definita nella UNI EN ISO 13790, come la media aritmetica della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante al centro della zona termica, ovvero la temperatura operante approssimata secondo la ISO 7726, in corrispondenza alla temperatura di regolazione (26°C) fissata dal sistema di regolazione nella usuale modalità di raffrescamento e senza periodi di raffrescamento intermittente, mediante simulazioni dinamiche orarie.

La medesima definizione di temperatura interna si trova nel Documento CTI 010200043. *DRAFT*, Revisione della specifica tecnica UNI/TS 11300-1: Prestazioni energetiche degli edifici-Parte 1:Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, del 20/03/2012.

Nello stesso *DRAFT* sono rimasti invariati, rispetto alla precedente edizione del 2008, i significati, metodi e procedure per la determinazione del fattore di utilizzazione delle dispersioni in modalità di raffrescamento.

La zona termica é quella utilizzata dal CEN TC 89, ovvero quella della UNI EN 15265, ampiamente dettagliata nel prossimo paragrafo.

Le condizioni meteorologiche di simulazione sono quelle analizzate e specificate nel capitolo VI, cioè undici file climatici determinati a partire dai dati attualmente disponibili per il territorio nazionale, ed elaborati per poter eseguire le simulazioni con il codice di calcolo scelto.

7.4. Zona termica per le simulazioni

Geometria

Le dimensioni interne della stanza sono: lunghezza = 3,6 m; profondità = 5,5 m; altezza = 2,8 m. Il muro esterno si affaccia ad Ovest ed include la finestra vetrata . Le aree dei componenti della stanza sono riportate in tabella .

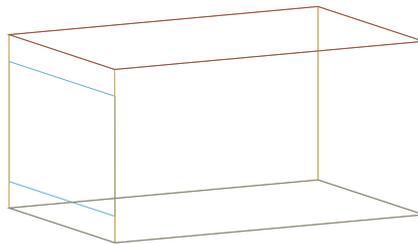


FIG. VII.5. Zona termica

TAB.VII.2. Estensione delle pareti della zona (da UNI EN 15265)

Area	Muro esterno	Finestra	Muro interno a sinistra	Muro interno a destra	Muro interno posteriore	Pavimento	Soffitto
(m ²)	3.08	7.0	15.4	15.4	10.08	19.8	19.8

Proprietà termofisiche dei componenti opachi e caratteristiche termiche dinamiche

Le caratteristiche termiche dinamiche sono calcolate secondo la UNI EN ISO 13786: 2008, Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo , la quale definisce i metodi per il calcolo del comportamento termico in regime dinamico di componenti edilizi completi e specifica quali siano le informazioni sul componente edilizio necessarie per il calcolo.

TAB VII.3. *Caratteristiche termofisiche della parete esterna*

Parete esterna	s (m)	λ (W/mK)	c (J/kg K)	ρ Kg/m ³	Profondità di penetrazione al periodo T (m)	s/d	Resistenza termica m ² K/ W
Internal plastering	0.015	0.70	850	1400	0.127	0.118	0.021
Masonry	0.175	0.79	850	1600	0.126	1.385	0.222
Insulating layer	0.06	0.04	850	30	0.208	0.289	1.500
Outer layer	0.115	0.99	850	1800	0.133	0.862	0.116
	36.50 s_tot (cm)						R _{strati_tot} = 1.859

Regime periodico stabilizzato

T = 24 ore

Fattore di decremento - attenuazione	fd	[-]	0.1833	
Ritardo fattore di decremento - sfasamento	φ	[h]	11.05	
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m ² K]	0.0904	
Ammettenza termica lato interno	Yii	[W/m ² K] , [h]	4.562	-10.66
Ammettenza termica lato esterno	Yee	[W/m ² K] , [h]	8.581	-8.97
Capacità termica areica lato interno	Cip(2007)	[kJ/m ² K]	131.77	63.96
Capacità termica areica lato esterno	Cep(2007)	[kJ/m ² K]	151.10	119.06
Fattore di smorzamento superficiale interno				(esterno)
	Parete disperdente	fsd	[-]	0.407
	Parete interna	fsi	[-]	0.395

Regime stazionario

Massa superficiale	Ms [kg/m ²]	509.80
Resistenza termica totale	Rt [m ² K/W]	2.029
Trasmittanza	U [W/m ² K]	0.493
Conduttanza	C [W/m ² K]	0.538
Capacità termica areica	Cta [kJ/m ² K]	433.33
Costante di tempo	τ [h]	244.24

TAB VII.4. *Caratteristiche termofisiche della parete interna*

Parete interna	s (m)	λ (W/mK)	c (J/kg K)	ρ Kg/m ³	Profondità di penetrazione al periodo T(24h) (m)	s/d	Resistenza termica m ² K/ W
gypsum plaster	0.012	0.21	850	900	0.087	0.138	0.057
Mineral wool	0.10	0.04	850	30	0.208	0.481	2.5
gypsum plaster	0.012	0.21	850	900	0.087	0.138	0.057
	12.4 s_tot (cm)						R _{strati_tot} = 2.614

Regime periodico stabilizzato

T = 24 ore

Fattore di decremento - attenuazione	fd	[-]	0.9919	
Ritardo fattore di decremento - sfasamento	φ	[h]	0.91	
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m ² K]	0.3563	
Ammettenza termica lato interno	Yii	[W/m ² K] , [h]	0.772	-8.24
Ammettenza termica lato esterno	Yee	[W/m ² K] , [h]	0.800	-7.96
Capacità termica areica lato interno	Cip(2007)	[kJ/m ² K]	10.45	10.05
Capacità termica areica lato esterno	Cep(2007)	[kJ/m ² K]	10.45	10.76
Fattore di smorzamento superficiale interno				(esterno)
Parete disperdente	fsd	[-]	0.900	0.896
Parete interna	fsi	[-]	0.905	0.898

Regime stazionario

Massa superficiale	Ms [kg/m ²]	24.60
Resistenza termica totale	Rt [m ² K/W]	2.784
Trasmittanza	U [W/m ² K]	0.359
Conduttanza	C [W/m ² K]	0.383
Capacità termica areica	Cta [kJ/m ² K]	20.91
Costante di tempo	τ [h]	16.17

Il valore di resistenza termica totale, riportato nelle tabelle, é relativo al caso in cui le resistenze termiche superficiali esterne sono rispettivamente 0.13, interna e 0.04 quella esterna.

TAB VII.5. *Caratteristiche termofisiche del soffitto*

Soffitto	s (m)	λ (W/mK)	c (J/kg K)	ρ Kg/m ³	Profondità di penetrazione al periodo T(24h) (m)	s/d	Resistenza termica m ² K/ W
acoustic board	0.02	0.06	840	400	0.070	0.285	0.333
mineral wool	0.10	0.04	850	50	0.161	0.622	2.500
concrete	0.18	2.10	850	2400	0.168	1.070	0.086
Mineral wool	0.04	0.04	850	50	0.161	0.249	1.000
Cement floor	0.06	1.40	850	2000	0.150	0.399	0.043
Plastic covering	0.004	0.23	1500	1500	0.053	0.075	0.017
	40.4 s _{tot} (cm)						Rstrati _{tot} = 3.979

Regime periodico stabilizzato

T = 24 ore

Fattore di decremento - attenuazione	fd	[-]	0.0389	
Ritardo fattore di decremento - sfasamento	ϕ	[h]	10.47	
Trasmittanza termica periodica	Y _{ie}	[W/m ² K]	0.0094	
Ammettenza termica lato interno	Y _{ii}	[W/m ² K] , [h]	0.622	-8.67
Ammettenza termica lato esterno	Y _{ee}	[W/m ² K] , [h]	6.734	-8.25
Capacità termica areica lato interno	C _{ip} (2007)	[kJ/m ² K]	9.05	8.67
Capacità termica areica lato esterno	C _{ep} (2007)	[kJ/m ² K]	105.43	92.70
Fattore di smorzamento superficiale interno				(esterno)
Parete disperdente	f _{sd}	[-]	0.938	0.327
Parete interna	f _{si}	[-]	0.937	0.326

Regime stazionario

Massa superficiale	M_s [kg/m ²]	573.00
Resistenza termica totale	R_t [m ² K/W]	4.119
Trasmittanza	U [W/m ² K]	0.243
Conduttanza	C [W/m ² K]	0.251
Capacità termica areica	C_{ta} [kJ/m ² K]	490.87
Costante di tempo	τ [h]	561.68

Il valore di resistenza termica totale é relativo al caso in cui le resistenze termiche superficiali esterne sono rispettivamente 0.10, interna e 0.04 quella esterna.

TAB VII.6. *Caratteristiche termofisiche del pavimento*

Pavimento	s (m)	λ (W/mK)	c (J/kg K)	ρ Kg/m ³	Profondità di penetrazione al periodo T(24h) (m)	s/d	Resistenza termica m ² K/ W
Plastic covering	0.004	0.23	1500	1500	0.053	0.075	0.017
Cement floor	0.06	1.40	850	2000	0.150	0.399	0.043
Mineral wool	0.04	0.04	850	50	0.161	0.249	1.000
concrete	0.18	2.10	850	2400	0.168	1.070	0.086
mineral wool	0.10	0.04	850	50	0.161	0.622	2.50
acoustic board	0.02	0.06	840	400	0.070	0.285	0.333
	40.4 s_tot (cm)						$R_{strati_tot} = 3.979$

Regime periodico stabilizzato

T = 24 ore

Fattore di decremento - attenuazione

fd [-]

0.0245

Ritardo fattore di decremento - sfasamento	φ	[h]	12.10	
Trasmittanza termica periodica	$ Y_{ie} $	[W/m ² K]	0.0058	
Ammettenza termica lato interno	Y_{ii}	[W/m ² K], [h]	4.069	-9.99
Ammettenza termica lato esterno	Y_{ee}	[W/m ² K], [h]	0.637	-8.56
Capacità termica areica lato interno	Cip(2007)	[kJ/m ² K]	105.43	56.01
Capacità termica areica lato esterno	Cep(2007)	[kJ/m ² K]	9.05	8.81
Fattore di smorzamento superficiale interno				(esterno)
	Parete disperdente	fsd	[-]	0.308
	Parete interna	fsi	[-]	0.308

Regime stazionario

Massa superficiale	M_s [kg/m ²]	573.00
Resistenza termica totale	R_t [m ² K/W]	4.189
Trasmittanza	U [W/m ² K]	0.239
Conduttanza	C [W/m ² K]	0.251
Capacità termica areica	C_{ta} [kJ/m ² K]	490.87
Costante di tempo	[h]	571.22

Il valore di resistenza termica totale é relativo al caso in cui le resistenza termiche superficiali esterne sono rispettivamente 0.17, interna e 0.04 quella esterna.

Il coefficiente di assorbimento solare delle superfici delle pareti e del pavimento é 0.6, mentre quello del soffitto é 0.9.

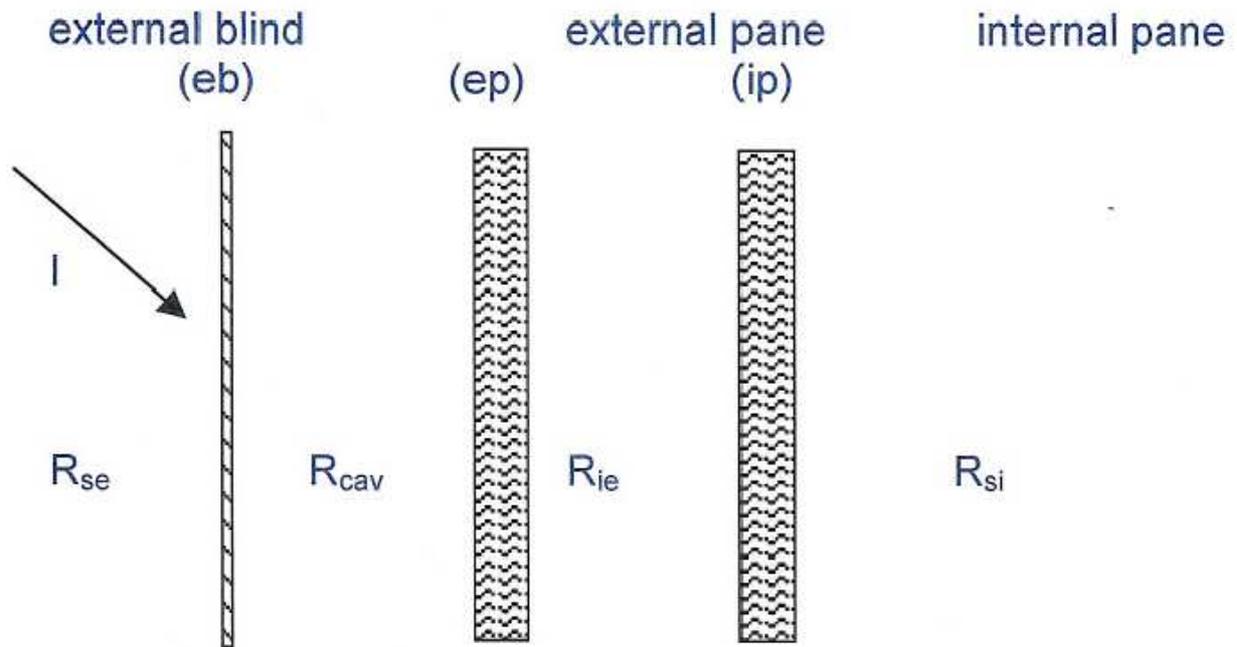
Sistemi vetrati

I parametri solari dei componenti della vetrata, nell'ipotesi che siano indipendenti dall'angolo solare, sono riportati nella tabella seguente:

TAB VII.7. Parametri solari dei componenti vetrati delle finestre

Componente	Trasmittanza	Riflettanza	Assorbanza
Dispositivo ombreggiamento	0.84	0.08	0.08
Vetro	0.20	0.50	0.30

FIG.VII.6. Finestra con dispositivo di ombreggiamento (da UNI EN 15265)



Legenda:

1. dispositivo di ombreggiamento (external blind);
2. vetro esterno (external pane);
3. vetro interno (internal pane).

I componenti vetrati si differenziano solo per la presenza o l'assenza del dispositivo di ombreggiamento. Le resistenze termiche del sistema vetrato nel caso in cui sia presente il dispositivo di ombreggiamento, che riguardano sia la convezione che l'irraggiamento ad elevata lunghezza d'onda, sono le seguenti:

- superficie esterna $R_{se} = 0,0435 \text{ m}^2 \text{ K/W}$;
- cavità tra dispositivo esterno e vetro esterno $R_{ec} = 0,080 \text{ m}^2 \text{ K/W}$;
- cavità tra vetro esterno e vetro interno $R_{ic} = 0,173 \text{ m}^2 \text{ K/W}$;
- superficie interna $R_{si} = 0,125 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

La trasmittanza termica del sistema vetrato è $U_g = 2,37 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$ e la trasmittanza energetica solare totale vale $g = 0,20$.

Nel caso in cui non è presente il dispositivo di ombreggiamento, le resistenze degli elementi presenti non cambiano e si hanno i seguenti valori :

- a) trasmittanza termica del sistema vetrato $Ug = 2,93 \text{ W / (m}^2 \text{ K)}$;
- b) trasmittanza energetica solare totale del sistema vetrato $g = 0,77$.

Ventilazione

Per la ventilazione si è assunto un tasso di ricambio orario pari ad 1 vol/h e assenza di infiltrazioni, come specificato nelle condizioni di test della citata norma.

Per gli apporti gratuiti interni si è impostato, un valore costante di 20 W/m^2 , considerato interamente convettivo, dal lunedì al venerdì. In tal modo, il contributo degli apporti gratuiti agli scambi di tipo radiante interni si può ricondurre totalmente alla radiazione solare che entra dalle superfici vetrate, nel caso in cui non vi sia presenza dei dispositivi di ombreggiamento.

Quando si eseguono le simulazioni con la presenza dei dispositivi di ombreggiamento, si sono considerate due situazioni, nella prima il carico è completamente convettivo, nella seconda il carico interno è totalmente radiante, per verificare l'influenza sulla temperatura operativa interna.

Temperature di regolazione

Le temperature di regolazione sono di 20°C e 26°C rispettivamente per la modalità di riscaldamento e raffrescamento, con funzionamento continuo dell'impianto.

Si sono riportate entrambe per completezza, ma nelle condizioni esaminate, si considera, ovviamente, solo quella corrispondente alla modalità di raffrescamento: 26°C .

7.5. Piano delle simulazioni

Il piano delle simulazioni, riguarda la zona termica definita al paragrafo 7.4. con la stratigrafia ivi definita e dettagliata, si articola sulla variazione di due classi di grandezze, la prima è quella che caratterizza le condizioni meteorologiche, la seconda quella che individua i parametri delle superfici vetrate, che, nelle condizioni di test, si differenziano solo per la presenza o l'assenza del dispositivo di ombreggiamento.

Le condizioni climatiche sono quelle circostanziate nel capitolo VI, e in particolare al paragrafo 6.1. e 6.3., per le quali si è effettuata, come detto, la costruzione del file .epw per il software *EnergyPlus*.

7.6. *Il software Energy Plus*

Considerate le procedure di validazione, introdotte dall' *International Energy Agency*, denominate *BESTEST*, di cui un esempio è riportato in tabella 6.1. e 6.2. , suddivise, nella prima, per campo di applicazione e per tecnica di validazione, nonché i risultati e miglioramenti che costantemente si raggiungono in questo campo, e analizzati i contributi presenti in letteratura, tra cui si cita il lavoro relativo al confronto tra i codici di simulazione dinamica *Trnsys* ed *EnergyPlus* (Gasparella , Pernigotto, ATI 20 10), in cui vengono confrontati i risultati ottenuti con i due metodi mettendo in evidenza che lo scarto percentuale in termini assoluti è inferiore al 2% nel 61% dei casi e che in nessun caso vi sono differenze superiori al 6% in regime di raffrescamento, si adopera per la simulazione il codice *EnergyPlus*.

La versione di *Energy Plus*, con la quale sono state condotte le simulazioni è la versione 7.1, con la quale sono state adattate tutte le simulazioni condotte precedentemente.

EnergyPlus nasce nel 2001, coniugando due software statunitensi di simulazione termoeenergetica degli edifici DOE-2 e BLAST, elaborati rispettivamente dal Ministero dell'Energia (Department of Energy, DOE) e dal Ministero della Difesa (Department of Defence, DOD). Il programma di simulazione, dall'organizzazione modulare, riscrive interamente il codice nel linguaggio Fortran 90, attingendo alle routine più dettagliate del DOE-2, del BLAST e di una versione di ricerca di quest'ultimo denominata IBLAST. Si ha, quindi, un programma che combina gli algoritmi più dettagliati di DOE-2 e BLAST, ma che si configura come un nuovo software (Crawley et al., 2001) essendo basato sulla simulazione integrata dell'ambiente e dell'impianto di climatizzazione, a differenza dei programmi precedenti in cui l'informazione sui carichi termici determinati in ambiente veniva in seguito inviata ai componenti impiantistici. In un software che integra la simulazione dell'ambiente con quella dell'impianto invece, l'informazione relativa al carico che l'impianto è realmente in grado di bilanciare viene utilizzata per individuare le condizioni di temperatura dell'aria in ambiente, seguendo con ciò un processo iterativo.

	Building Fabric	HVAC	On-site Generation Equipment
Analytical Verification	- Slab-on-Grade ground-coupling, IEA 34/43 (US)		
	- Airflow and multi-zone air, IEA 34/43 (Japan)		
	- Working Document of Task 22 Subtask A.1 Analytical Tests (Finland)	- HVAC BESTEST: cases E100-E200, Task 22 (US)	
	- ASHRAE RP-1052, TC 4.7	- HVAC BESTEST: fuel-fired furnace, Task 22 (Canada)	
	- EN ISO 13791 & 13792	- ASHRAE RP-865, TC 4.7	
	- EN 15255		
	- EN 15265		
Comparative Tests and Diagnostics	- Envelope BESTEST, IEA 12/21 (US)		
	- ASHRAE Standard 140, 2001	- HVAC BESTEST: cases E300-E545, Task 22 (US)	
	- HERS BESTEST, NREL		- Residential Cogen, Annex 42 (Canada)
	- Expanded ground coupling test cases. Task 22 (US)	- RADTEST, Task 22 (Switzerland)	
	- Multi-Zone Non-Airflow, IEA 34/43 (US)	- Hydronic Systems, IEA 34/43 (Germany)	
- Double-Façade Working Document, IEA34/43 (Denmark)			
Empirical Validation	- ETNA/GENEC Tests, Task 22 (France)		
	- BRE/DMU Tests, IEA 12/21 (UK)	- ERS – VAV, Task 22 (US)	
	- EMPA Shading/Daylighting/Load, IEA 34/43 (Switzerland)	- ERS – Daylighting HVAC 1, Task 22 (US)	- Residential Cogen, Annex 42 (Canada)
	- ERS Daylighting HVAC 2, IEA 34/43 (US)	- ERS – Economizer Control, Task 22 (US)	
	- AAU Double-Façade Tests, IEA 34/43 (Denmark)	- TUD/ERS Hydronic Systems, IEA 34/43 (Germany)	

TAB.VII.8. *Panoramica sulle procedure di validazione*
 (*adattamento da Judkoff e Neymark, 2009 & Judkoff, 2008 & Neymark et al., 2006*)

TAB.VII.8. *BESTEST: descrizione dei test di diagnostica con bassa massa termica (Judkoff e Neymark, 1995)*

CASE	SETPOINTS			OPAQUE SURFACE				OPAQUE SURFACE				GLASS [m ²]	ORIENT	SHADE [m]	COMMENTS (see note 3)
	H,C,V [°C]	MASS	INTGEN [W]	ACH INFILTR.	INT IR EMISSIV	EXT IR EMISSIV	INT SW ABSORPT	EXT SW ABSORPT	INT SW ABSORPT	EXT SW ABSORPT					
195	20,20	L	0	0	.1 see note 1	.1 see note 1	NA	.1 see note 4	see note 1 see note 2	0	S	no	Case 195 tests solid conduction		
200	20,20	L	0	0	.1	.1	NA	.1	0	S	no	Do cases 200 thru 215 only if you can explicitly adjust Infra-red emissivity in your code. Cases 200, 195 test film convection algorithms. The major portion of the change in results between 200 & 195 will be from the opaque window. Increased differences between codes will be from the different film algorithms.			
210	20,20	L	0	0	.1	.9	NA	.1	0	S	no	Cases 210,200 test ext ir with int ir off			
215	20,20	L	0	0	.9	.1	NA	.1	0	S	no	Cases 220,215 test ext ir with int ir on Cases 215,200 test int ir with ext ir off			
220	20,20	L	0	0	.9	.9	NA	.1	0	S	no	Cases 220,210 test int ir with ext ir on Case 220 is base for 230 - 270			
230	20,20	L	0	1	.9	.9	NA	.1	0	S	no	Cases 230,220 test infiltration			
240	20,20	L	200	0	.9	.9	NA	.1	0	S	no	Cases 240,220 test internal gain			
250	20,20	L	0	0	.9	.9	NA	.9	0	S	no	Cases 250,220 test exterior solar absorptance/incident solar			
270	20,20	L	0	0	.9	.9	.9	.1	12	S	no	Cases 270,220 test south solar transmittance incident solar.			
280	20,20	L	0	0	.9	.9	.1	.1	12	S	no	Cases 280,270 test cavity albedo			
290	20,20	L	0	0	.9	.9	.9	.1	12	S	1.0mH	Cases 290,270 test south horizontal overhang.			
300	20,20	L	0	0	.9	.9	.9	.1	6.6	E,W	no	Cases 300,270 test East & West solar transmittance & incidence			
310	20,20	L	0	0	.9	.9	.9	.1	6.6	E,W	1.0mHV	Cases 310,300 test East & West overhang & fins			
320	20,27	L	0	0	.9	.9	.9	.1	12	S	no	Cases 320,270 test thermostat deadband			

NOTE 1:
Cases with 0 glass area (except case 195 & 395) have a "High Conductance Wall" in place of the window and with the same area as the window.
Case 195 has neither a window, nor a "High Conductance Wall", but consists of 100% normally insulated wall as specified for the light-weight case.

NOTE 2:
The "High Conductance Wall" has the same exterior & interior IR emissivity, and the same solar absorptivity as specified for the normal wall in each case.
The "High Conductance Wall" surface texture is very smooth (like glass).

NOTE 3: TITLES
H=Heating, C=Cooling, V=Venting / L=Lightweight, H=Heavyweight
INTGEN 200 means a constant heat input of 200W (60% radiant, 40% convective)
ACH INFILTR= Air Changes per Hour Infiltration / INT=Interior, EXT=Exterior
EMISSIV=Emissivity, SW=ShortWave, ABSORPT=Absorptivity
ORIENT=Orientation, S=South, EW=East & West / SHADE=Window shading device, 1.0mH=1meter deep Horizontal shade, HV=combination Horizontal & Vertical shade

NOTE 4:
Interior short wave absorptance doesn't matter when glass area is 0.

CASE	SETPOINTS			OPAQUE SURFACE				OPAQUE SURFACE				GLASS [m ²]	ORIENT	SHADE [m]	COMMENTS (see note 2)
	H,C,V [°C]	MASS	INTGEN [W]	ACH INFILTR.	INT IR EMISSIV	EXT IR EMISSIV	INT SW ABSORPT	EXT SW ABSORPT	INT SW ABSORPT	EXT SW ABSORPT					
395	20,27	L	0	0	.9	.9	NA	.1	see note 3	S	no	Case 395 tests solid construction			
400	20,27	L	0	0	.9	.9	NA	.1	0	S	no	Cases 400,395 test surface convection (see note 4)			
410	20,27	L	0	.5	.9	.9	NA	.1	0	S	no	Cases 410,400 test infiltration			
420	20,27	L	200	.5	.9	.9	NA	.1	0	S	no	Cases 420,410 test internal heat generation			
430	20,27	L	200	.5	.9	.9	NA	.6	0	S	no	Cases 430,420 test exterior solar absorptance & incident solar			
440	20,27	L	200	.5	.9	.9	.1	.6	12	S	no	Cases 430,420 test interior solar absorptance & cavity albedo			
600	20,27	L	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	Cases 600,430 test south solar transmission			
610	20,27	L	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	1.0mH	Cases 610,600 test south overhang			
620	20,27	L	200	.5	.9	.9	.6	.6	6.6	E,W	no	Cases 620,600 test East & West solar transmission / incidence			
630	20,27	L	200	.5	.9	.9	.6	.6	6.6	E,W	1.0mHV	Cases 630,620 test East & West overhangs & fins			
640	SETBACK	L	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	Cases 640,600 test night setback			
650	.27,V	L	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	Cases 650,600 test venting			
800	20,27	H	200	.5	.9	.9	NA	.6	0	S	no	Cases 800,430 test normal mass with no transmitted solar			
810	20,27	H	200	.5	.9	.9	.1	.6	12	S	no	Cases 810,900 test interior solar absorptance & mass interaction			
900	20,27	H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	Cases 900,600 test thermal mass & solar interaction			
910	20,27	H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	1.0mH	Cases 910,900 test south overhang / mass interaction			
920	20,27	H	200	.5	.9	.9	.6	.6	6.6	E,W	no	Cases 920,900 test East & West transmittance / mass interaction			
930	20,27	H	200	.5	.9	.9	.6	.6	6.6	E,W	1.0mHV	Cases 930,920 test East & West shading / mass interaction			
940	SETBACK	H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	Cases 940,900 test setback / mass interaction			
950	.27,V	H	200	.5	.9	.9	.6	.6	12	S	no	Cases 950,900 test venting / mass interaction			
960	2ZONE SS		See specification in text of the reference document (NREL/TP-472-6231)												
990	GROUND COUPLED		See specification in text of the reference document (NREL/TP-472-6231)												

NOTE 1:
These cases labeled FF (Free-Float) are exactly the same as the non FF cases except there are no mechanical heating or cooling systems. Thus the interior temperatures are allowed to free-float.

NOTE 2:
For explanation of TITLES see note 3 at bottom of previous table.

NOTE 3:
Case 395 has neither a window, nor an "opaque window". It consists of 100% normally insulated wall as specified for the light-weight cases.

NOTE 4:
Cases 400,395 test surface convection and IR radiation. The major portion of the change in results will be from the opaque window. Increased differences between codes will be from the different film convection & IR algorithms.

TAB.VII.9. *BESTEST: descrizione dei test di qualificazione e dei test realistici di diagnostica (Judkoff e Neymark, 1995)*

Il programma è modulare, per facilitare l'inserimento di nuovi moduli, che possono essere anche sviluppati in maniera autonoma da estensori diversi, ed eventuali link ad altri applicativi. Gli output disponibili possono arrivare fino ad alcune centinaia per i file più complessi. Dal punto di vista della comprensione dell'architettura del software, è possibile distinguere il Surface Heat Balance Manager, l'Air Heat Balance Manager e il Building Systems Simulation Manager. Il Surface Heat Balance Manager risolve il bilancio termico in corrispondenza della superficie di ciascuna parete, l'Air Heat Balance Manager risolve il bilancio dell'ambiente attraverso la simulazione simultanea degli scambi termici radianti e convettivi, e il Building Systems Simulation Manager conduce la simulazione dei componenti impiantistici. I moduli principali interagiscono con altri secondari e sono contenuti all'interno dell' Integrated Solution Manager, che fa sì che i tre moduli siano risolti simultaneamente, e non successivamente, al fine di conseguire una simulazione il più possibile realistica.

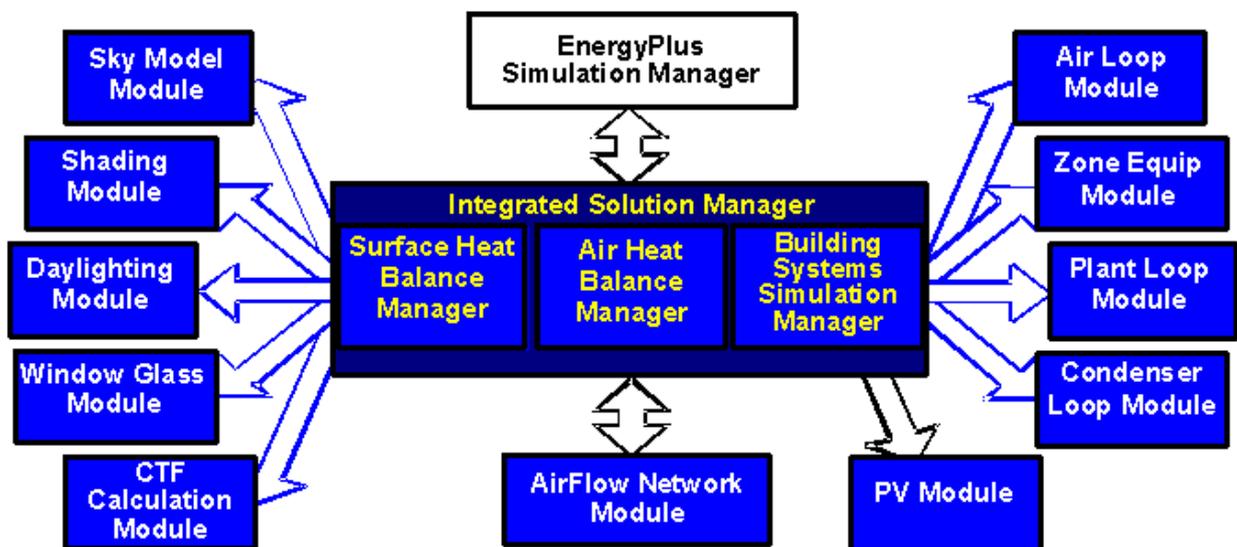


FIG.VII.7. *Struttura modulare di Energy Plus*
 (*Energy Plus Documentation, Versione 7.1, Maggio 2012*)

7.6.1. Il modello matematico

La struttura del modello di calcolo dell'edificio si produce suddividendo l'edificio in zone termiche, ciascuna delle quali viene definita dalle superfici che la delimitano, ad ogni superficie viene assegnata una stratigrafia, la quale a sua volta viene costruita assemblando strati di materiale diversi, con eventuali strati di intercapedine d'aria.

Per ogni parete vengono valutati il bilancio sul nodo superficiale esterno della parete (bilancio termico superficie esterna) e quello sul nodo superficiale interno della parete (bilancio termico superficie interna) e, tra il nodo esterno e quello interno, viene valutato il flusso termico per conduzione trasmesso all'interno della parete (conduzione attraverso la parete); in particolare, dato il modello di calcolo adottato per valutare la conduzione in regime dinamico, vengono valutati i flussi per conduzione in corrispondenza della superficie interna e di quella esterna.

Si riportano i contributi che determinano il bilancio sui nodi superficiali di ogni singola parete.

Sul nodo esterno della parete il bilancio deriva da:

- radiazione solare incidente assorbita;
- convezione con l'aria esterna;
- radiazione ad alta lunghezza d'onda (IR lungo);
- conduzione verso la parete.

Sul nodo interno della parete il bilancio deriva da:

- radiazione a bassa lunghezza d'onda (IR corto);
- radiazione solare trasmessa all'interno dell'ambiente attraverso i componenti trasparenti e distribuita sulle varie pareti;
- convezione con l'aria interna (termine che entra nel bilancio termico sull'aria ambiente);
- radiazione ad alta lunghezza d'onda emessa dalle altre superfici dell'ambiente;
- radiazione ad alta lunghezza d'onda emessa dalle sorgenti interne;
- conduzione attraverso la parete.

Air Heat Balance Engine

Il bilancio termico sull'aria ambiente è elaborato dall' Air Heat Balance Engine, che si avvale delle seguenti assunzioni:

- temperatura dell'aria ambiente uniforme (perfetta miscelazione);
- temperatura uniforme su ciascuna superficie;
- irraggiamento uniforme ad alta e a bassa lunghezza d'onda;
- superfici uniformemente diffondenti;
- trasmissione del calore per conduzione monodimensionale.

Trascurando il flusso termico disperso per infiltrazione e per ventilazione tra zone adiacenti, l'*Air Heat Balance* è espresso dall'equazione:

$$C_z \frac{dt_z}{d\tau} = \sum_{i=1}^N \dot{Q}_{i,c} + \sum_{i=1}^{N_{sup}} \dot{Q}_{i,s} + \dot{Q}_v + \dot{Q}_N =$$

$$\sum_{i=1}^N \dot{Q}_{i,c} + \sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i (t_{s,i} - t_z) + \dot{m}_v c_p (t_{\infty} - t_z) + \dot{Q}_N \quad (\text{VII.1})$$

Dove :

C_z : capacità termica (J °C⁻¹) ;

t_z : temperatura della zona termica (°C) ;

τ : tempo (s) ;

N : numero delle sorgenti interne convettive;

N_{sup} : numero delle superfici a temperatura t_s ;

A_i : area della superficie (m²);

$t_{s,i}$: temperatura superficiale; i-esima parete (°C) ;

h_i : coefficiente convettivo interno parete-aria
(W m⁻² K⁻¹);

\dot{m}_v : portata di aria di ventilazione (kg s⁻¹) ;

c_p : calore specifico dell'aria (J kg⁻¹°C⁻¹) ;

t_{∞} : temperatura dell'aria di ventilazione (°C) ;

$\dot{Q}_{i,c}$: flusso termico convettivo da ciascuna delle N sorgenti (W) ;

$\dot{Q}_{i,s}$: flusso termico disperso da ciascuna delle N superfici della zona (W) ;

\dot{Q}_V : carico di ventilazione (W) ;

\dot{Q}_N : carico dell'impianto (W) .

La derivata temporale della temperatura è determinata attraverso una differenza finita all'indietro del terzo ordine, perciò la (VII.1) diventa:

$$\begin{aligned}
C_z \delta \tau^{-1} \left(\frac{11}{6} t_z^\tau - 3 t_z^{\tau-\delta \tau} + \frac{3}{2} t_z^{\tau-2 \delta \tau} - \frac{1}{3} t_z^{\tau-3 \delta \tau} \right) = \\
= \sum_{i=1}^N \dot{Q}_{i,c} + \sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i (t_{s,i} - t_z) + \dot{m}_v c_p + \dot{m}_{sys} c_p (t_{sys} - t_z)
\end{aligned}
\tag{VII.2}$$

dove il carico convettivo dell'impianto è espresso in funzione della portata e della temperatura dell'aria dell'impianto, queste ultime indicate con il pedice sys. Riunendo a primo membro tutti i termini contenenti la temperatura all'istante di tempo di calcolo (τ) e a secondo membro gli altri termini, sostituendo quelli che sono incogniti al *time step* di calcolo, con quelli rispettivi relativi al *time step* precedente ($\tau - \delta \tau$), si ottiene:

$$\begin{aligned}
C_z \delta \tau^{-1} \left(\frac{11}{6} t_z^\tau \right) + t_z^\tau \left(\sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i + \dot{m}_v c_p + \dot{m}_{sys} c_p \right) = \\
= \sum_{i=1}^N \dot{Q}_{i,c} + \dot{m}_{sys} c_p t_{sys} + \dot{m}_v c_p t_\infty + \left(\sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i t_{s,i} \right)^{\tau-\delta \tau} + \\
-C_z \delta \tau^{-1} \left(-3 t_z^{\tau-\delta \tau} + \frac{3}{2} t_z^{\tau-2 \delta \tau} - \frac{1}{3} t_z^{\tau-3 \delta \tau} \right)
\end{aligned}
\tag{VII.3}$$

donde si ricava la temperatura dell'aria della zona termica all'istante τ :

$$t_z^\tau = \frac{[\tilde{A} + \tilde{B} + \tilde{C}]}{\tilde{D}}
\tag{VII.4}$$

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^N \dot{Q}_{i,c} + \dot{m}_{sys} c_p t_{sys} + \dot{m}_v c_p t_\infty$$

$$\tilde{B} = \left(\sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i t_{s,i} \right)^{\tau - \delta\tau}$$

$$\tilde{C} = -C_z^{-1} \delta\tau^{-1} \left(-3t_z^{\tau - \delta\tau} + \frac{3}{2} t_z^{\tau - 2\delta\tau} - \frac{1}{3} t_z^{\tau - 3\delta\tau} \right)$$

$$\tilde{D} = C_z \delta\tau^{-1} \left(\frac{11}{6} \right) + \left(\sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i + \dot{m}_v c_p + \dot{m}_{sys} c_p \right)$$

Questa formula è usata dall'algoritmo *standard (3rdOrder Backward Difference)* per la soluzione dell' *Air Heat Balance* in *EnergyPlus*. Tale algoritmo si basa sulla conoscenza della temperatura dell'aria della zona termica nei 3 *time step* precedenti e pretende l'utilizzo di un *time step* costante.

Surface Heat Balance Manager

Il *Surface Heat Balance Manager*, correlato all' *Air Heat Balance Manager*, comprende i moduli per la determinazione delle temperature superficiali (quelle della faccia interna incognite nello schema risolutivo dell' *Air Heat Balance*) e dei flussi termici in corrispondenza delle facce interna ed esterna di ogni parete.

Per la determinazione dei flussi termici scambiati attraverso i componenti di involucro si utilizza una funzione di trasferimento, che è un algoritmo in grado di legare la sollecitazione indotta sul sistema fisico parete con la risposta del sistema. I coefficienti numerici della funzione di trasferimento, di tipo lineare, sono detti fattori di risposta e possono essere raggruppati in quattro serie (X, Y, Z e W) che vanno a moltiplicare i valori della temperatura superficiale interna, esterna (all'istante considerato e ad un certo numero di istanti precedenti) e del flusso termico sulla faccia di interesse (ad un certo numero di istanti precedenti). Ad esempio, il flusso termico areico trasmesso per conduzione in corrispondenza del nodo interno della parete al tempo τ si esprime come:

$$q_{d,int}(\tau) = -Z_0 t_{i,\tau} - \sum_{j=1}^Z Z_j t_{i,\tau-j\delta} + Y_0 t_{e,\tau} + \sum_{j=1}^Z Y_j t_{e,\tau-j\delta} + \sum_{j=1}^W W_j q_{d,int,\tau-j\delta} \quad (VII.5)$$

Le serie dei coefficienti dell'equazione lineare, costanti nel tempo, sono i fattori di risposta Z (Z_0, Z_1, \dots, Z_z), Y (Y_0, Y_1, \dots, Y_z), W (W_1, W_2, \dots, W_w). La serie dei coefficienti Z prende il nome di *inside CTF coefficients*, la serie di coefficienti Y prende il nome di *cross CTF coefficients* e la serie di

coefficienti W prende il nome di *flux CTF coefficients*. La serie dei coefficienti X , *outside CTF coefficients*, si impiega nella combinazione lineare per la determinazione del flusso termico in corrispondenza del nodo esterno della parete e va a moltiplicare i valori di temperatura della faccia esterna della parete. I numeri z (numero dei coefficienti delle serie X , Y , e Z) e w (numero dei coefficienti della serie W , per cui si ha che $w = z - 1$ per ovvie ragioni) dei fattori di risposta dipendono dal passo di tempo di calcolo o considerato (1h, 0,25 h) e dalla composizione della parete (il loro numero cresce al crescere dello spessore e della massa del componente). Per una parete massiva il numero dei fattori di risposta, con $\tau = 0,25$ h, può arrivare a 20, il che significa che è sufficiente conoscere la storia termica della parete, in termini di flussi termici e temperature superficiali, nelle 5 ore precedenti l'istante in esame per determinarne il comportamento termico. *EnergyPlus* adotta la procedura denominata state space method (Ceylan e Myers, 1980) già sviluppata nel software IBLAST, per la determinazione dei numeri dei fattori di risposta di queste funzioni di trasferimento.

Va sottolineato che, poiché temperature e flussi sono noti solo sulle superfici, il metodo non fornisce informazioni sugli strati interni della parete, e quindi la possibilità di verificare eventuali fenomeni di condensa interstiziale.

Altri moduli, poi, interagiscono con il *Surface Heat Balance Manager*, quali ad esempio quelli che determinano la posizione del sole e le condizioni di radiazione solare ed illuminazione naturale, le ombre proprie e portate sui componenti di involucro, le proprietà dei componenti trasparenti.

7.7. Risultati delle simulazioni

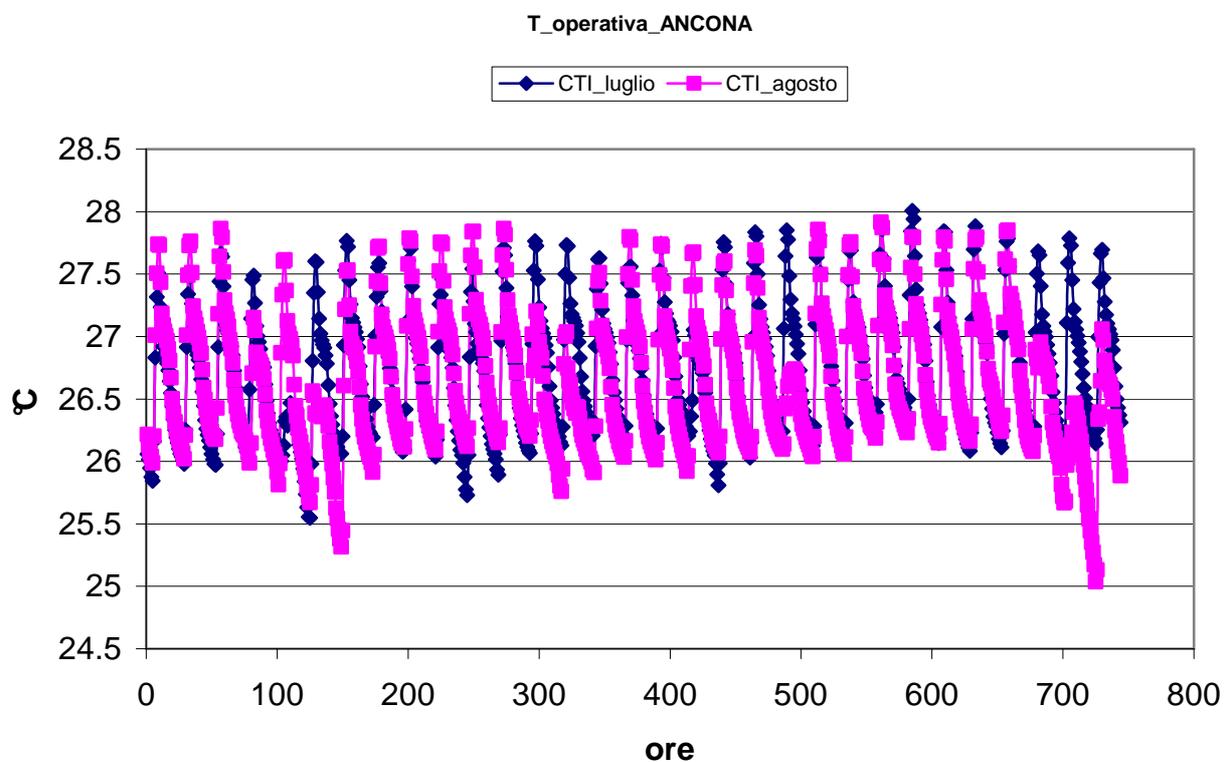
In questo paragrafo si riportano i valori orari di temperatura interna (operativa), corrispondente ad un definito valore di temperatura di regolazione, calcolati nei mesi di luglio e agosto nelle dodici condizioni di simulazione, per la situazione corrispondente alla presenza del dispositivo di ombreggiamento e per la situazione in cui il sistema vetrato è privo del dispositivo di ombreggiamento.

Nelle condizioni in cui è presente il dispositivo di ombreggiamento, le simulazioni sono state impostate in modo da verificare gli effetti sulla temperatura operativa di un carico interno puramente convettivo, e di un carico interno completamente radiante.

I risultati relativi alla situazione in cui non è presente il dispositivo di ombreggiamento sul sistema vetrato, sono corrispondenti ad un carico interno di tipo convettivo, in modo che il contributo degli apporti gratuiti agli scambi di tipo radiante interni si possa ricondurre totalmente alla radiazione solare che entra dalle superfici vetrate.

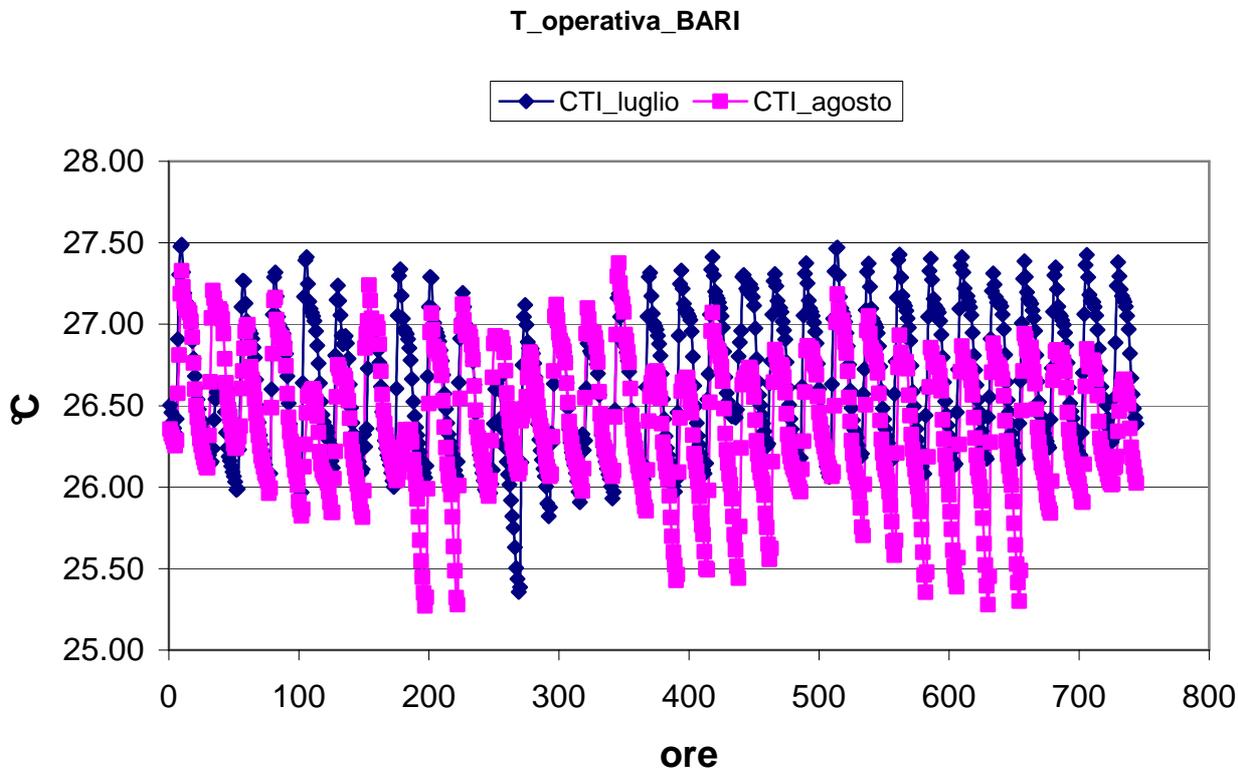
7.7.1. Profili orari delle temperature operative, con carico interno di tipo convettivo

Si riportano i valori orari delle temperature operative calcolate nei mesi di luglio ed agosto nelle undici condizioni meteorologiche selezionate, quando il sistema vetrato presenta un dispositivo di ombreggiamento ed il carico interno è totalmente convettivo. Le temperature esterne medie, che derivano dalle serie dell'anno tipo, sono mostrate per evidenziare la differenza tra la temperatura di regolazione interna e la temperatura esterna media, differenza che fa riflettere sull'entità dello scambio termico per trasmissione.



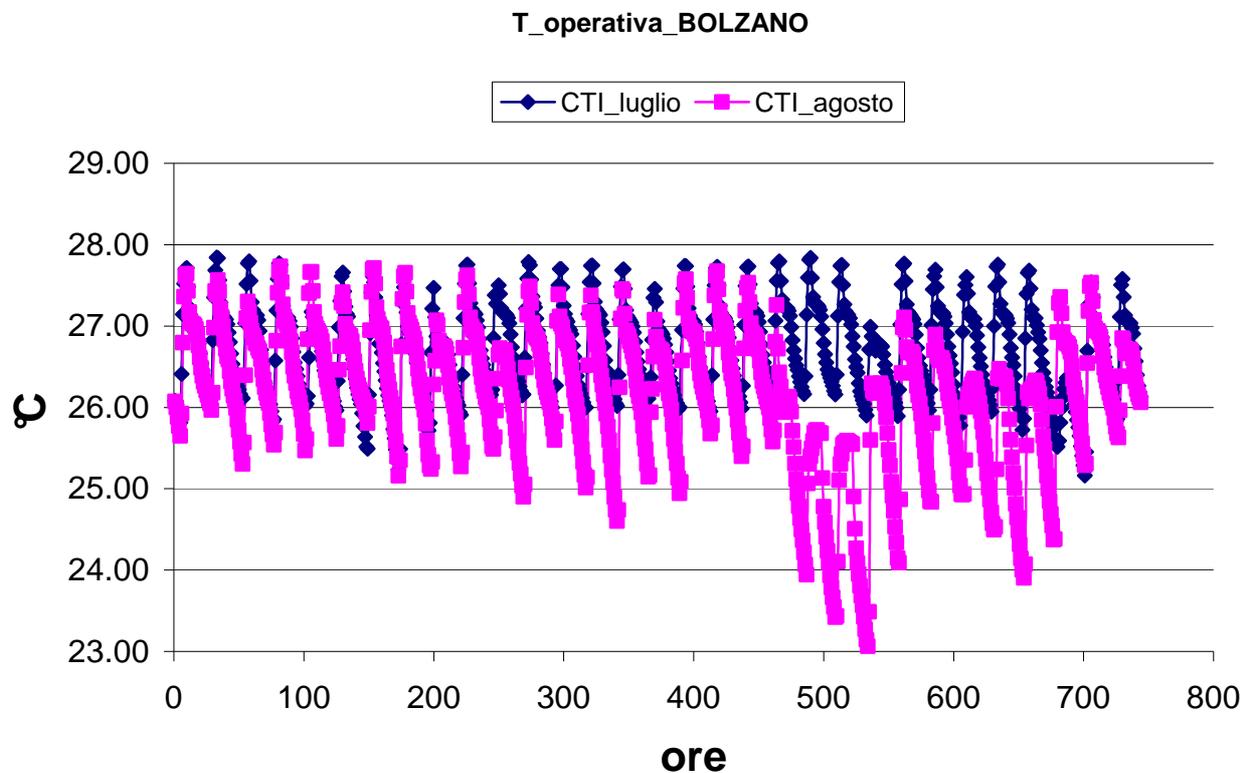
ANCONA	CTI T esterne medie (°C)
Giugno	22.19708
Luglio	25.70524
Agosto	24.62339
Settembre	20.56097

Dalla figura è evidente che il numero di ore durante le quali la temperatura operativa supera la temperatura di regolazione, è nettamente superiore al numero di ore in cui il suo valore è inferiore, pertanto il calcolo delle dispersioni basato sul valore della temperatura di regolazione, non risulterà superiore a quello reale, per cui debba essere ridotto.



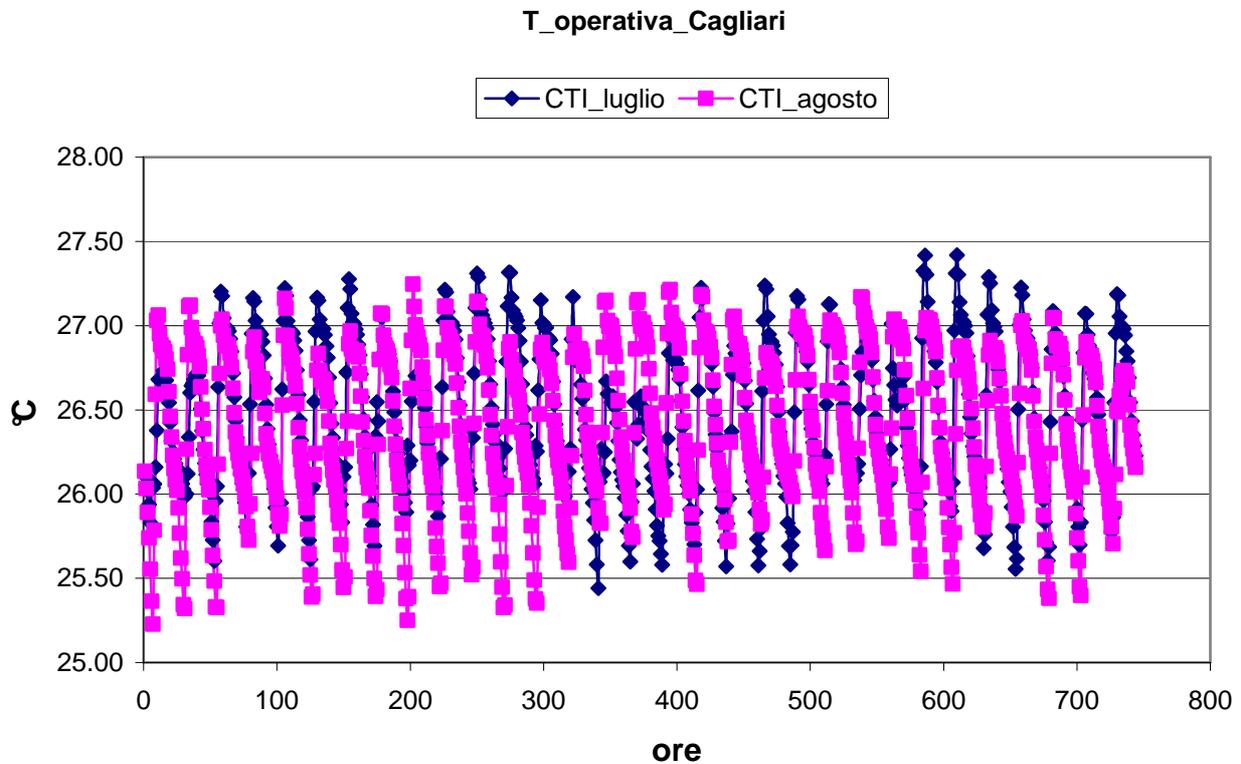
BARI	CTI	T medie esterne (°C)
Giugno		24.11792
Luglio		27.4629
Agosto		25.60833
Settembre		23.16028

Fermo restando quanto detto alla pagina precedente, si può aggiungere che la temperatura media dell'aria esterna nel mese di luglio è superiore alla temperatura di regolazione interna, pertanto, facendo riferimento al valore di regolazione, il flusso termico per dispersione deve essere considerato con il segno contrario.



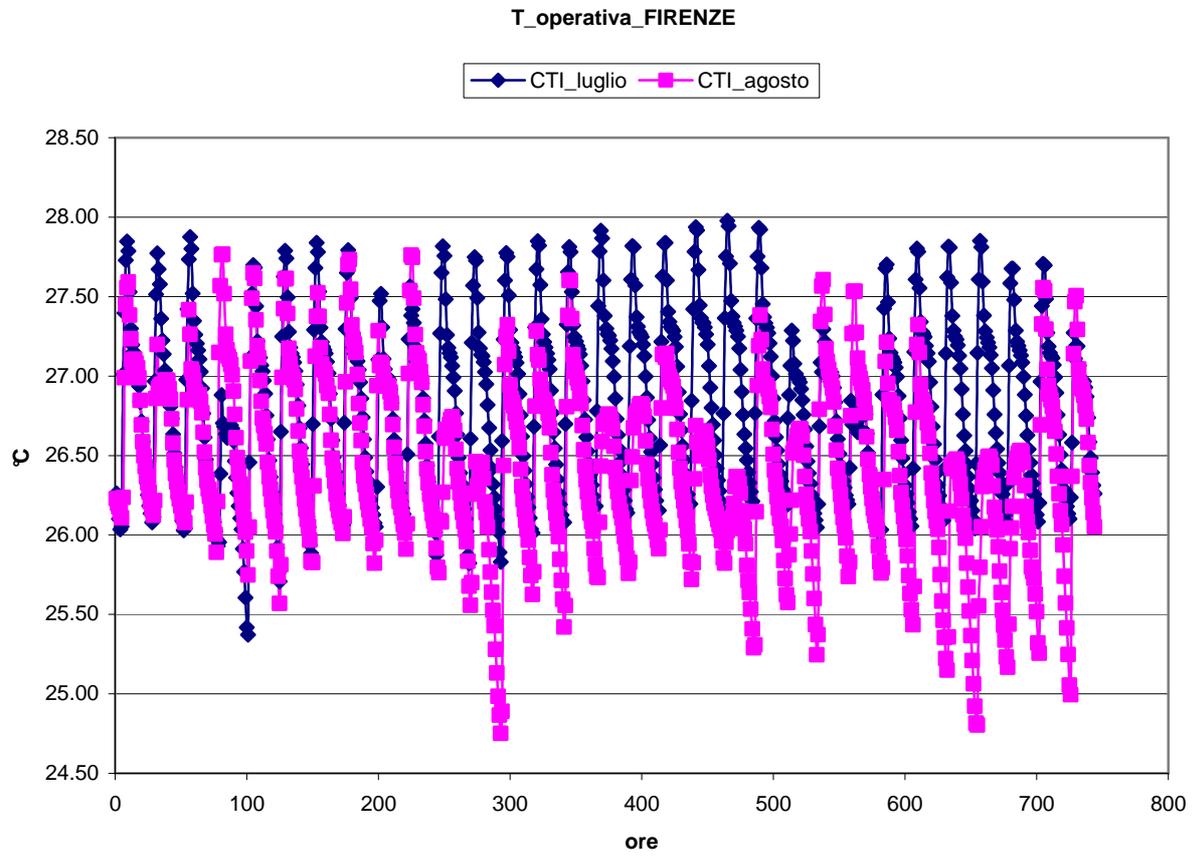
BOLZANO	CTI T esterne medie (°C)
Giugno	19.46819
Luglio	24.80712
Agosto	20.22043
Settembre	13.26292

In questa circostanza, si è sotto il valore di regolazione per tre giorni del mese di agosto e nella seconda metà del mese, ma globalmente, pensando alla media delle temperature operative interne, questa è superiore al valore della temperatura di regolazione o *set point*, che come detto è 26°C.

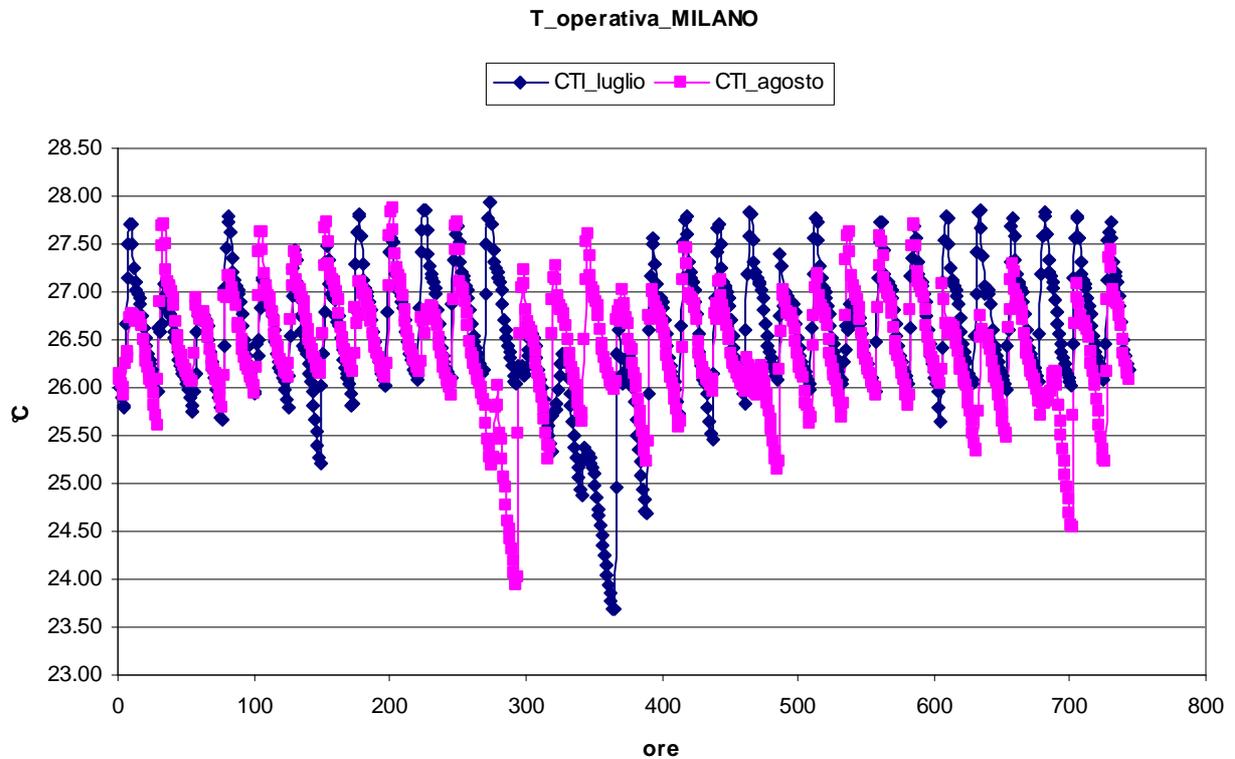


CAGLIARI	CTI T esterne medie (°C)
Giugno	22.12278
Luglio	24.60847
Agosto	24.6082
Settembre	19.34514

Per la località in esame, l'entità dei valori di temperatura operativa, inferiori al valore di regolazione interna, e il numero delle ore in cui si verifica tale circostanza, non comporteranno mai uno scambio termico per dispersione, inferiore a quello che si calcola facendo riferimento alla temperatura di *set point*.



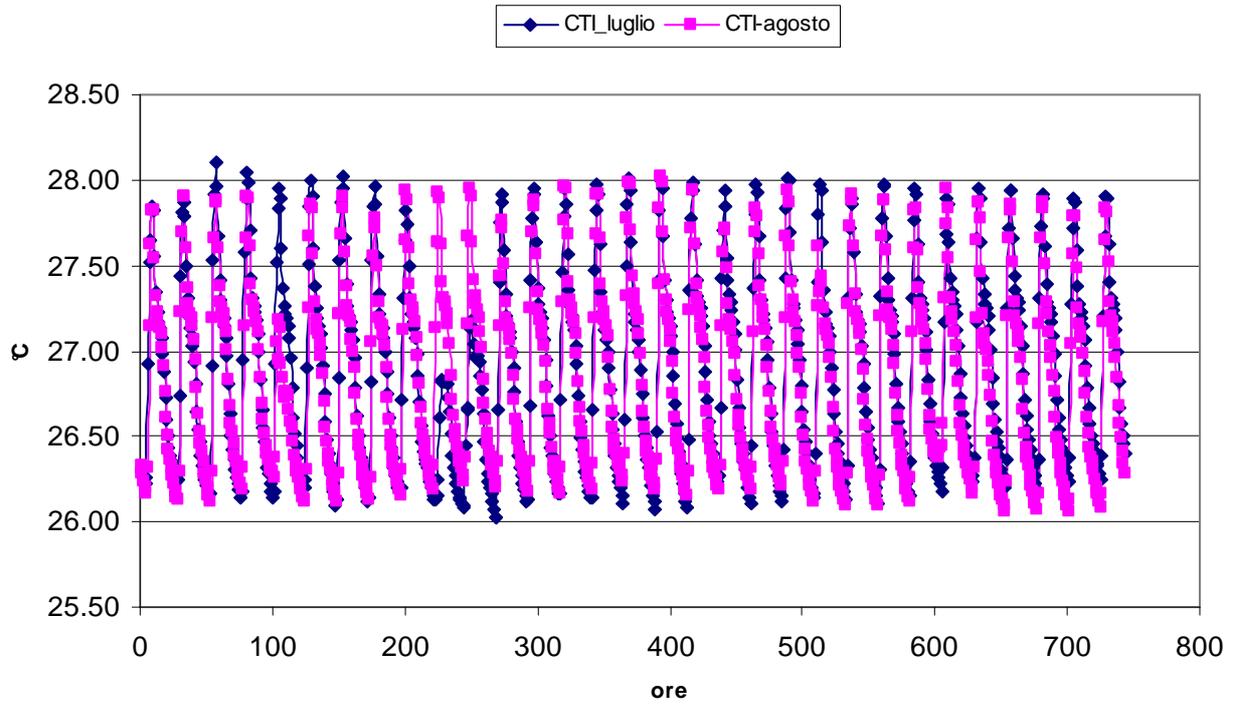
FIRENZE	CTI T esterne medie (°C)
Giugno	23.21236
Luglio	25.83172
Agosto	23.30188
Settembre	22.01444



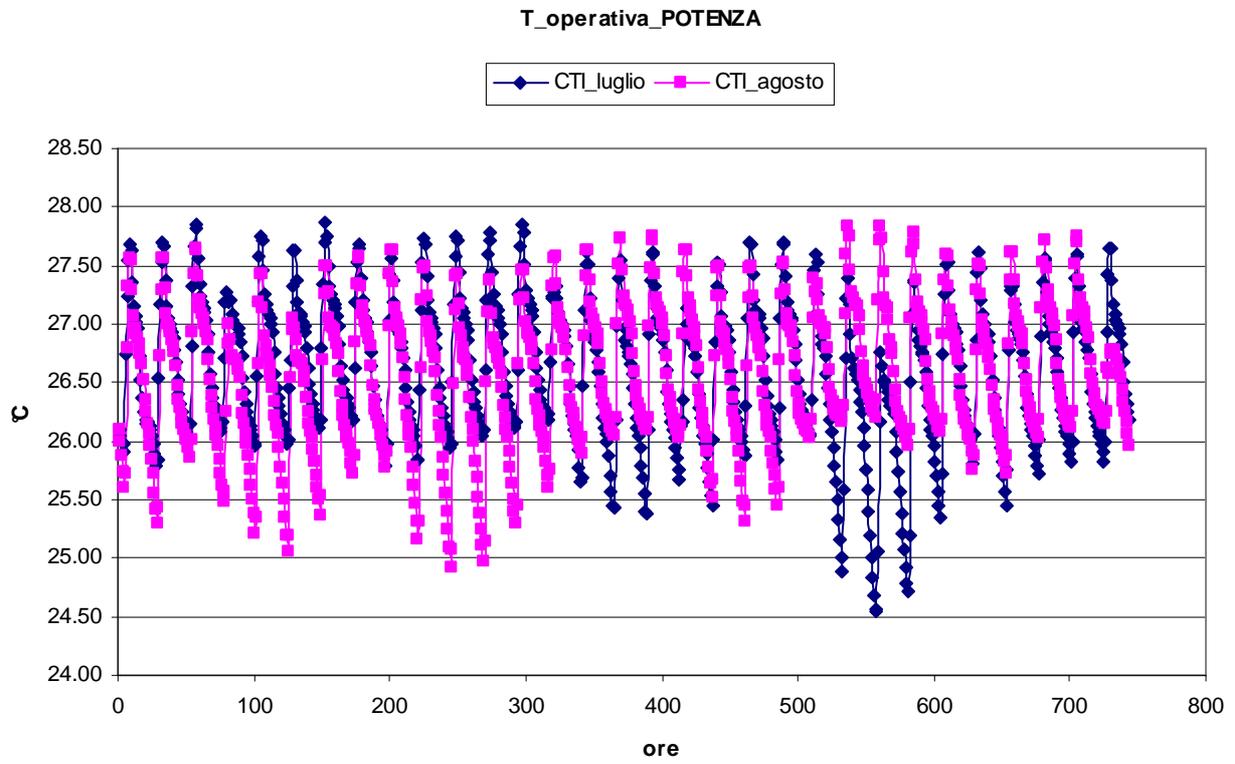
	CTI
	T esterne medie (°C)
MILANO	
Giugno	23.86278
Luglio	23.63858
Agosto	23.39583
Settembre	20.57861

Per le condizioni di Milano si possono fare le stesse considerazioni espone per le località esaminate, in termini di media della temperatura operativa. Si osserva inoltre che anche la distribuzione delle temperature esterne presenta una zona di discontinuità rispetto all'andamento generale.

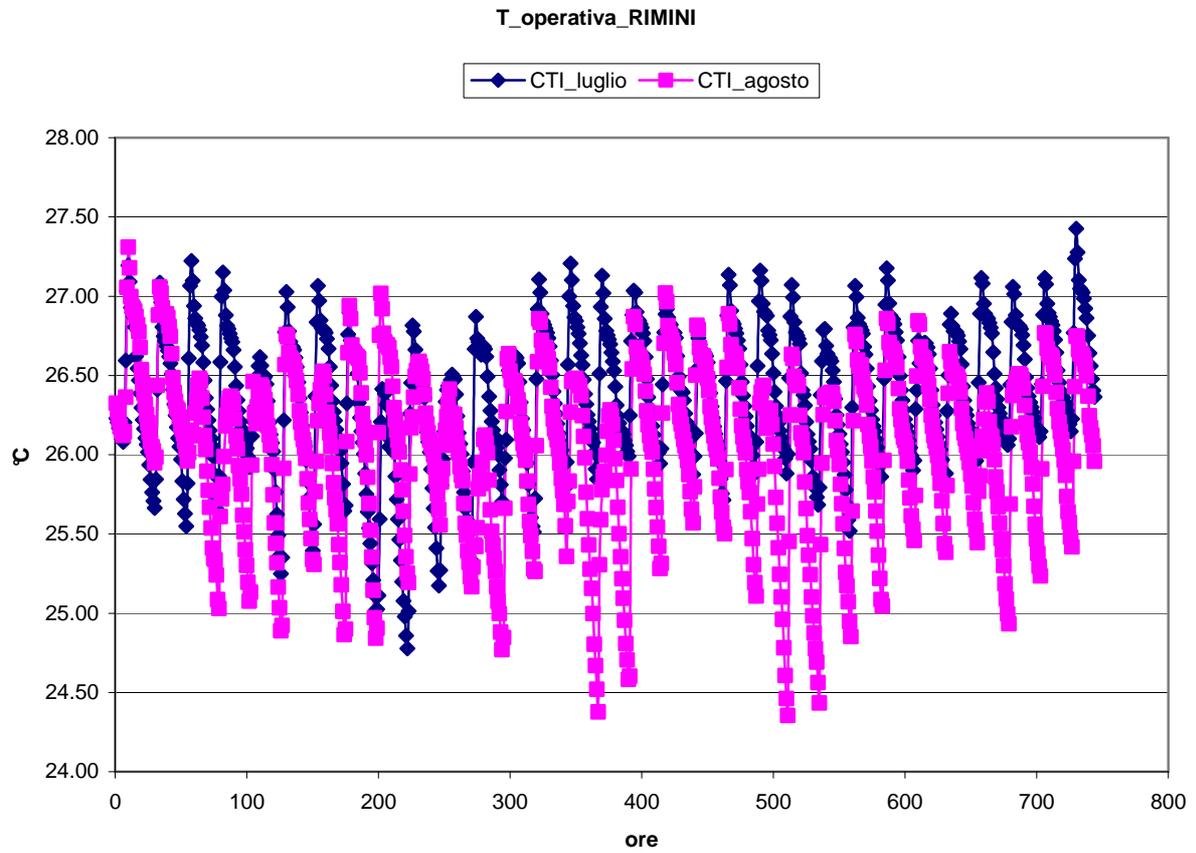
T_operativa_PALERMO



PALERMO	CTI T medie (°C)
Giugno	23.85583
Luglio	26.94059
Agosto	27.00255
Settembre	23.41806

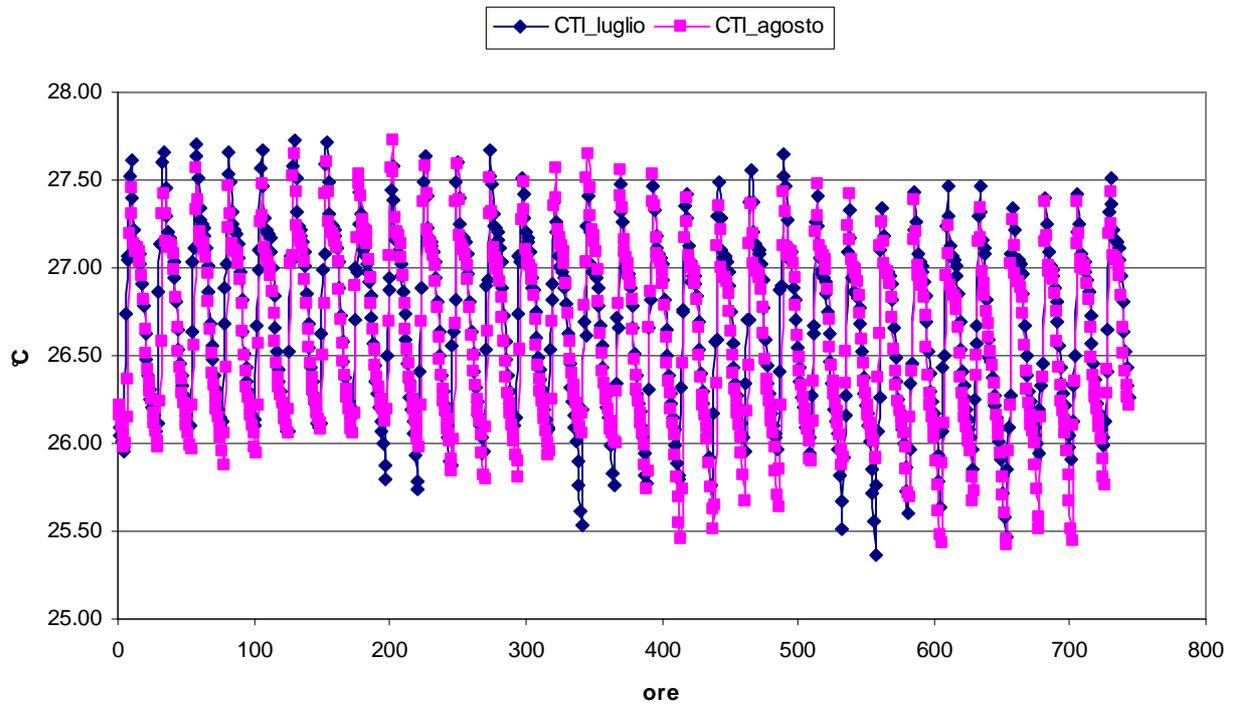


POTENZA	CTI T medie (°C)
Giugno	20.82472
Luglio	22.92433
Agosto	23.16788
Settembre	18.12944



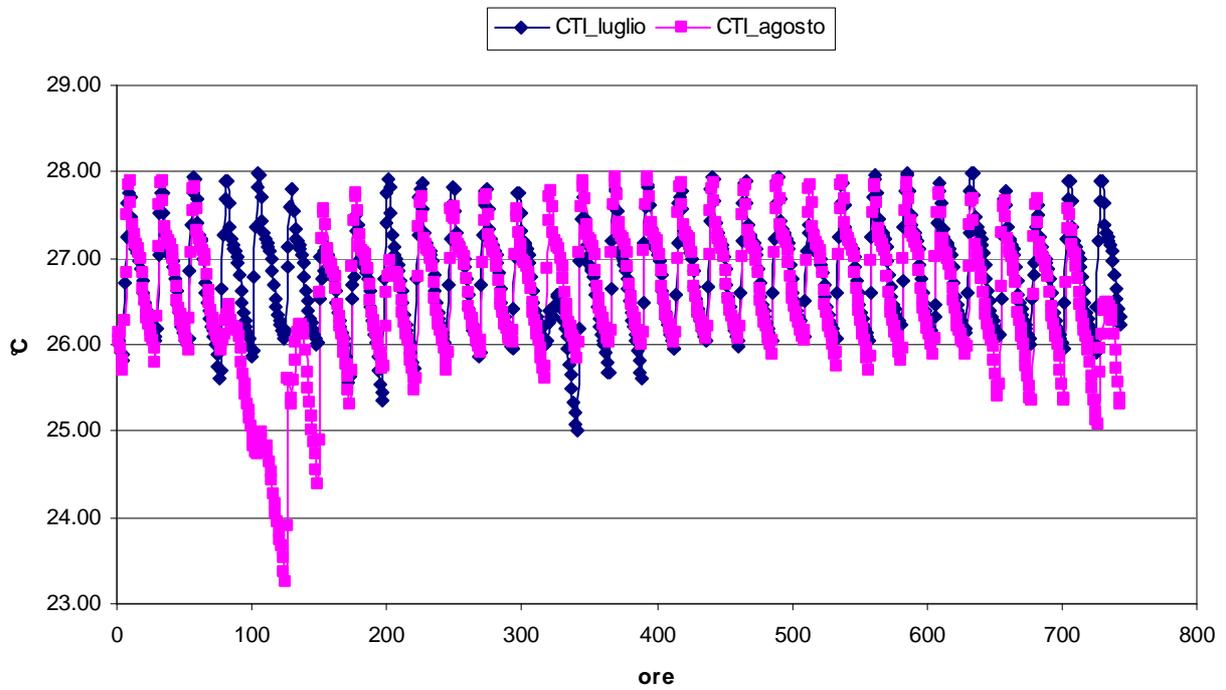
RIMINI	CTI T medie (°C)
Giugno	22.70944
Luglio	24.56976
Agosto	22.21532
Settembre	20.29403

T_operativa_ROMA



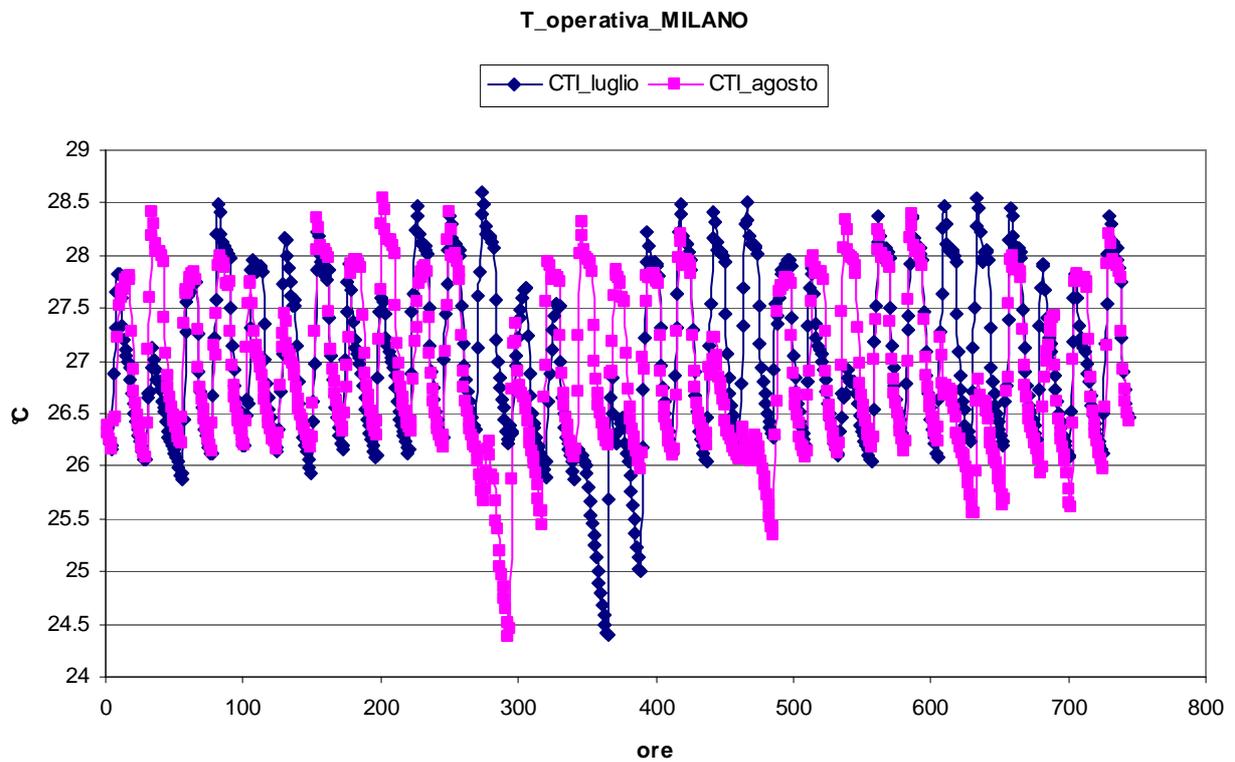
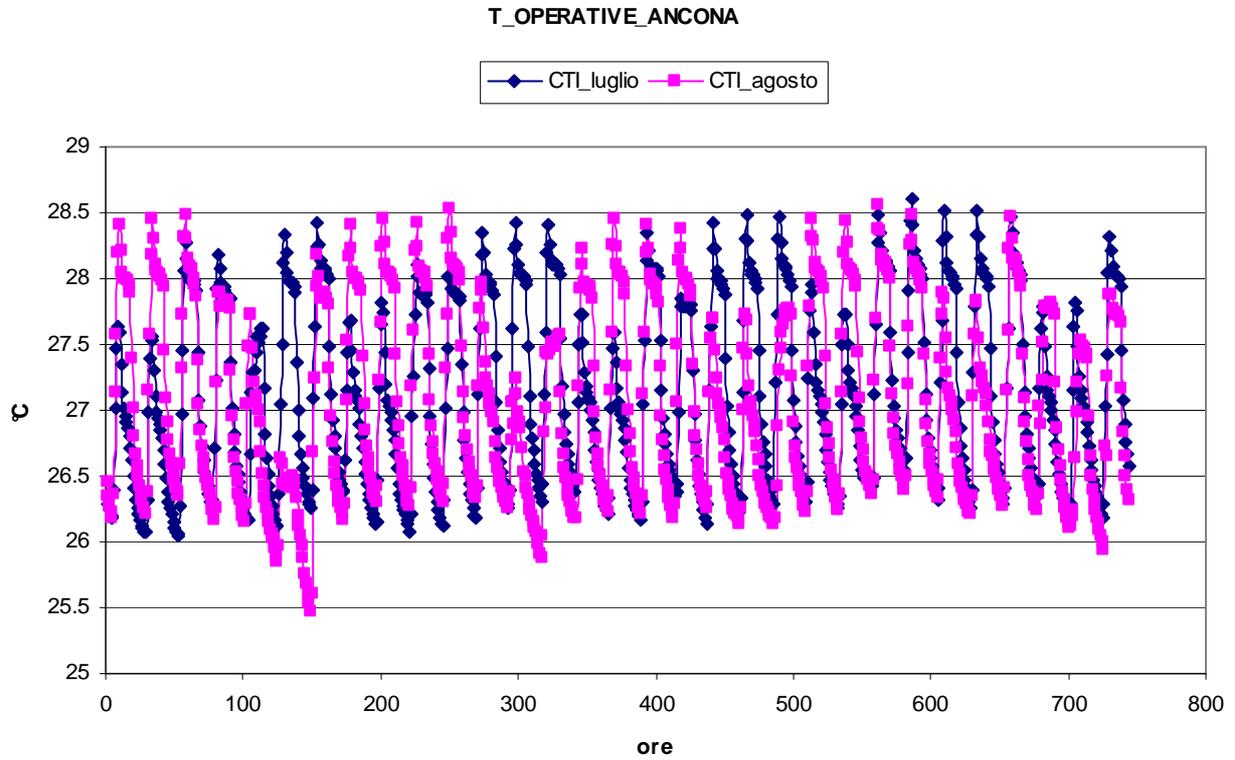
ROMA	CTI T medie (°C)
Giugno	22.31222
Luglio	25.32823
Agosto	25.72728
Settembre	21.84403

T_operativa_VERONA

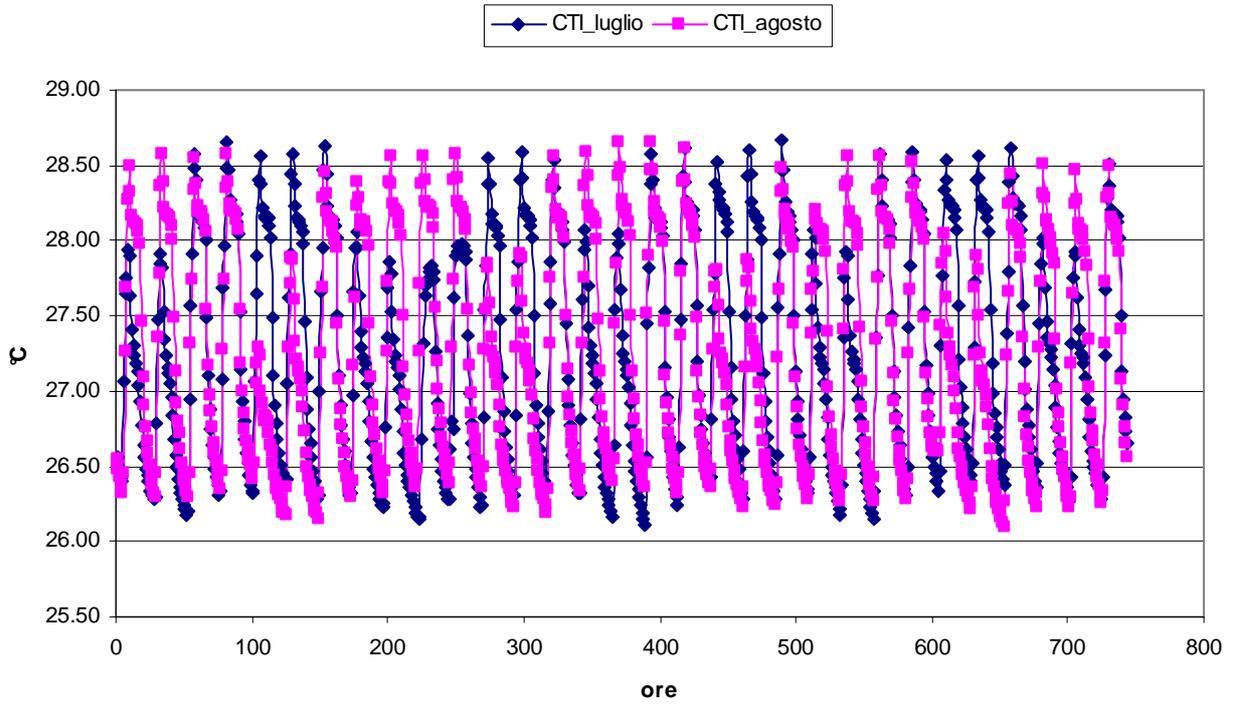


VERONA	CTI T esterne medie (°C)
Giugno	23.79472
Luglio	24.46116
Agosto	24.09677
Settembre	18.20389

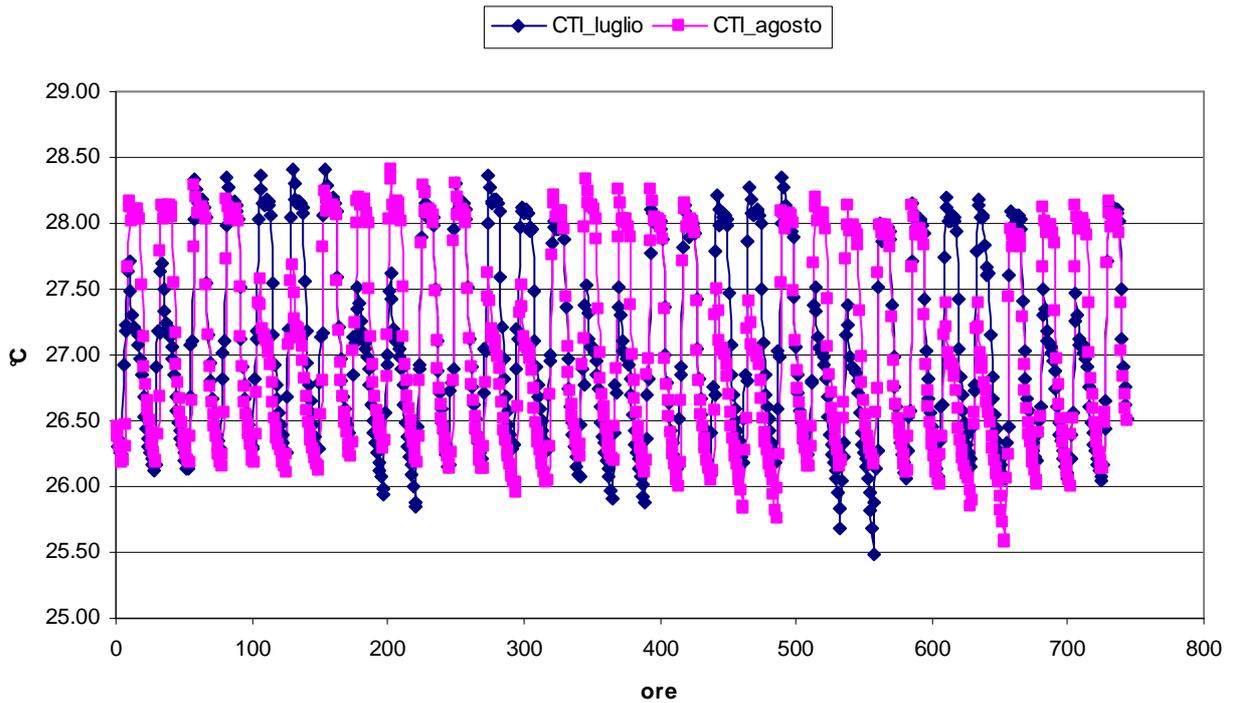
7.7.2 *Profili orari delle temperature operative con carico interno di tipo radiante*



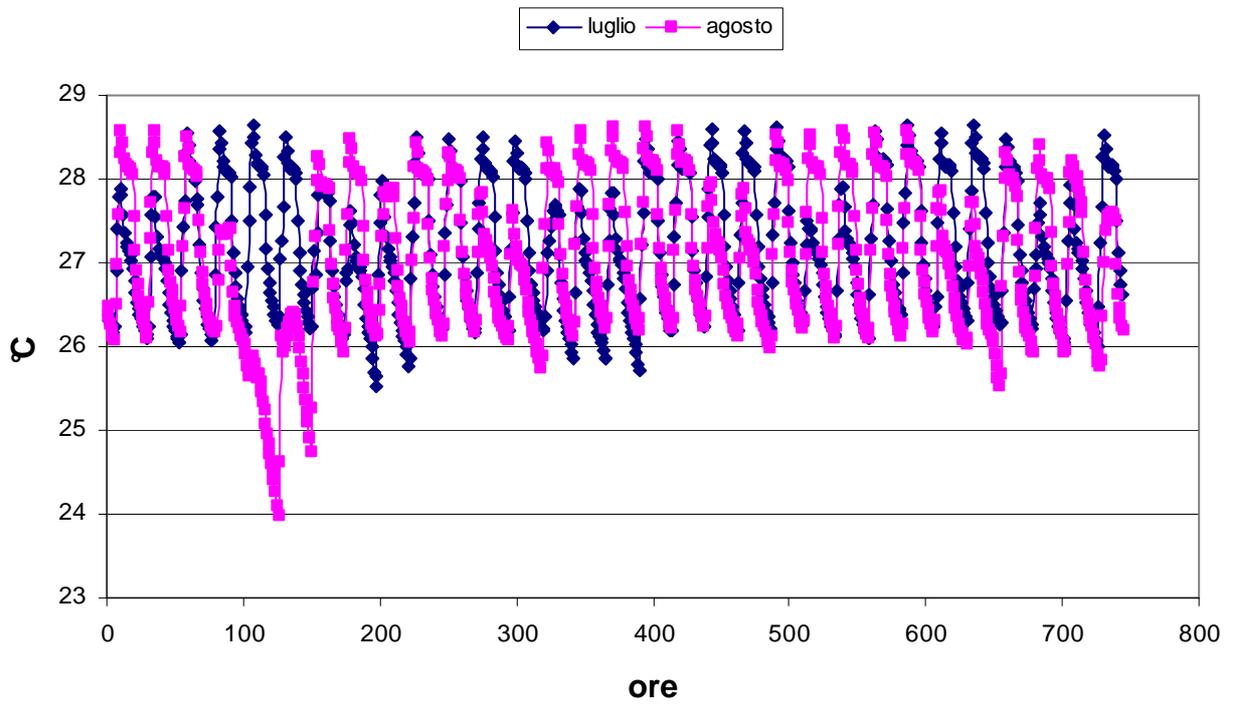
T_operativa_PALERMO



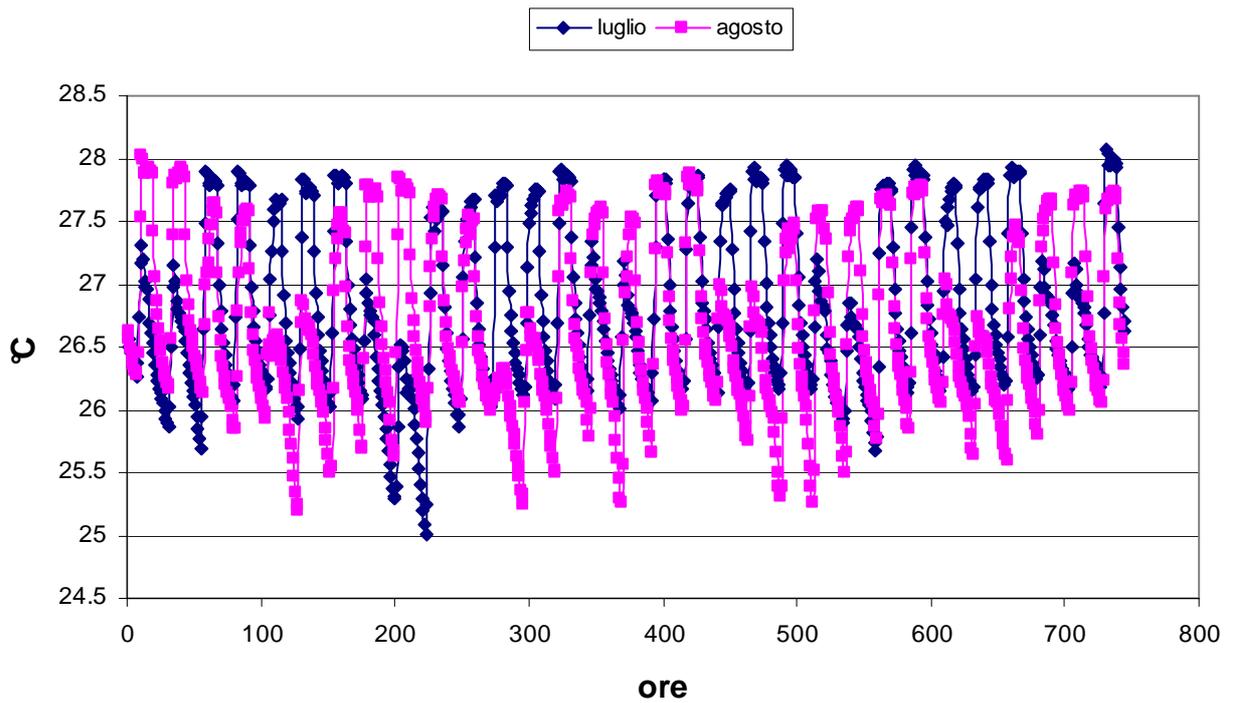
T_operativa_ROMA



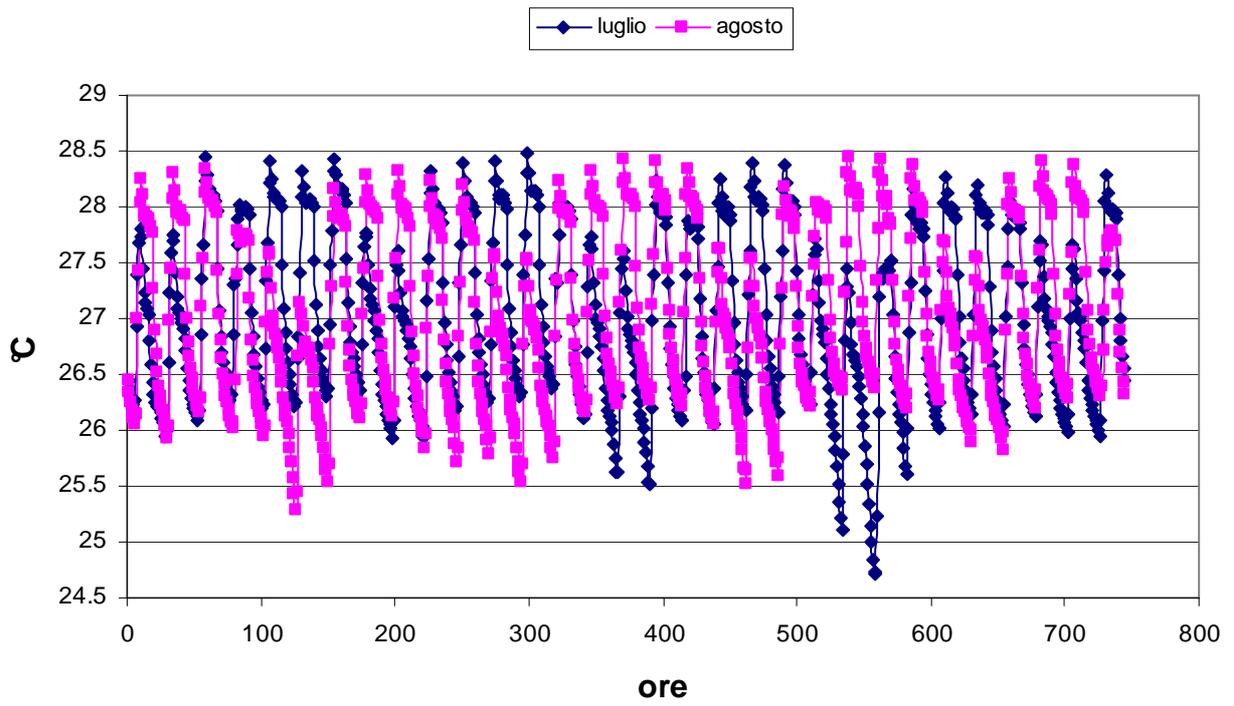
T_operative_VR



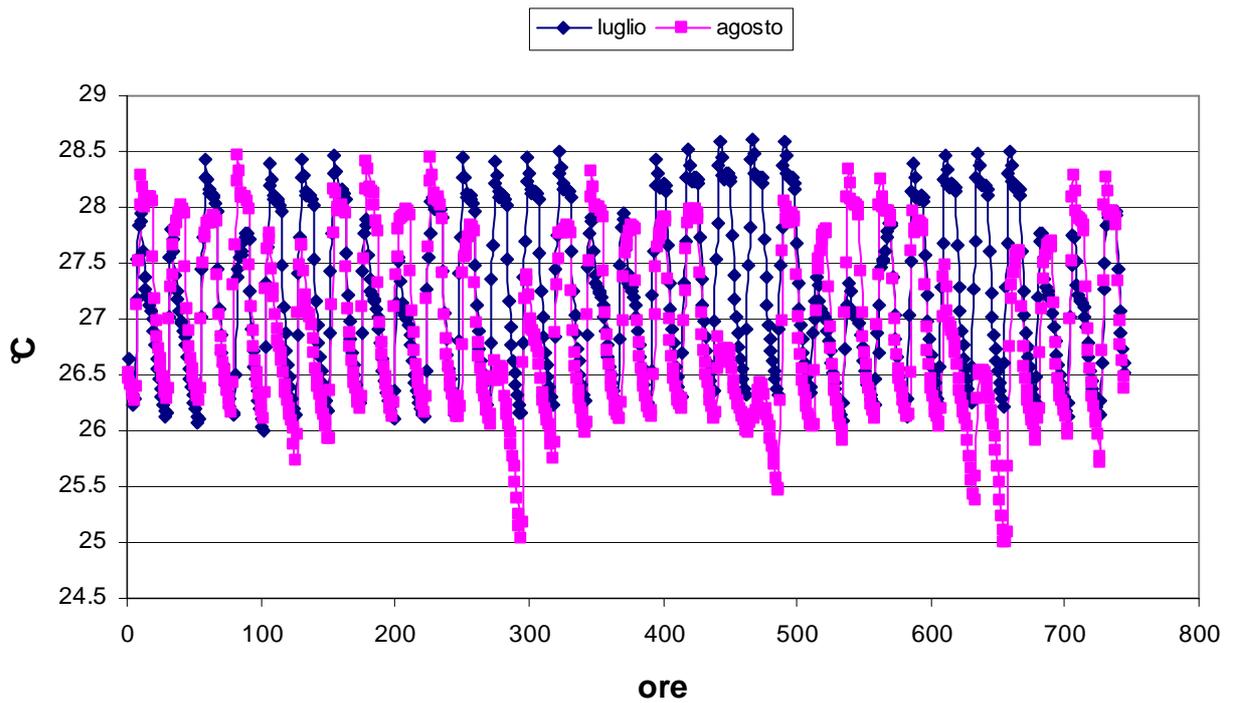
T_operative_RM



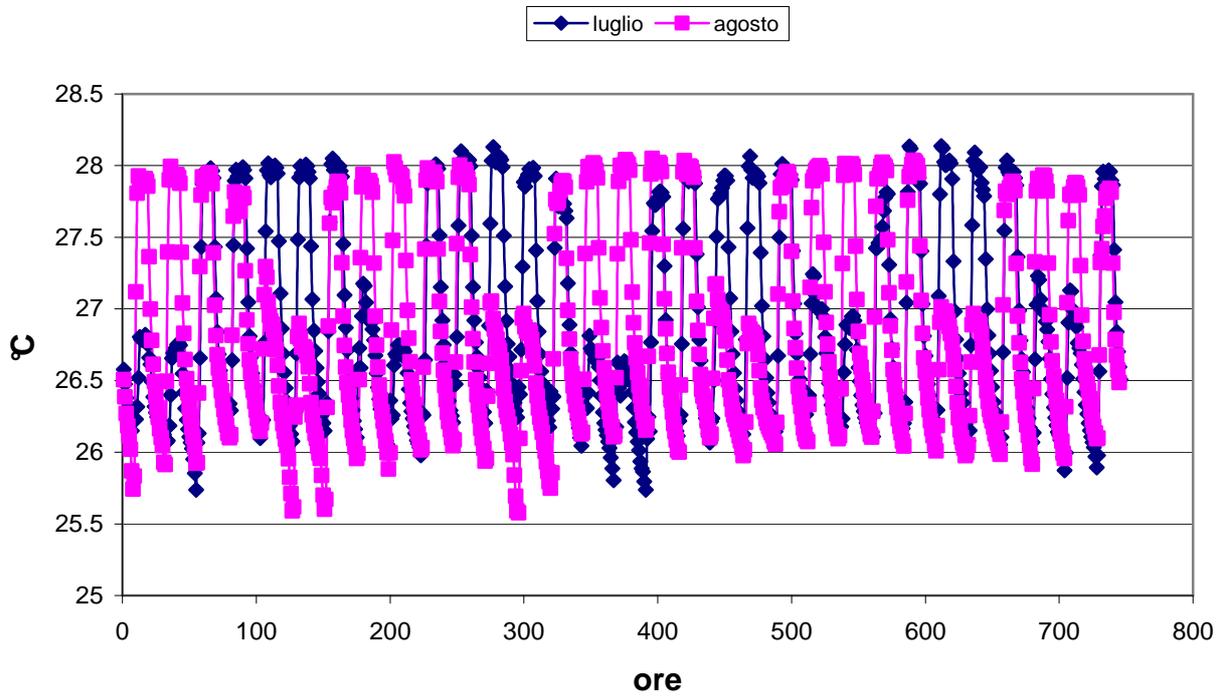
T_operative_PZ



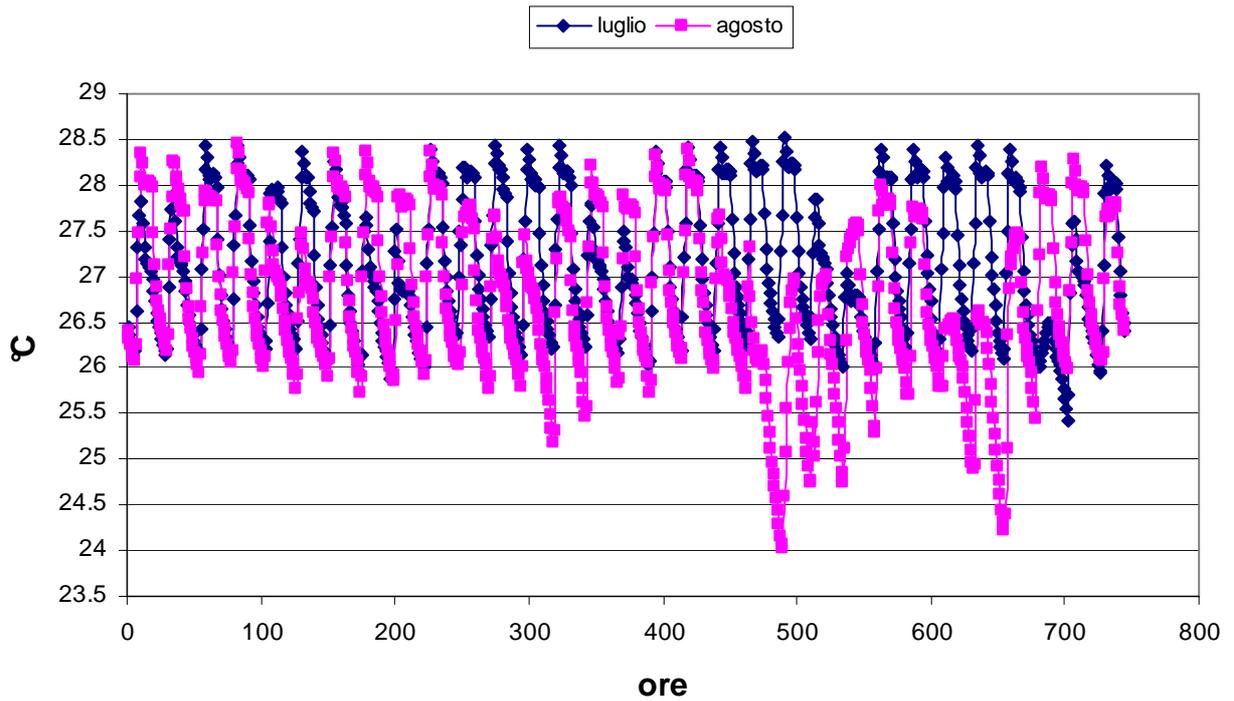
T_operative_FI



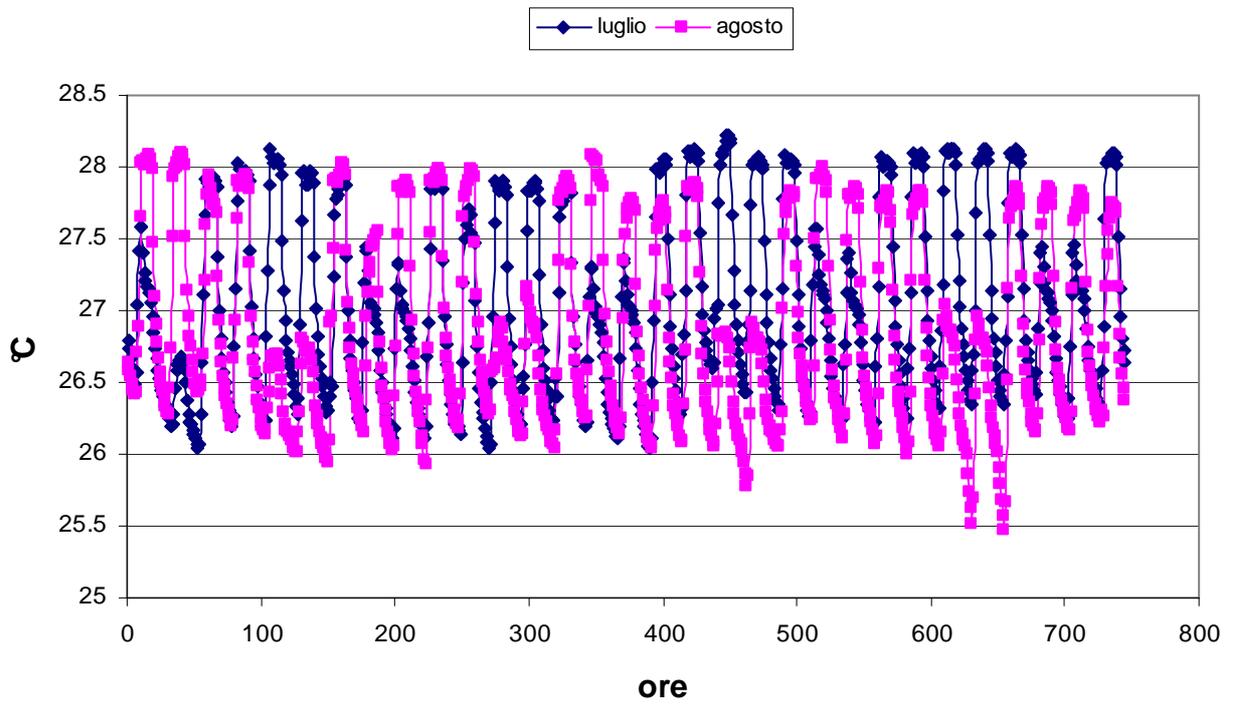
T_operative_CA



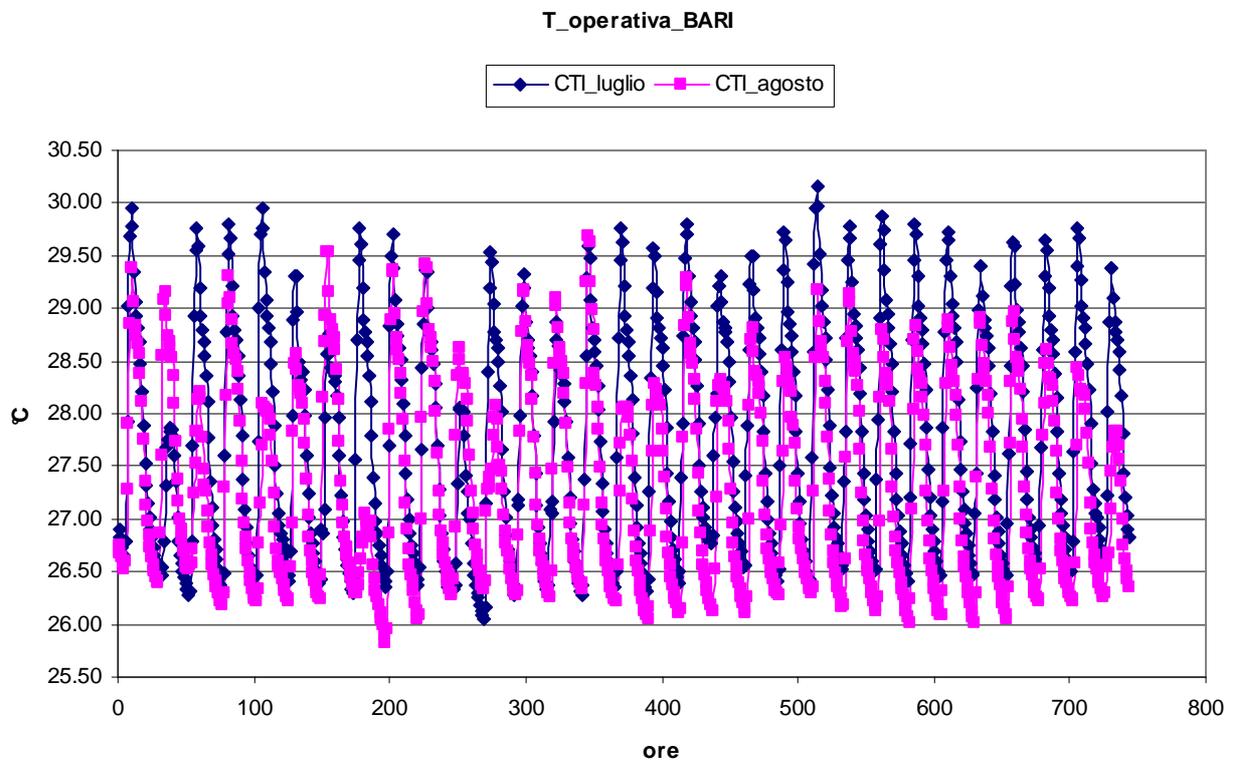
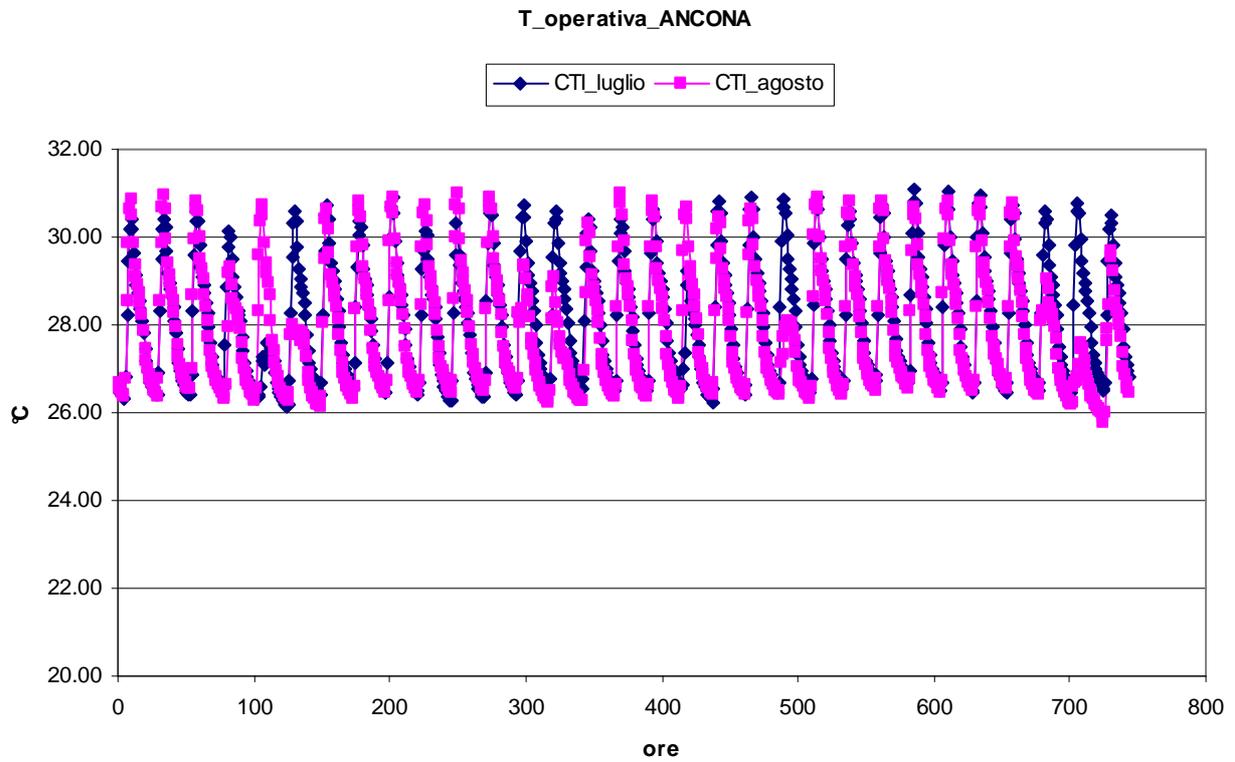
T_operative_BZ



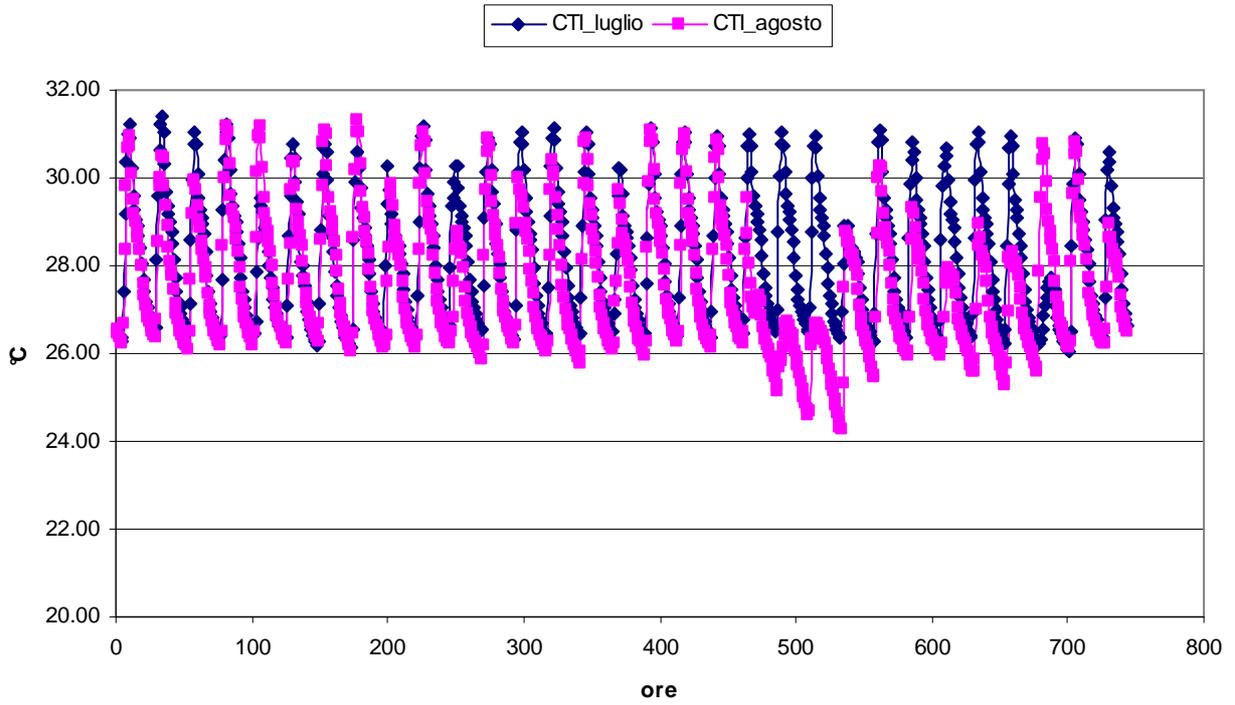
T_operative_BA



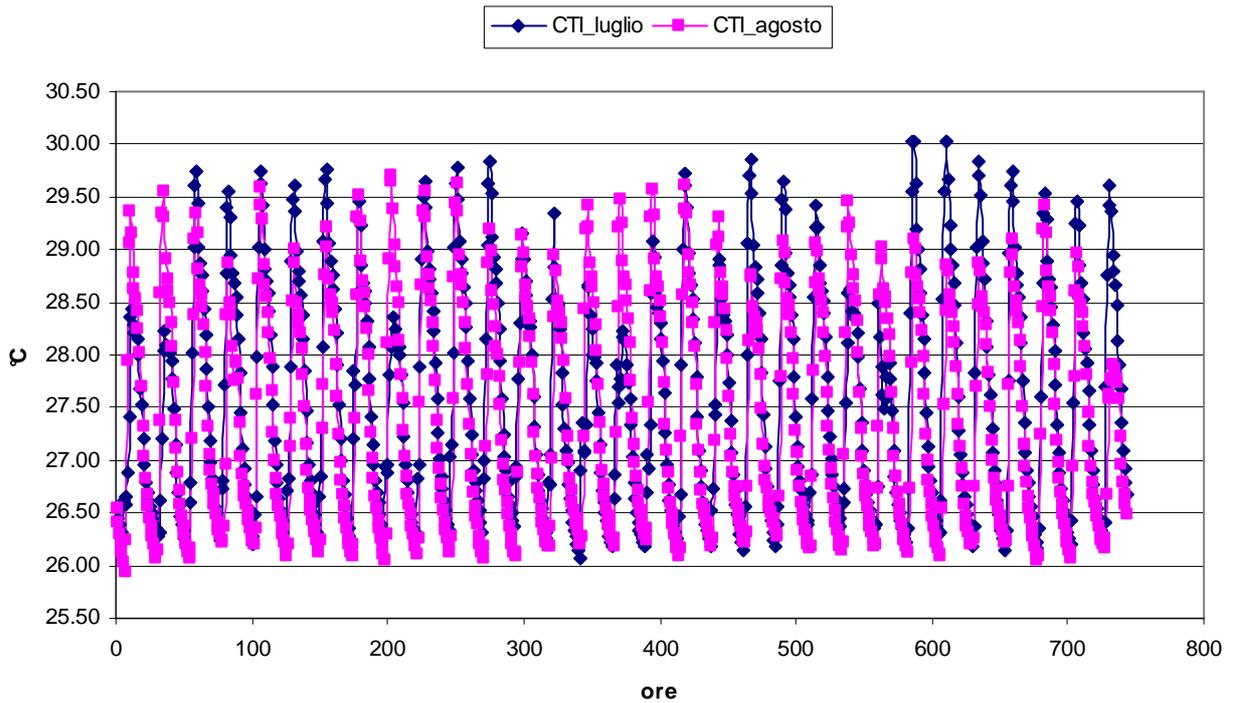
7.7.3. *Profili orari delle temperature operative quando il sistema vetrato é senza dispositivo di ombreggiamento*



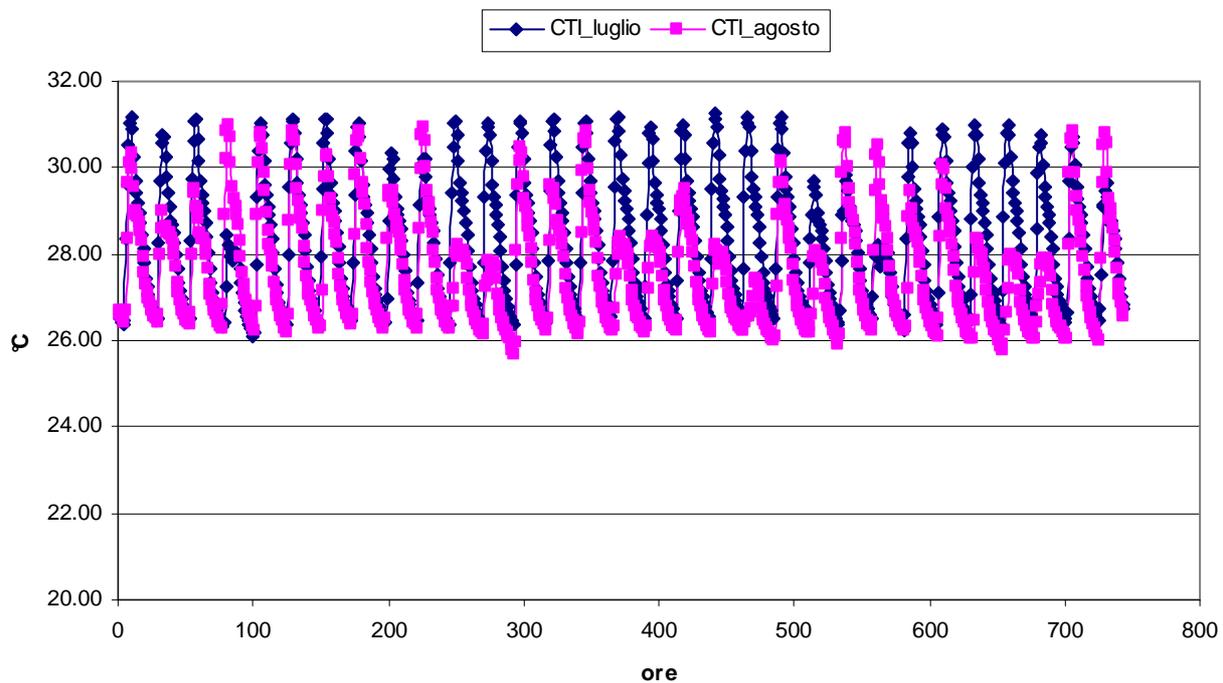
T_operativa_BOLZANO



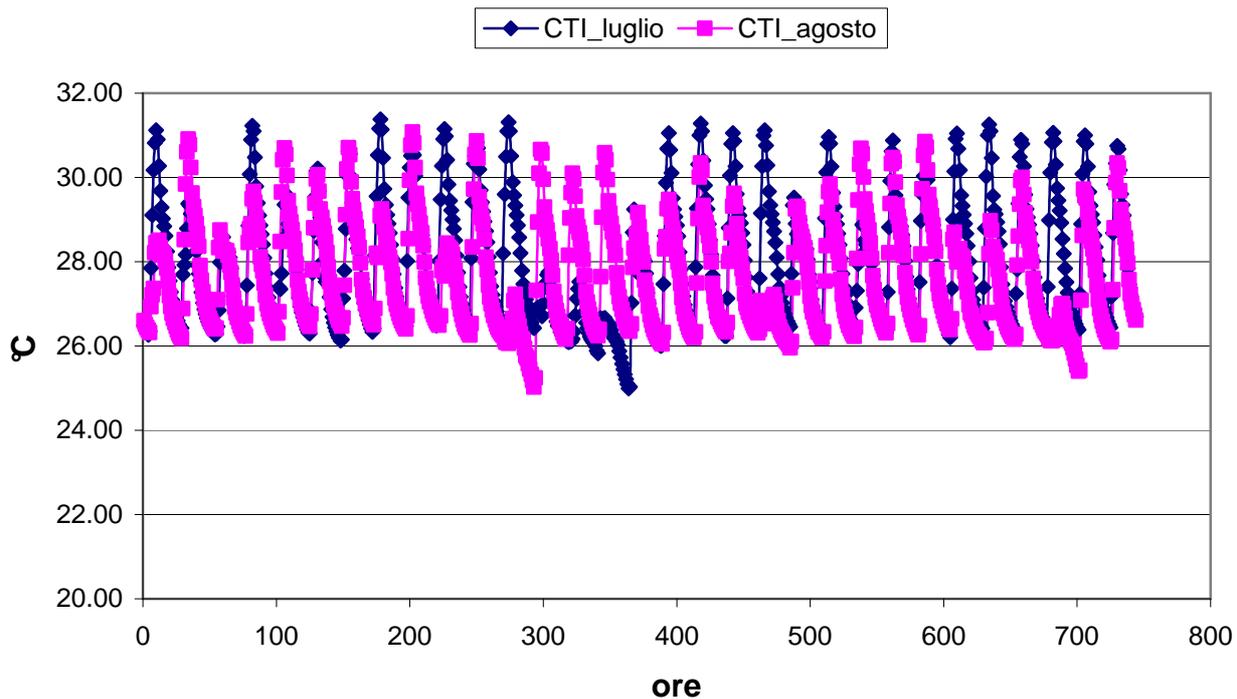
T_operativa_CAGLIARI



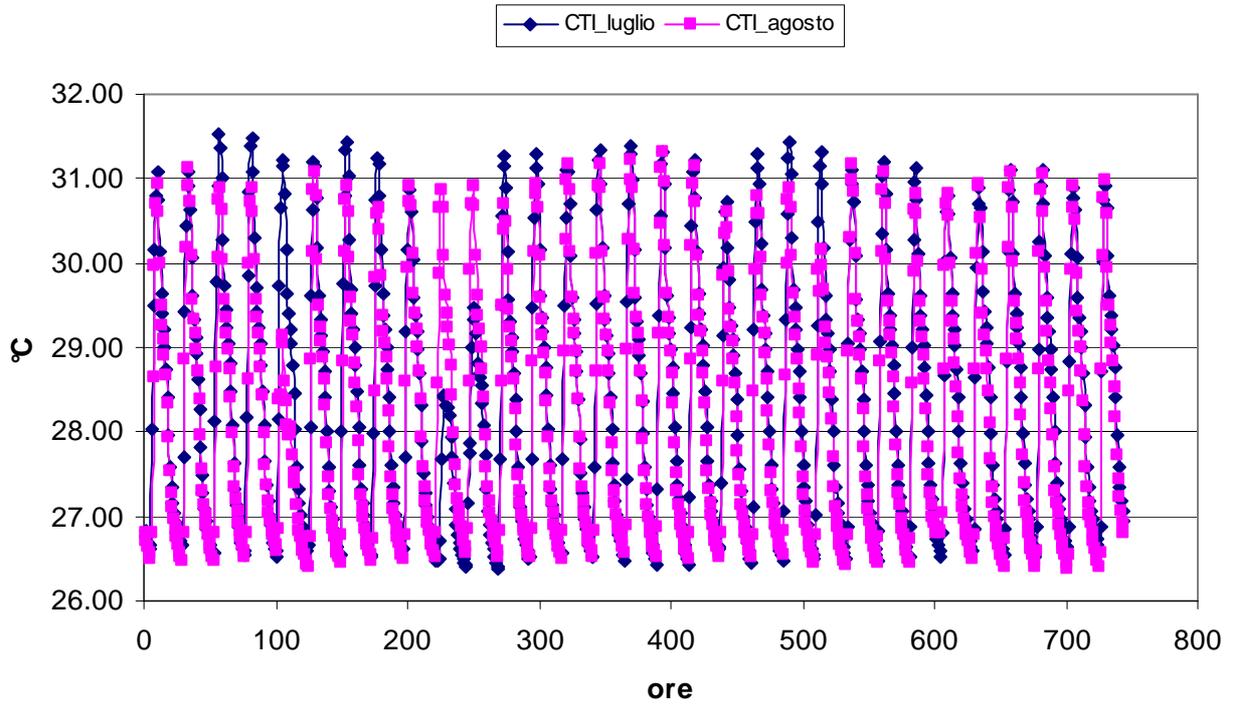
T_operativa_FIRENZE



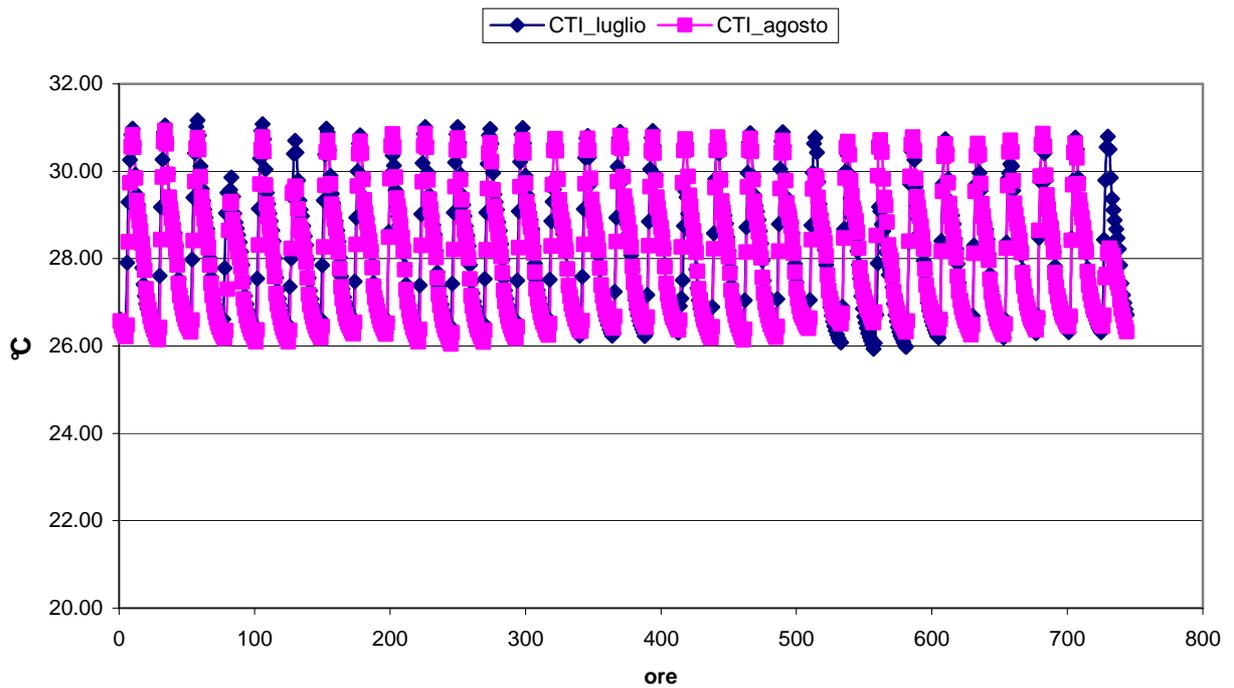
T_operativa_MILANO



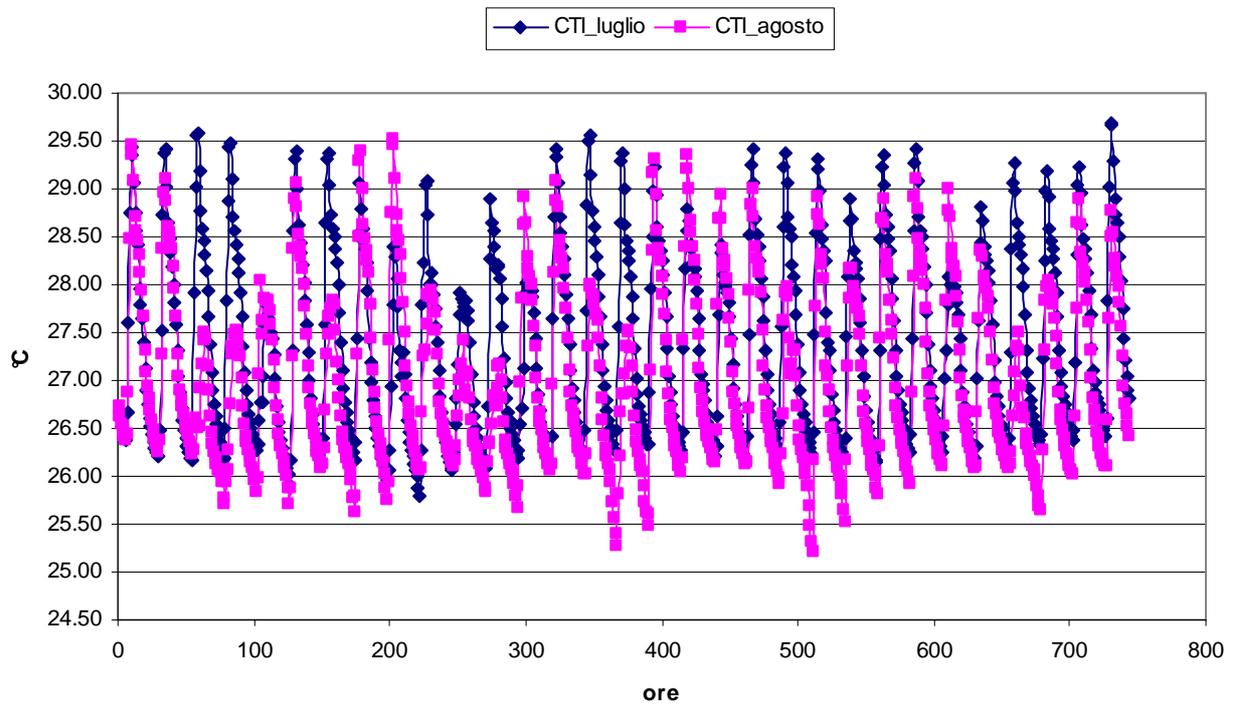
T_operativa_PALERMO



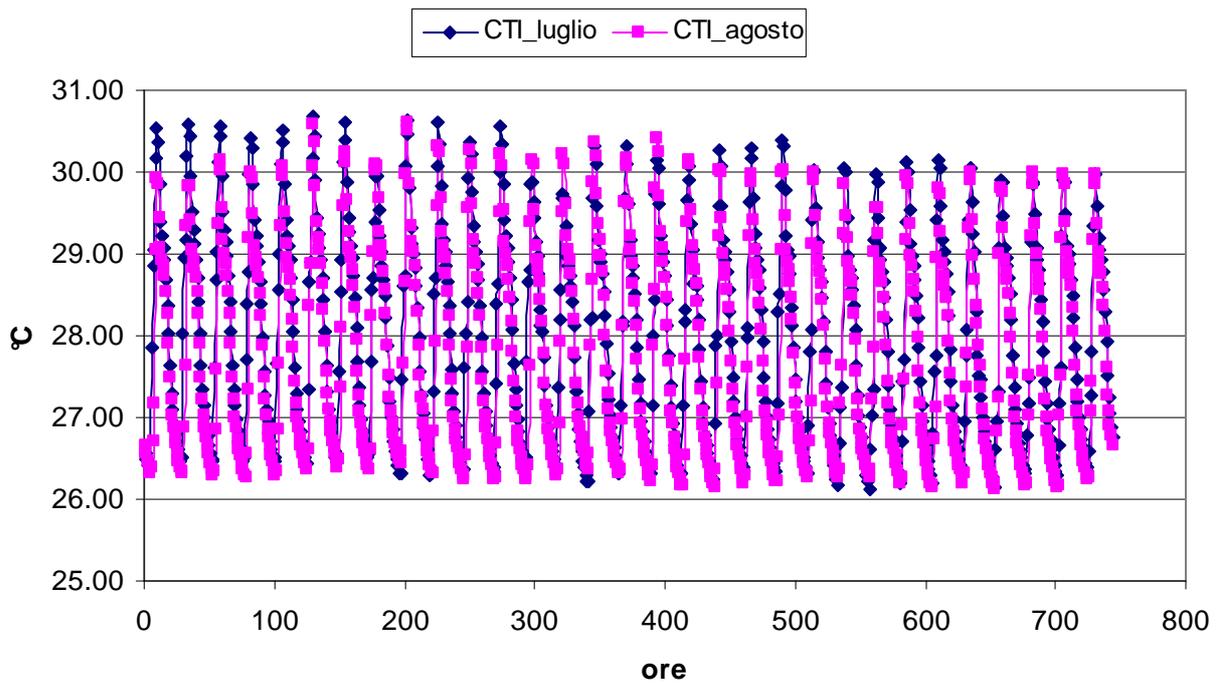
T_operativa_POTENZA

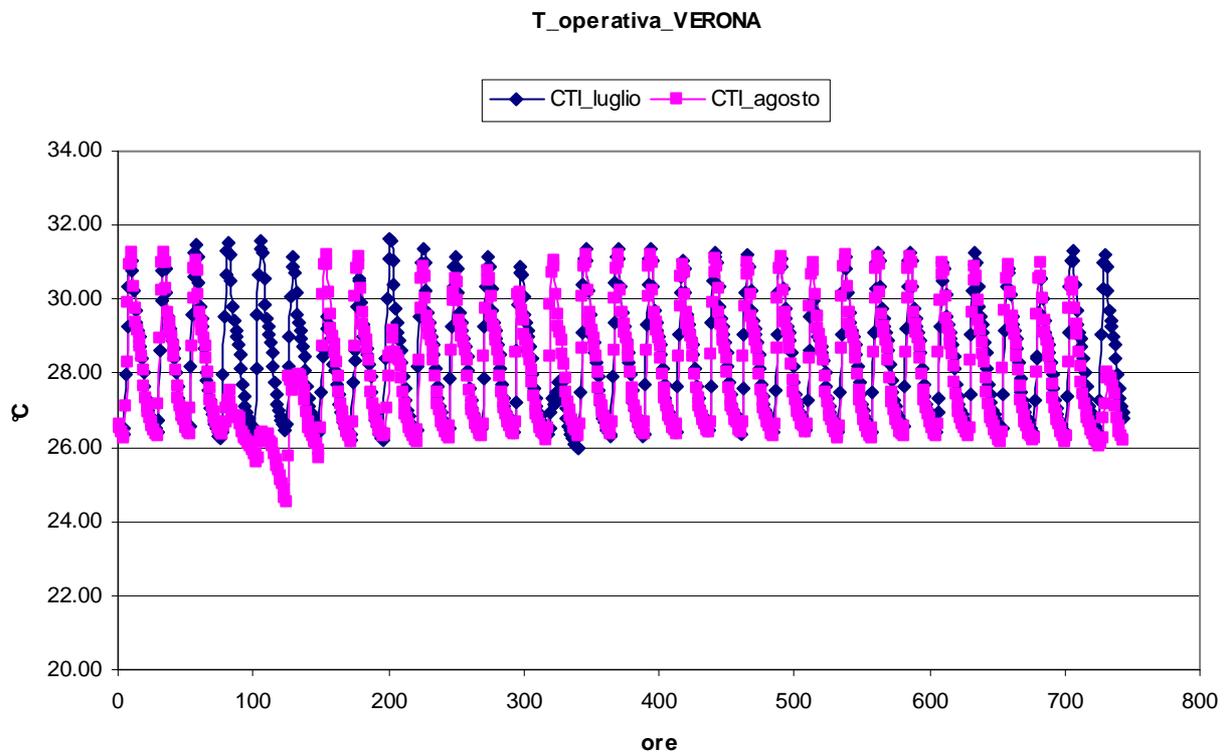


T_operativa_RIMINI



T_operativa_ROMA





Quando la superficie trasparente è priva di dispositivo di ombreggiamento, non vi è alcuna condizione climatica analizzata che presenti temperature operative al di sotto della temperatura di regolazione, a meno di pochissime ore e con valori che differiscono da ventisei gradi per pochi decimi di grado.

7.7. Conclusioni

Dall'esame dei valori di temperatura operativa calcolati con le simulazioni dinamiche, il cui valore medio, in ogni caso esaminato, è nettamente superiore alla temperatura di regolazione interna, è evidente che la funzione svolta dal fattore di utilizzazione delle dispersioni, nell'equazione di bilancio termico mensile, non trova giustificazione. Infatti la funzione attribuita al fattore di utilizzazione delle dispersioni è di considerare il fatto che solo parte dello scambio termico per trasmissione e ventilazione è utilizzato per ridurre i fabbisogni di raffrescamento, perché si ipotizza che vi sia uno scambio termico per trasmissione e ventilazione "non utilizzato", che si manifesta durante periodi o intervalli, durante i quali non ha alcun effetto sui fabbisogni di raffrescamento che si realizzano durante altri periodi o momenti.

Per chiarire quanto detto si riporta l'equazione (I.26) :

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - Q_{C,ht,real}$$

Ora, per $\theta_{operativa} > \theta_{int,set,C}$

cioè per $\theta_{int,mn} > \theta_{reg}$

$$Q_{C,ht,real} = Q_{C,ht} + \Delta Q_{tr+ve},$$

dove $Q_{C,ht}$ è il termine che si ottiene in corrispondenza alla temperatura di regolazione, cioè, sarebbe giustificato un fattore di amplificazione del termine di scambio e non uno di riduzione.

I risultati ottenuti non interessano solo il significato attribuito al fattore di utilizzazione delle dispersioni nella modalità di raffrescamento, ma interessano, anche, il procedimento di derivazione del fattore stesso. Infatti nell'approccio black-box, per la determinazione del fattore, si veda il paragrafo 5.5. del capitolo V, il caso 2, deve essere impostato come il caso 0, ma con una temperatura di regolazione bassa per il raffrescamento, così che nella modalità di raffrescamento tutte le dispersioni siano utilizzate, per ricavare $Q_{C,nd,2}$, analogamente per il caso 3, che insieme al 2 consente la determinazione di

$$Q_{C,gn} = (Q_{C,nd,2} - Q_{C,nd,3})$$

e perciò di

$$\eta_{C,ls} = (Q_{C,gn} - Q_{C,nd,0}) / Q_{C,ht}, \quad \text{e di}$$

$$\gamma_C = Q_{C,gn} / Q_{C,ls}.$$

CAPITOLO VIII

CONFRONTO DEI FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA , IN MODALITA' RAFFRESCAMENTO, CALCOLATI CON IL METODO DINAMICO, MA CON DIVERSI DATI METEO, PER UNA ZONA TERMICA DI TIPO RESIDENZIALE

8.1. *Generalità*

In questo capitolo la zona termica di tipo residenziale, definita nel capitolo III e rappresentata nella FIG.III.1., stata calcolata nelle undici condizioni meteo-climatiche precedentemente definite, con un duplice scopo:

- applicare in parte l'approccio black-box, utilizzando i dati climatici del CTI;
- determinare il fabbisogno di energia termica in modalità di raffrescamento, con i dati climatici De Giorgio.

L'interesse per l'approccio black-box è scaturito dall'idea di determinare il termine globale di scambio termico per trasmissione e ventilazione e il termine globale relativo agli apporti termici, e perciò agli apporti solari, potendo gestire direttamente gli apporti interni.

La determinazione del fabbisogno di energia termica in modalità di raffrescamento, con i dati climatici De Giorgio, è stata eseguita per effettuare un confronto con il fabbisogno determinato mediante i dati climatici attuali dell'anno tipo.

8.2. *I termini dell'approccio "black-box"*

Per ricavare i termini del bilancio termico mensile, ho considerato i seguenti calcoli effettuati con il metodo di simulazione dettagliata :

- caso 0: calcolo ordinario per ricavare $Q_{C,nd,0}$;

- caso 1: come il caso 0, ma con apporti termici interni e solari nulli ed extra flusso termico per irraggiamento ad alta lunghezza d'onda verso la volta celeste nullo, per ricavare $Q_{H,nd,1}$ e $Q_{C,nd,1}$.

Assumendo l' approssimazione indicata nel procedimento, e cioè :

$$Q_{C,ht} = Q_{C,nd,1} ,$$

ho determinato per differenza tra il caso 0 e il caso 1, il termine corrispondente agli apporti:

$$Q_{C,gn} = Q_{C,nd,0} - Q_{C,nd,1} .$$

8.2.1. *Il caso 1*

La condizione corrispondente agli apporti termici e solari nulli è stata realizzata costruendo nell' .idf di *Energy Plus* zona termica senza finestre ed imponendo che non vi fossero carichi interni. Per annullare l'extra flusso termico per irraggiamento ad alta lunghezza d'onda verso la volta celeste si è considerata la temperatura della volta celeste, e con un laborioso procedimento iterativo, è stata ottenuta un'ottima corrispondenza tra i valori della temperatura delle superfici esterne e la temperatura della volta celeste, annullando così lo scambio termico corrispondente.

8.3. *Il calcolo con i dati De Giorgio*

Il calcolo con i dati De Giorgio è costituito dal calcolo ordinario per ricavare $Q_{C,nd}$.

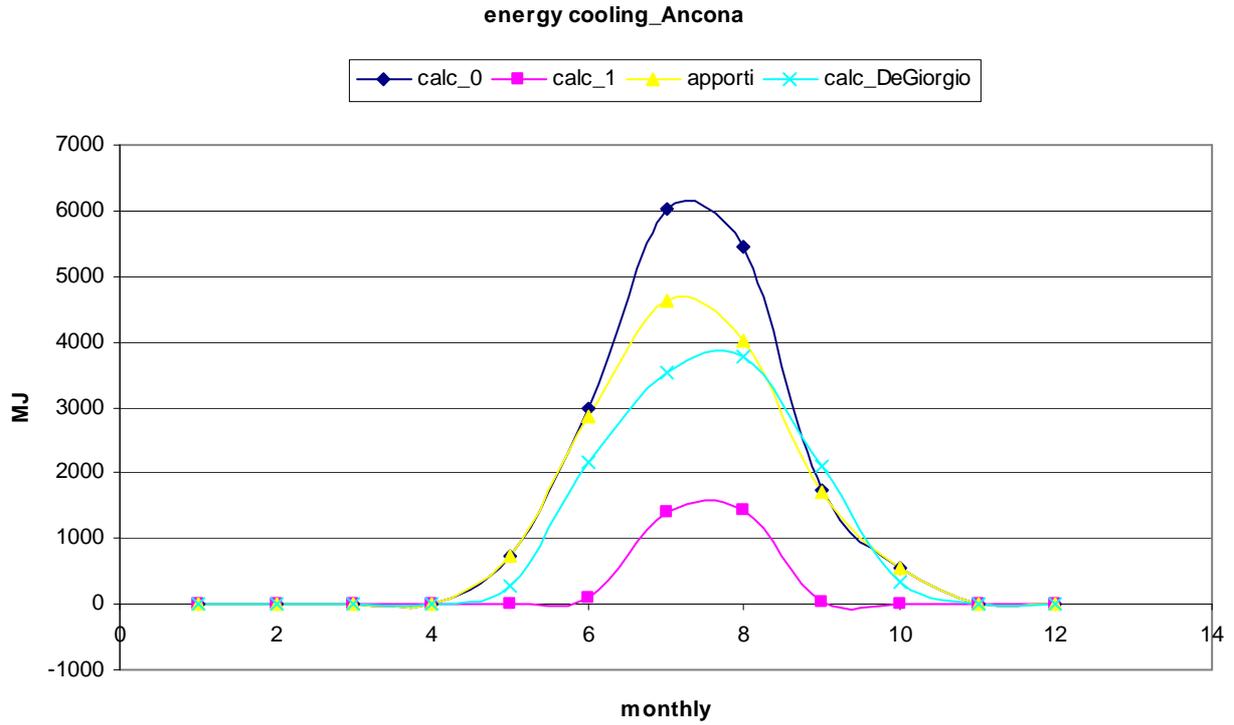
8.4. *I risultati, il confronto tra i due fabbisogni di energia termica mensile e le conclusioni*

I risultati ottenuti ed il confronto effettuato sono diagrammati nelle figure che seguono, per ogni condizione meteorologica considerata, e permettono di concludere che il fabbisogno mensile determinato con l'anno tipo De Giorgio, sottostima notevolmente il fabbisogno di energia termica per raffrescamento, rispetto ai valori che si ottengono con i nuovi dati climatici. Inoltre, per molte località il fabbisogno mensile determinato con i dati De Giorgio è molto prossimo al fabbisogno mensile dovuto agli apporti solari corrispondenti alle attuali condizioni climatiche.

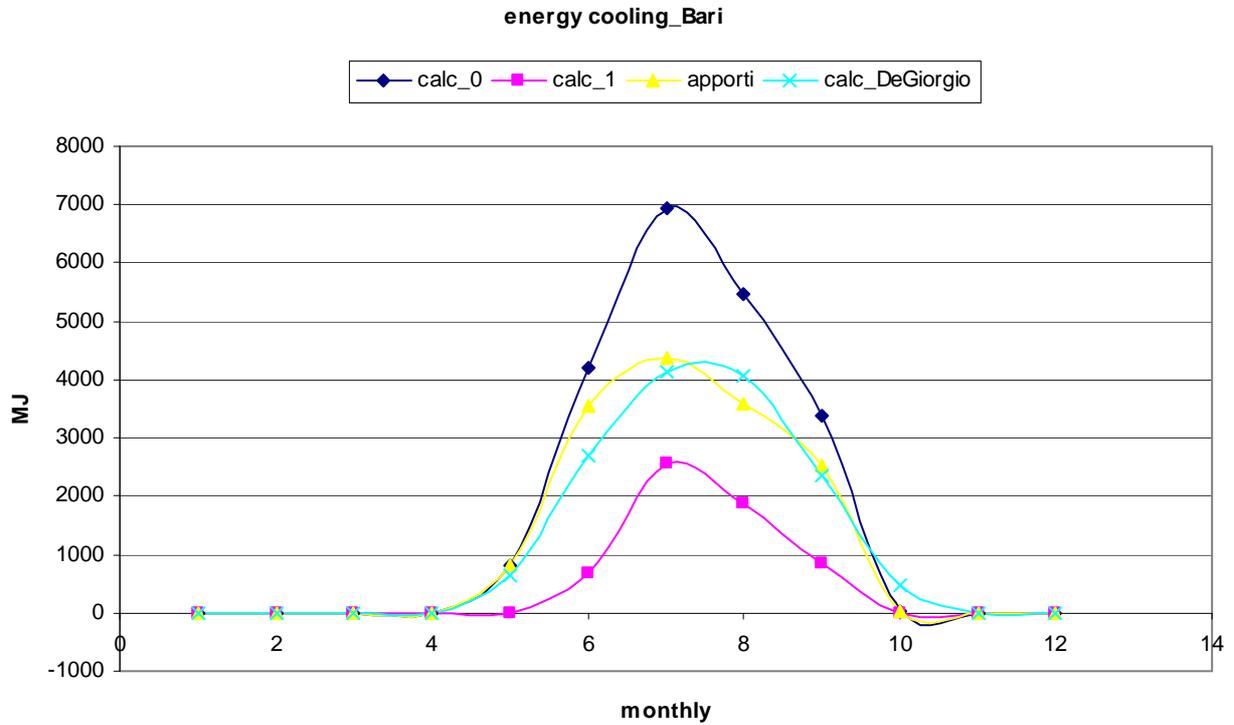
Si riportano, di seguito, i diagrammi dei risultati ottenuti per le undici località considerate, ed il confronto:

*Ancona ; Bari ; Bolzano ; Cagliari ; Firenze ; Milano ;
Palermo ; Potenza ; Rimini ; Roma ; Verona.*

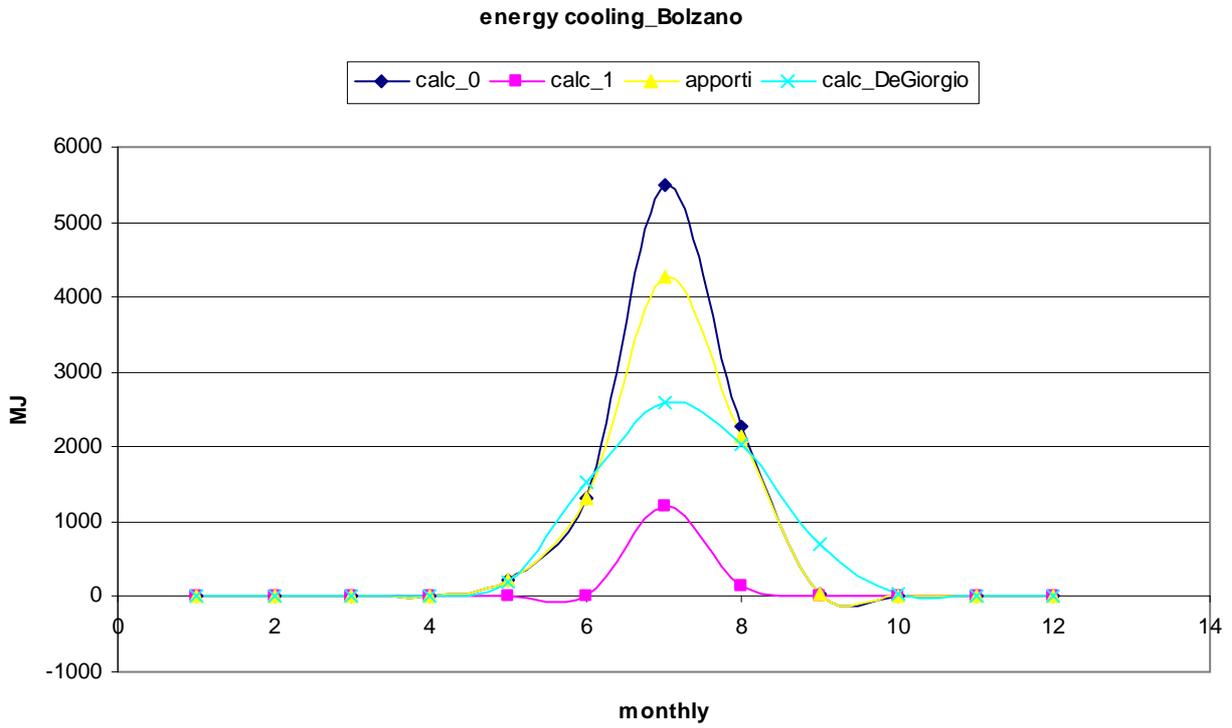
Ancona



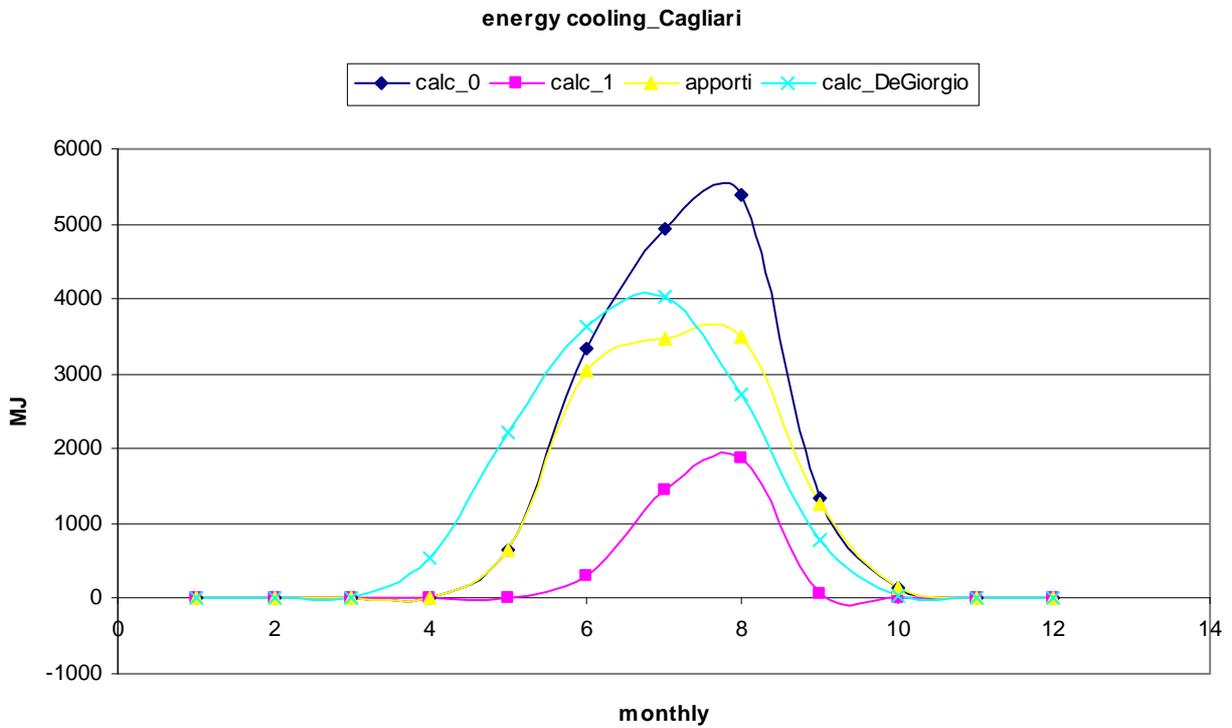
Bari



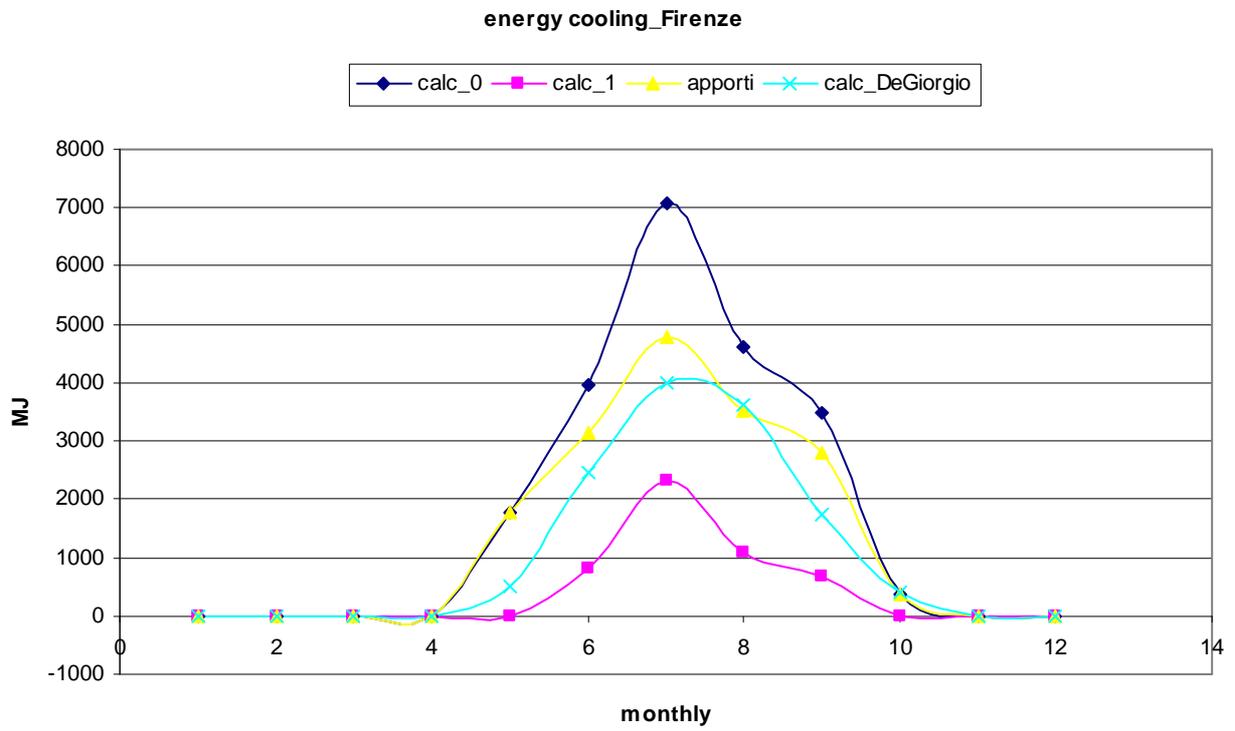
Bolzano



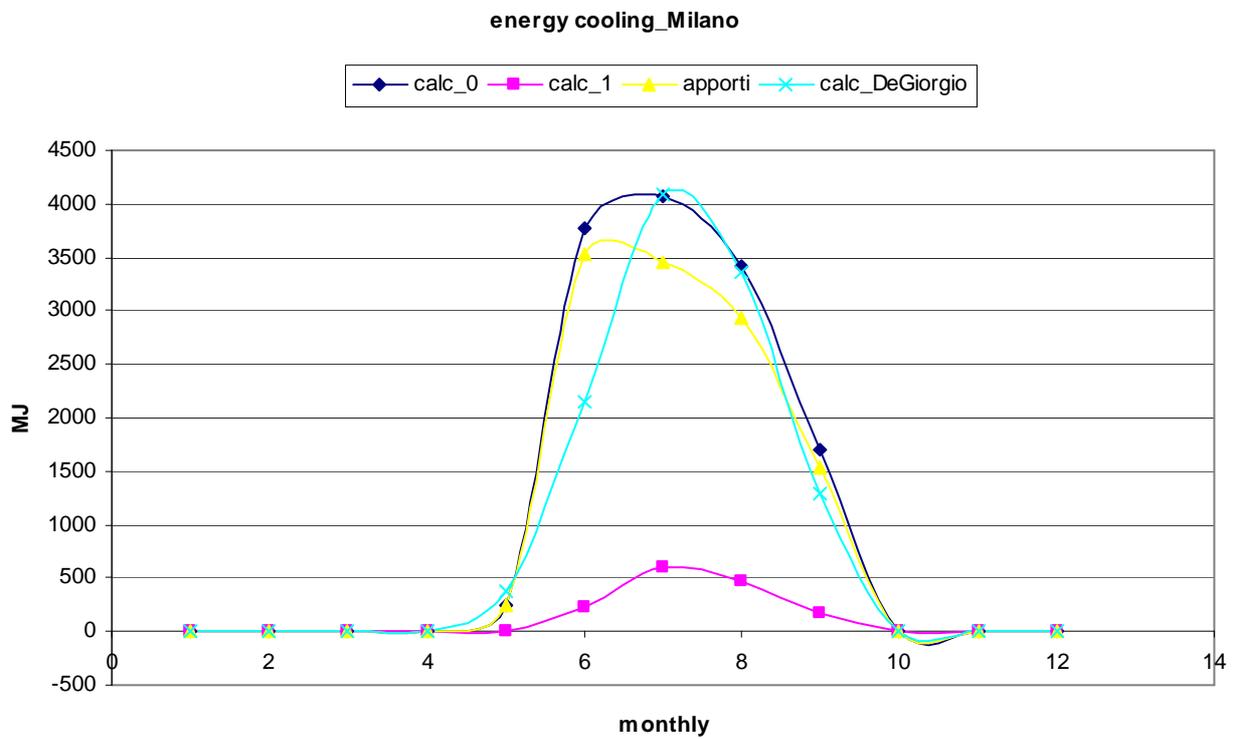
Cagliari



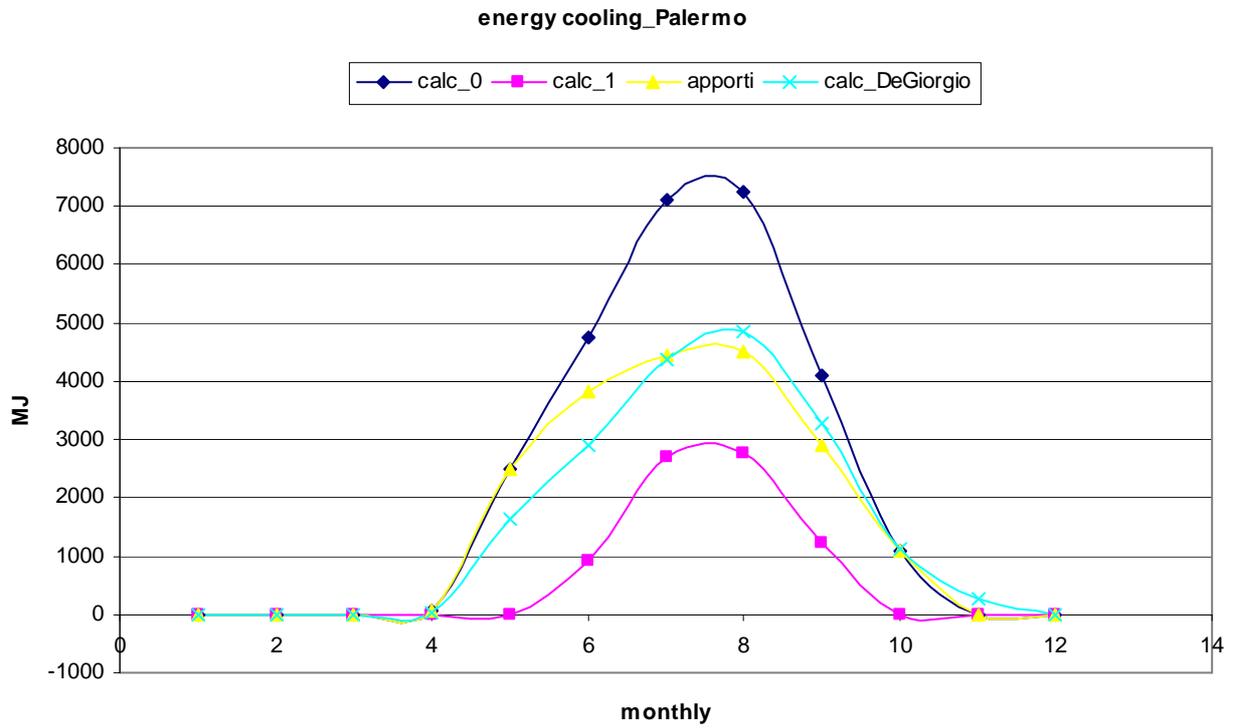
Firenze



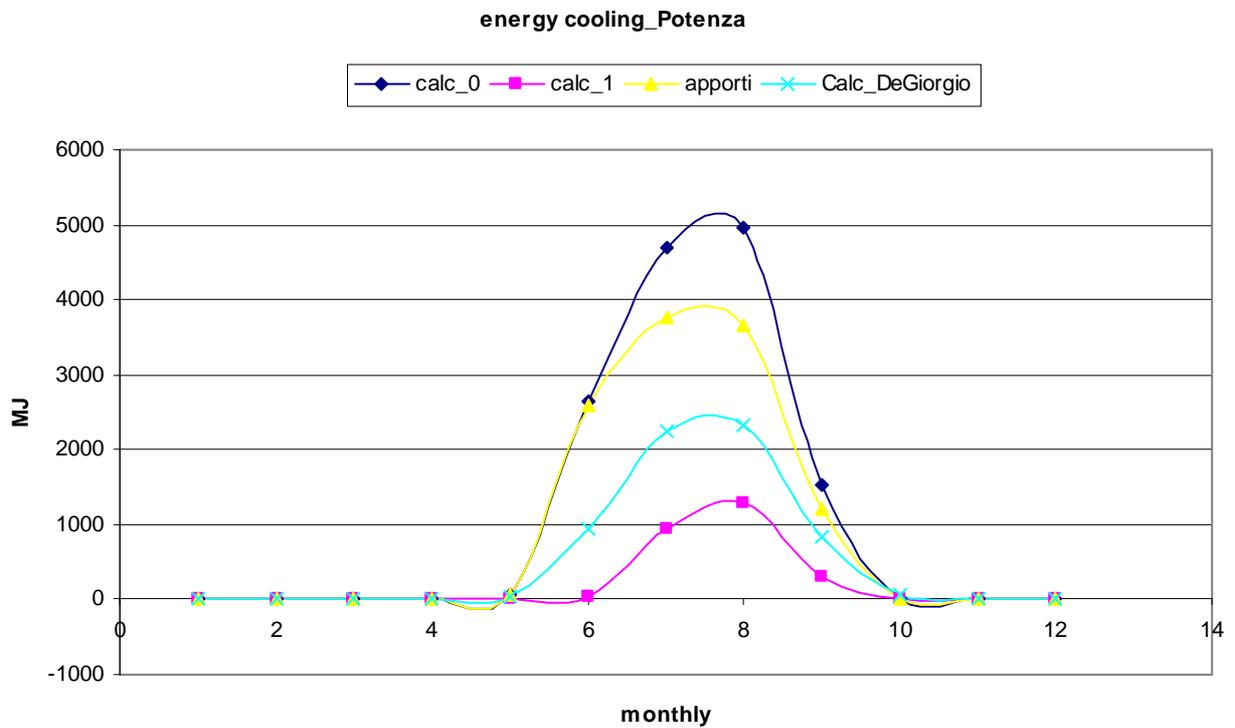
Milano



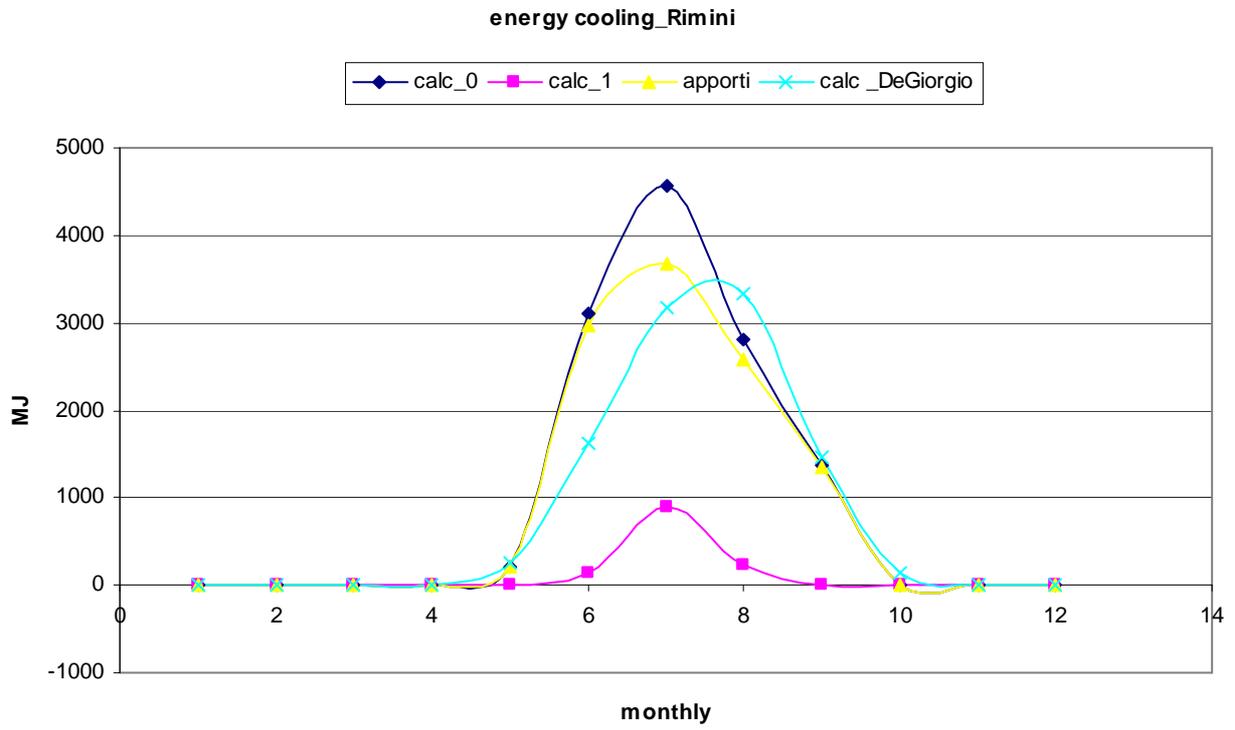
Palermo



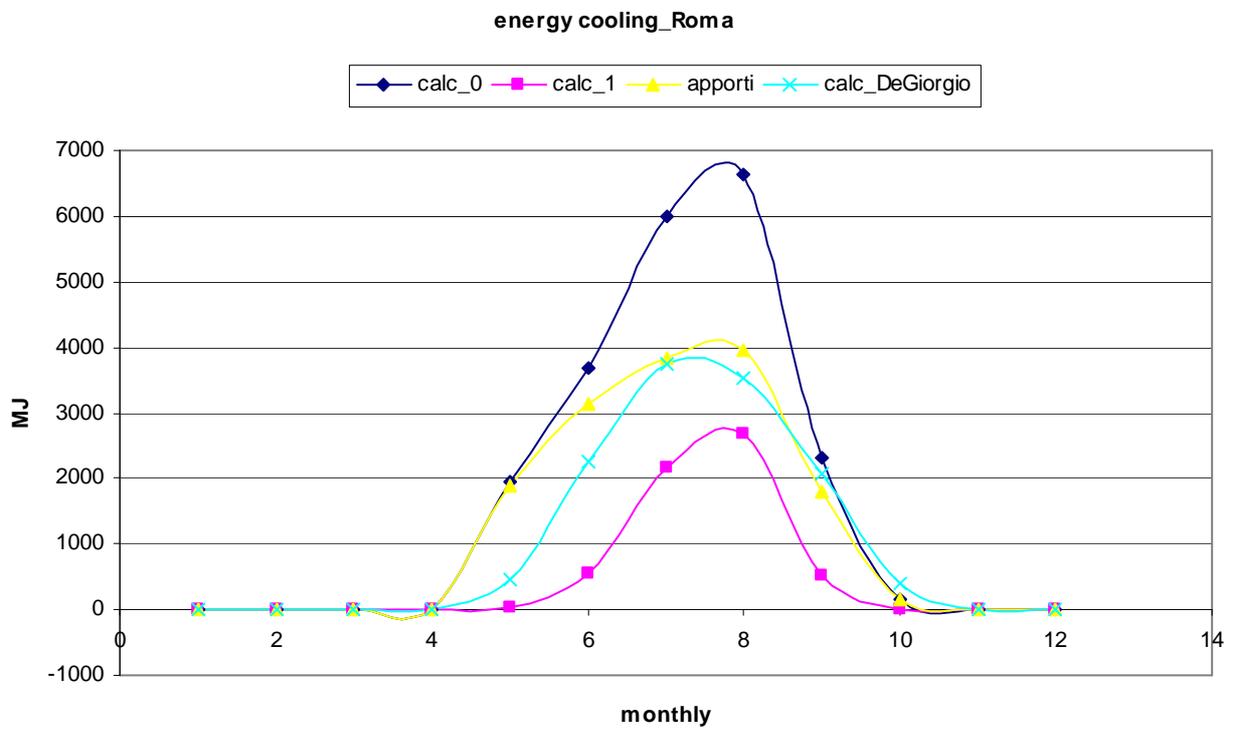
Potenza



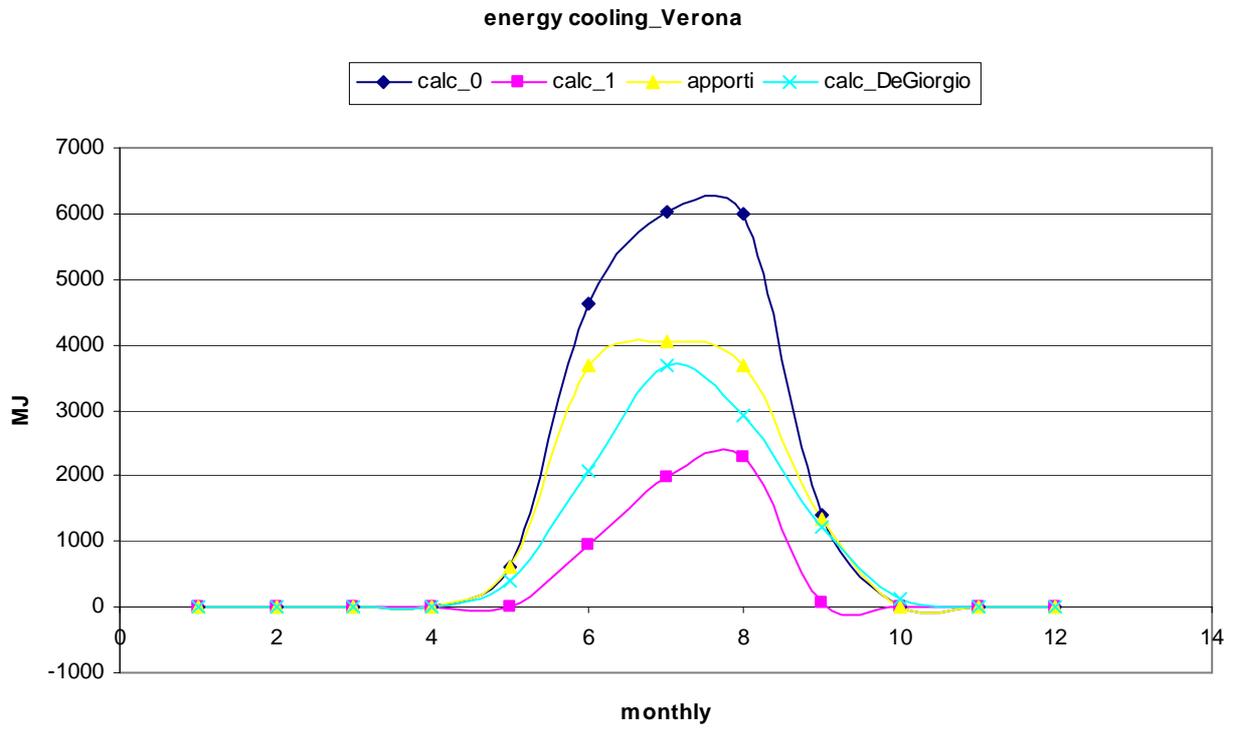
Rimini



Roma



Verona



CAPITOLO IX

CONFRONTO DEI FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA , IN MODALITA' DI RAFFRESCAMENTO, PER UNA ZONA TERMICA DI TIPO RESIDENZIALE CALCOLATI CON IL METODO DINAMICO E MENSILE

9.1. Generalità

In questo capitolo la zona termica di tipo residenziale, definita nel capitolo III, è stata calcolata con un metodo dinamico orario (Energy Plus) e con un metodo di calcolo quasi stazionario, basato sulla vigente normativa, al fine di effettuare un confronto tra il fabbisogno di energia termica in modalità di raffrescamento, ottenuto in virtù dei nuovi dati climatici, e i valori forniti con il software di riferimento indicato nelle Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici: DOCET.

Il confronto è effettuato per verificare se il valore di fabbisogno determinato in relazione ai nuovi dati climatici è inferiore a quello calcolato con i metodi presenti nelle normative di settore, come risulta dai confronti proposti nel capitolo IV.

Temperatura operativa della zona

Si è determinata la temperatura operativa che si stabilisce nella zona in virtù delle sollecitazioni termiche a cui è sottoposta, e si riporta il diagramma orario per la prima, in ordine alfabetico, condizione meteorologica analizzata : Ancona.

I risultati ottenuti, confermano quanto precedentemente determinato, e cioè che le condizioni di temperatura interna sono superiori alla temperatura di regolazione.

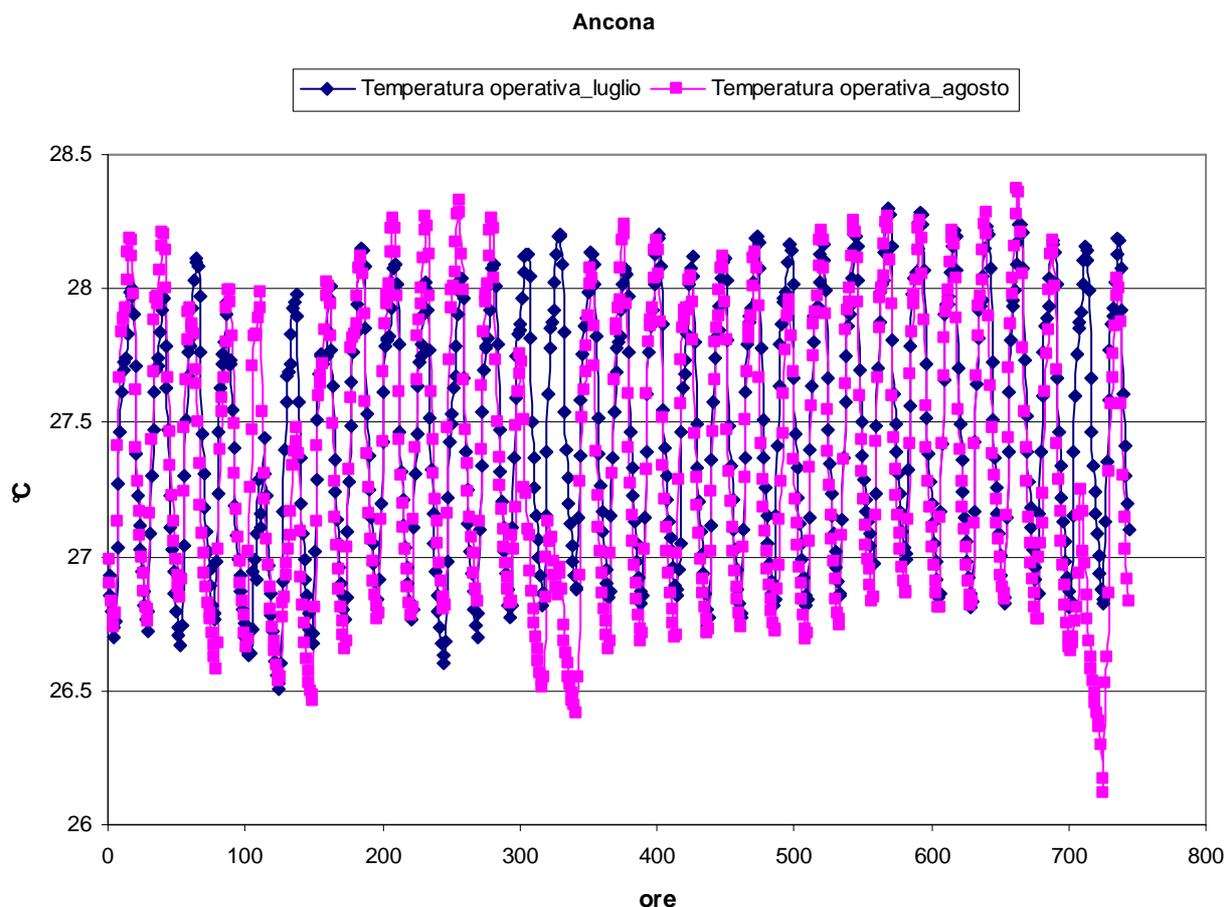


FIG. IX.1. Temperature operative per la zona termica di tipo residenziale di Ancona.

9.2. Metodo e obiettivi

Per quanto riguarda il metodo, si è partiti dalla verifica preliminare della possibilità di modellare la stessa zona termica nei due software, in seguito si è proceduto all'allineamento degli input corrispondenti alle caratteristiche termiche delle stratigrafie e degli elementi dei sistemi vetrati, nonché di tutti i parametri considerati nel calcolo, che ancorché impliciti in DOCET, potevano essere verificati ed esplicitati in *Energy Plus*, per ottenere lo stesso modello della zona termica.

Sono state impostate, seguendo un analogo procedimento di verifica iterativo, le medesime caratteristiche di ventilazione, gli stessi apporti termici interni, nonché utilizzo dell'edificio.

L'obiettivo, non è, ovviamente di natura strettamente quantitativa, perché i dati climatici sono diversi, ma si è voluto indagare il range di scostamento tra i risultati ottenuti con i due metodi, per avere delle indicazioni sulle caratteristiche dei modelli dei carichi termici, prodotti separatamente, dalle diverse sollecitazioni subite dall'ambiente, e sulla loro influenza nel bilancio termico mensile.

Si specifica che i dati climatici sono diversi, nel senso che, DOCET utilizza quelli della UNI 10349:1994, e in *Energy Plus*, si sono adoperati quelli basati sull'anno tipo CTI, come detto nei capitoli precedenti.

9.3. Piano delle simulazioni

La zona termica di tipo residenziale, è stata calcolata negli undici contesti dettagliati al capitolo VI , per i quali, in questa circostanza, risulta particolarmente significativa la differenza tra i valori medi di temperatura esterna e la differenza corrispondente alle caratteristiche dell'apporto solare, che derivano dai dati climatici della UNI 10349: 1994 , e dai dati climatici attualmente disponibili, che sono presenti nella bozza di revisione della UNI 10349: 2012.

Gli stessi contesti meteo climatici sono stati adoperati per le simulazioni dinamiche, per le quali l'anno tipo, attualmente disponibile, è stato opportunamente elaborato ed adattato, come detto al paragrafo 6.5.

Per ricavare i termini del bilancio termico mensile, con il metodo dinamico, ho considerato i seguenti calcoli effettuati con il metodo di simulazione dettagliata :

- caso 0: calcolo ordinario per ricavare $Q_{C,nd,0}$;

- caso 1: come il caso 0, ma con apporti termici interni e solari nulli ed extra flusso termico per irraggiamento ad alta lunghezza d'onda verso la volta celeste nullo, per ricavare $Q_{H,nd,1}$ e $Q_{C,nd,1}$.

Assumendo l' approssimazione indicata nel procedimento, e cioè :

$$Q_{C,ht} = Q_{C,nd,1} ,$$

ho determinato per differenza tra il caso 0 e il caso 1, il termine corrispondente agli apporti:

$$Q_{C,gn} = Q_{C,nd,0} - Q_{C,nd,1} .$$

9.3.1. Il calcolo del caso 1

Per questo calcolo si ripete quanto già riportato in un paragrafo precedente. E cioè, che, la condizione corrispondente agli apporti termici e solari nulli è stata realizzata costruendo nell' .idf di *Energy Plus* una zona termica senza finestre ed imponendo che non vi fossero carichi interni.

Inoltre, per annullare l'extra flusso termico per irraggiamento ad alta lunghezza d'onda verso la volta celeste si è considerata la temperatura della volta celeste, e con un laborioso procedimento iterativo, è stata ottenuta un'ottima corrispondenza tra i valori della temperatura delle superfici esterne e la temperatura della volta celeste, annullando così lo scambio termico corrispondente.

9.4. Risultati delle simulazioni e confronto

I risultati ottenuti mettono in evidenza che il fabbisogno di energia termica per raffrescamento, calcolato con *Energy Plus* è superiore a quello calcolato con il modello semistazionario per tutte le condizioni meteorologiche analizzate.

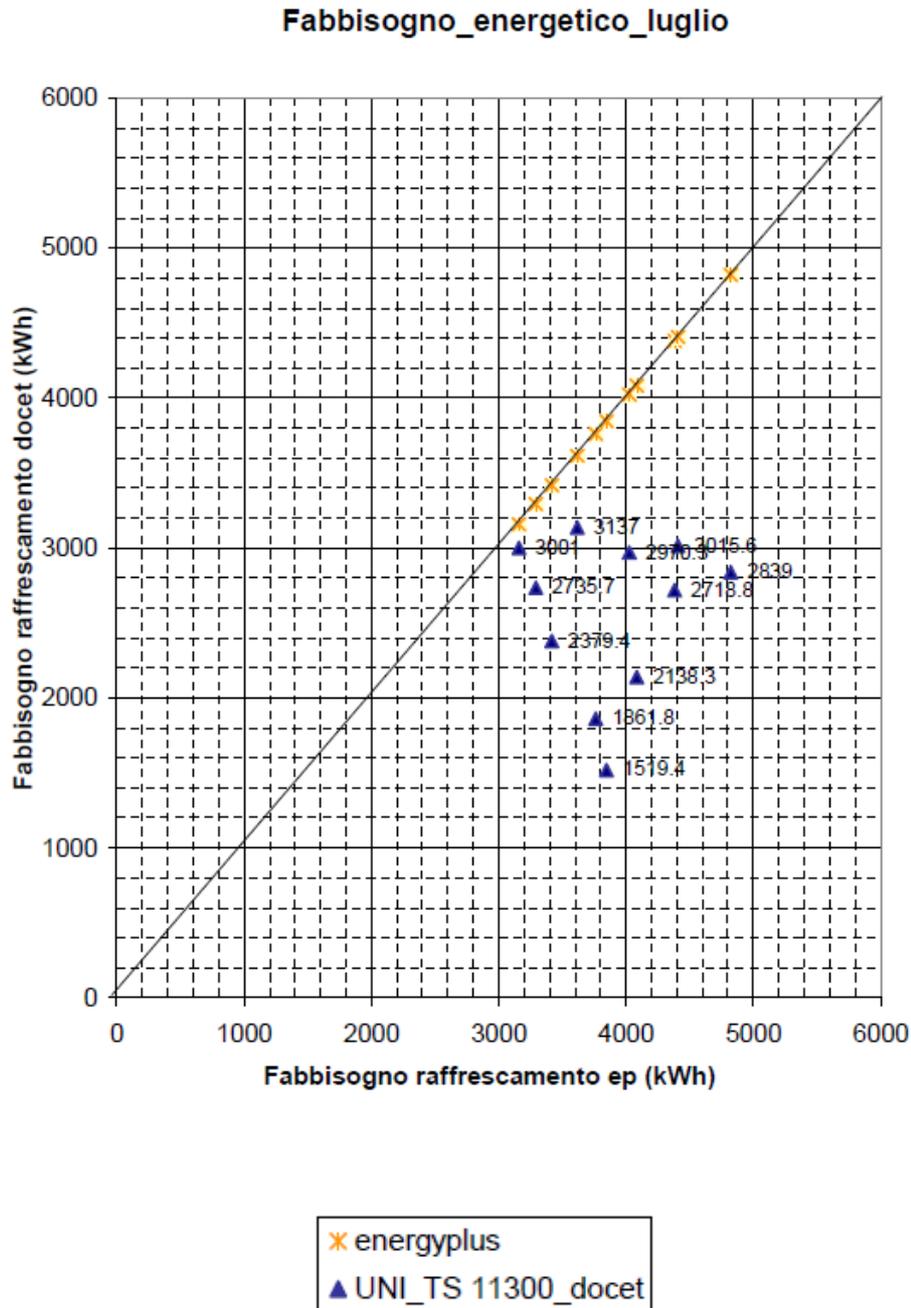


FIG. IX.2. Confronto tra i fabbisogni di energia termica per la zona termica di tipo residenziale, calcolata nelle undici condizioni meteorologiche, mese di luglio.

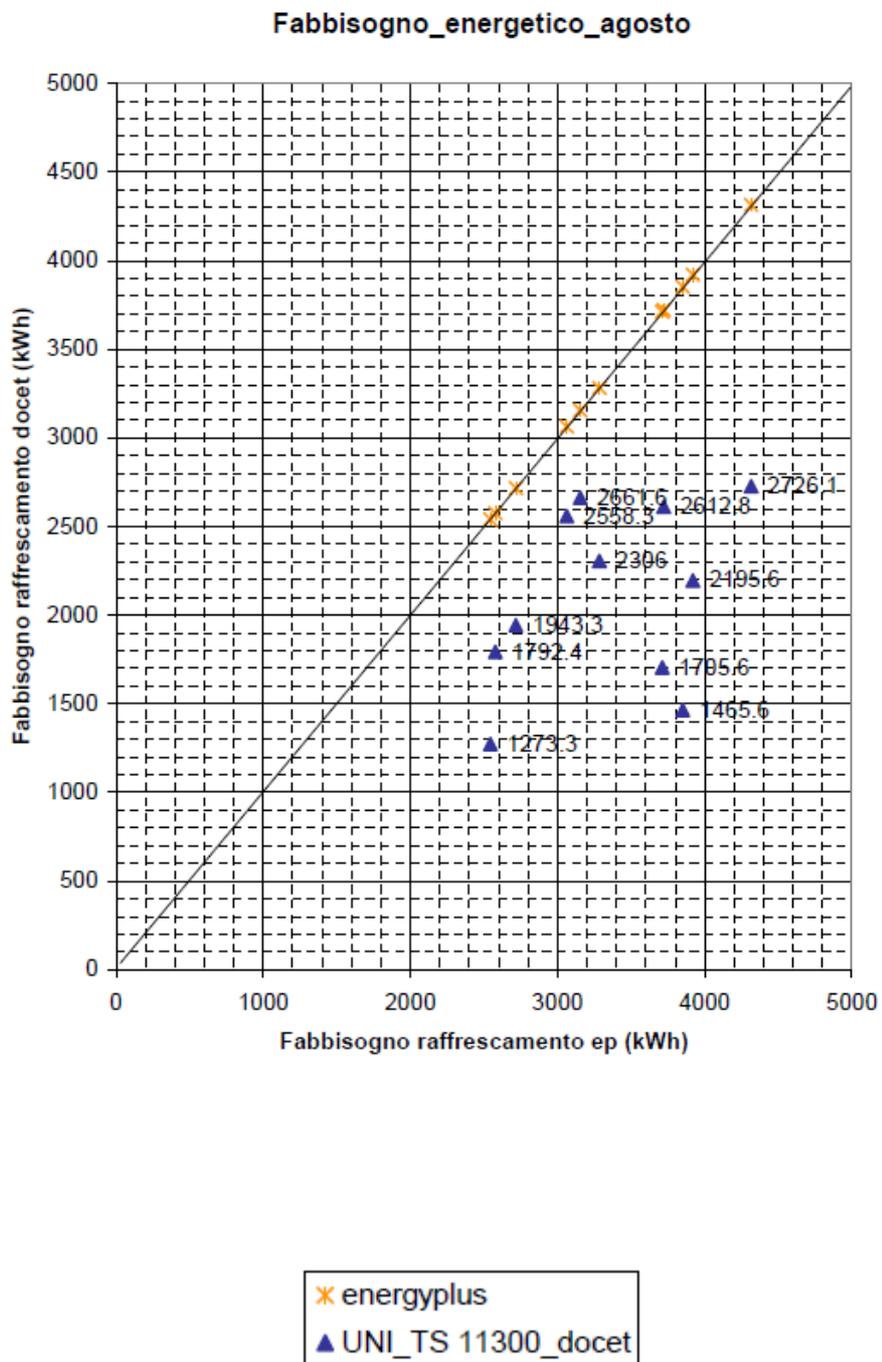


FIG. IX.2. Confronto tra i fabbisogni di energia termica per la zona termica di tipo residenziale, calcolata nelle undici condizioni meteorologiche, mese di agosto.

Confronto dei termini di scambio

I valori dei fabbisogni corrispondenti allo scambio termico per trasmissione e ventilazione, calcolati con il metodo quasi stazionario, risultano alquanto superiori a quelli che si ottengono dalle simulazioni dinamiche. Si nota una certa corrispondenza tra i valori che derivano dal solo scambio per ventilazione, calcolati con DOCET e quelli, globali, che derivano dal calcolo dinamico, come si evince dalla figura e dalle indicazioni presenti nella legenda.

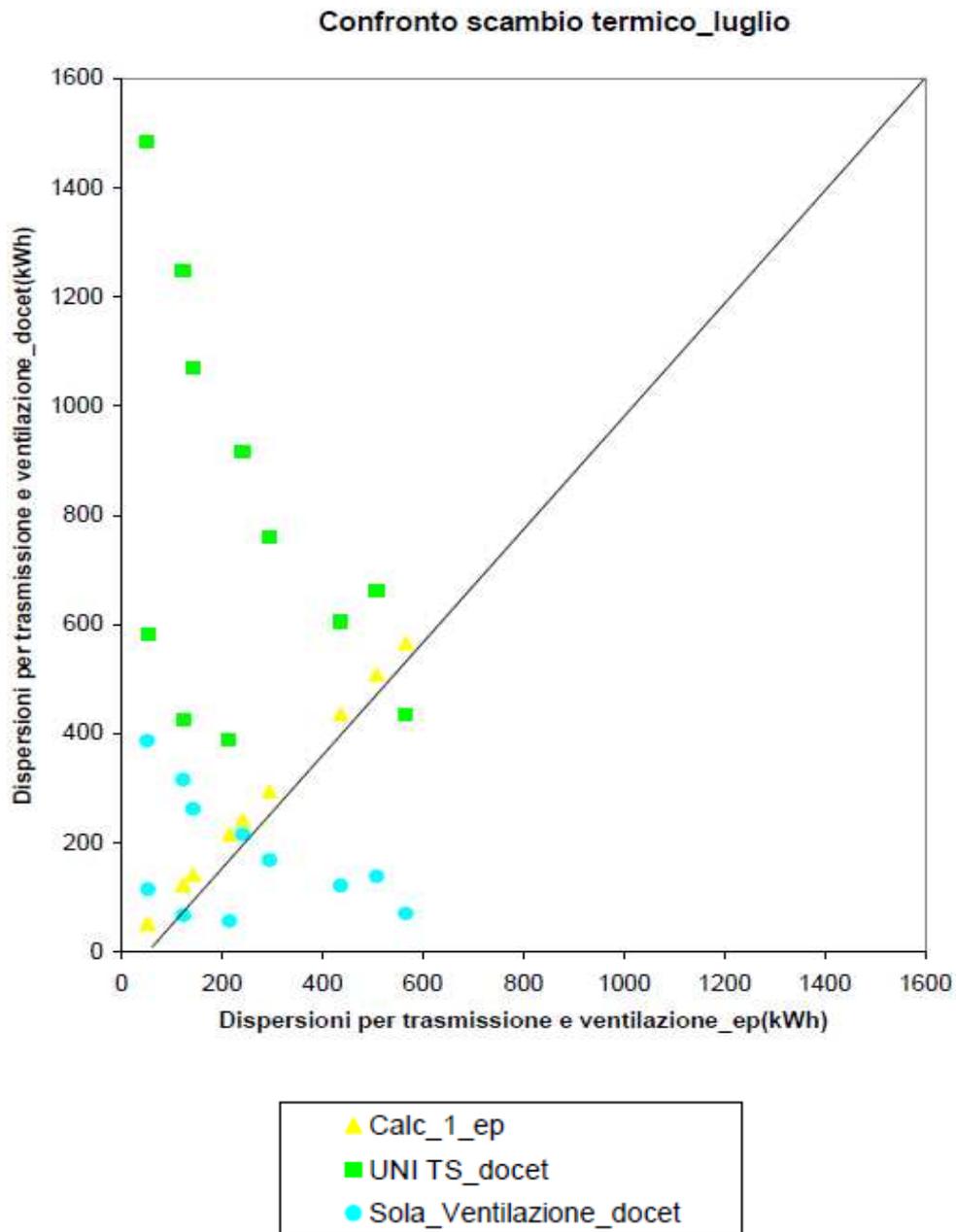


FIG. IX.3. Confronto tra i fabbisogni di energia termica dovuti allo scambio per trasmissione e ventilazione, per la zona termica di tipo residenziale, calcolata nelle undici condizioni meteorologiche, mese di luglio.

Confronto scambio termico

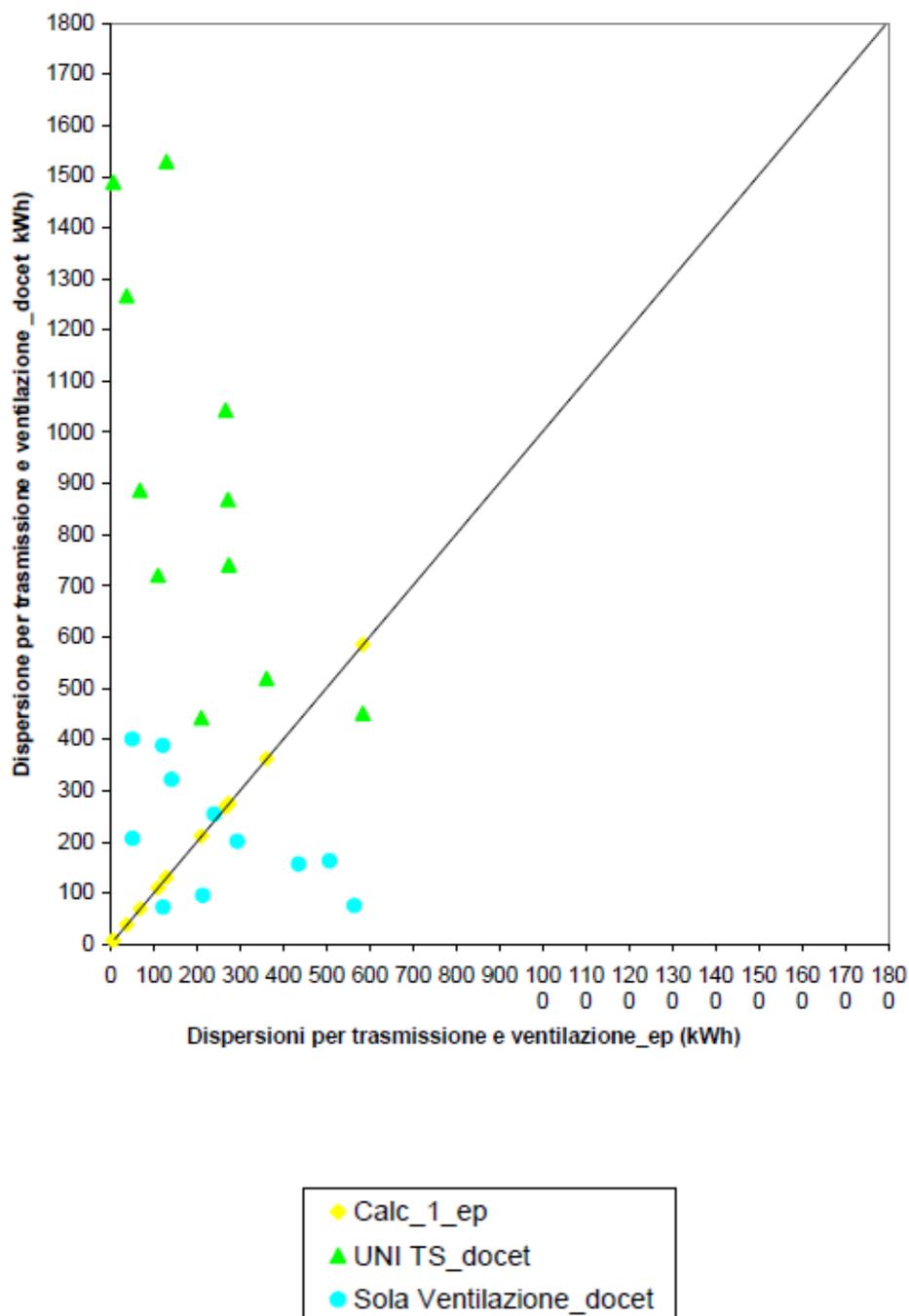


FIG. IX.4. Confronto tra i fabbisogni di energia termica dovuti allo scambio per trasmissione e ventilazione, per la zona termica di tipo residenziale, calcolata nelle undici condizioni meteo climatiche, mese di agosto.

Confronto degli apporti solari

Si sono agevolmente calcolati i termini corrispondenti agli apporti solari, avendo impostato i carichi termici interni. I valori ricavati con Energy Plus e con il metodo quasi stazionario, presentano una interessante convergenza. Infatti per sette località esaminate le differenze sono inferiori al 5%, per una, la differenza è proprio del 5%, le altre presentano differenze comprese tra il 5 ed il 10%.

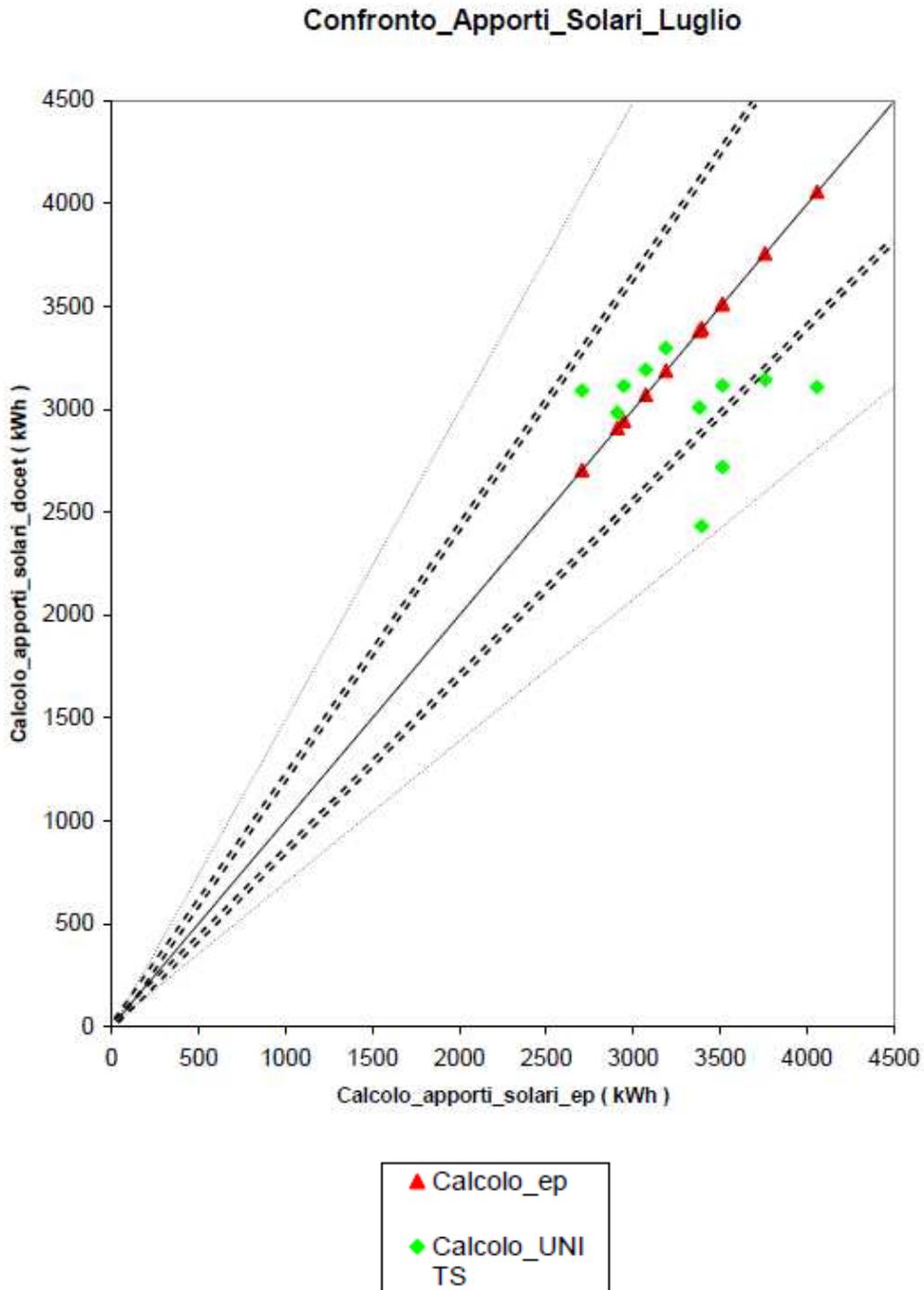


FIG. IX.5. Confronto tra gli apporti solari, per la zona termica di tipo residenziale, calcolata nelle undici condizioni meteorologiche, mese di luglio.

Confronto_Apporti_Solari_Agosto

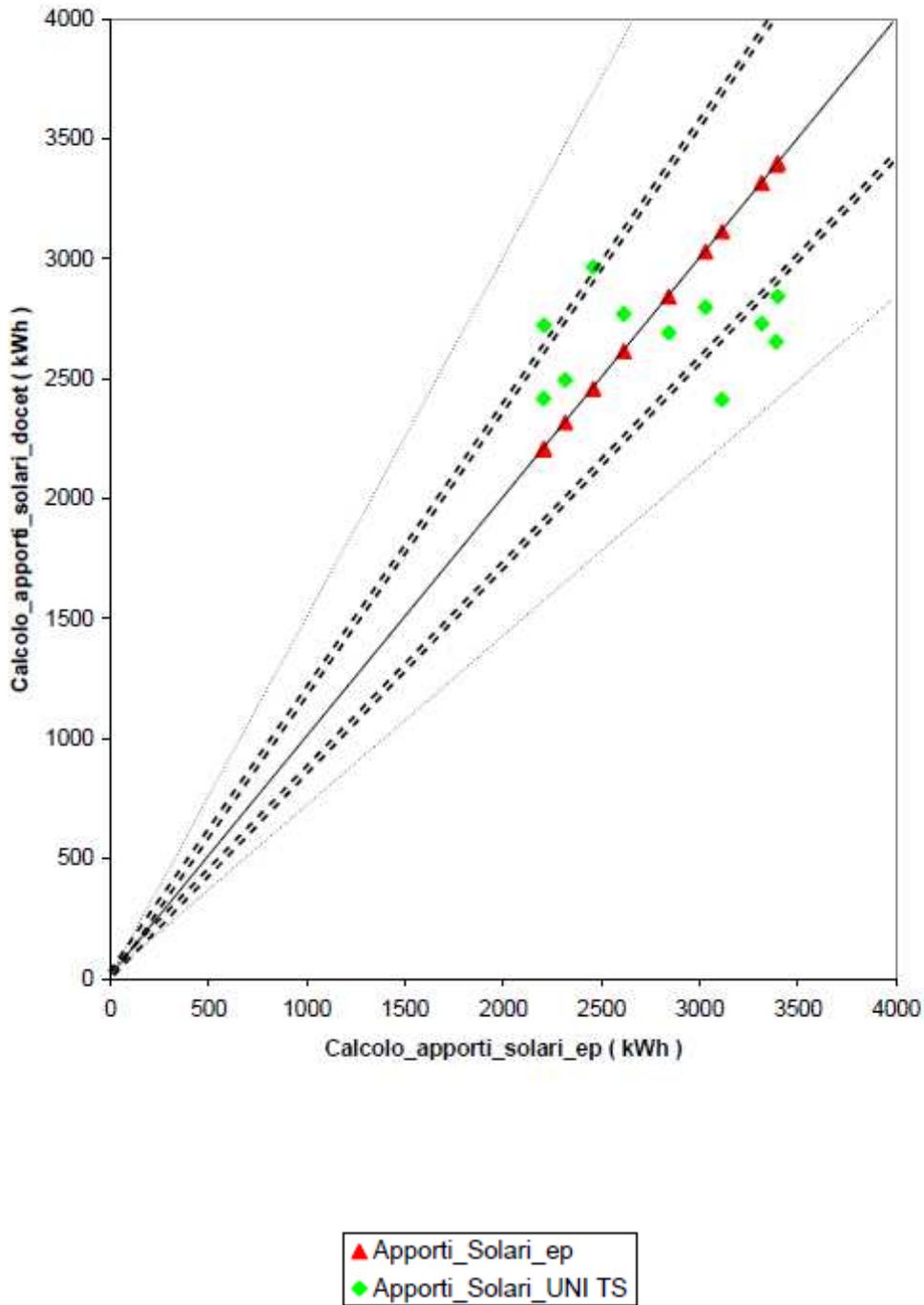


FIG. IX.4. *Confronto tra gli apporti solari, per la zona termica di tipo residenziale, calcolata nelle undici condizioni meteorologiche, mese di agosto.*

9.5. Conclusioni

I nuovi dati climatici comportano valori di fabbisogno, determinati con il metodo dinamico, che sono ampiamente superiori a quelli che derivano dal metodo quasi stazionario, contrariamente a quanto si verificava con i dati climatici basati sui dati “De Giorgio”.

Le temperature operative interne confermano i risultati precedentemente trovati al capitolo VII, donde acquista maggiore significato il confronto tra i singoli termini del bilancio.

Il confronto tra i termini che derivano dal fabbisogno per trasmissione e ventilazione è indicativo che il procedimento quasi stazionario deve essere indagato e ripensato in relazione ai nuovi dati climatici ed alle prescrizioni sulle caratteristiche dell’involucro opaco.

Il confronto tra i termini di apporto solare, assumerà particolare significato, se confermato con l’utilizzo delle condizioni al contorno attualmente disponibili, nel metodo di calcolo quasi stazionario.

CONCLUSIONI

Lo studio sviluppato consente di trarre diverse conclusioni, sia di carattere generale che di carattere particolare, sempre relative all'applicazione del metodo del fattore di utilizzo delle dispersioni, nelle condizioni meteorologiche della nostra nazione.

In termini generali si può concludere che l'equazione di bilancio termico mensile in modalità di raffrescamento del metodo quasi stazionario, che impiega il fattore di utilizzazione delle dispersioni, non fornisce risultati confrontabili con quelli che derivano dalle simulazioni dinamiche condotte con diversi codici di calcolo, e nelle condizioni meteorologiche nazionali.

Inoltre i risultati che si ottengono con il software Docet, lasciano alquanto perplessi, infatti, come detto nel capitolo III, i valori del coefficiente di utilizzazione delle dispersioni sono costantemente elevati, raggiungendo un valore pari a 12, ad esempio, nel mese di luglio e per la città di Verona. Inoltre i valori del fabbisogno netto, si ottengono direttamente dalla differenza tra il valore fornito dalla somma degli apporti interni e solari, meno la somma delle dispersioni per trasmissione e ventilazione. Oltre a ciò, i prospetti dei valori giornalieri del fattore di utilizzazione delle dispersioni, se da un lato si possono "agganciare" a quanto riportato nel paragrafo 4.4. del capitolo IV (Corrado, Fabrizio 2008), dall'altro dequalificano il metodo mensile, perché, il metodo mensile non considera i valori giornalieri del rapporto di bilancio termico e quindi i valori giornalieri del fattore di utilizzazione delle dispersioni.

Per quanto riguarda le conclusioni di carattere particolare si sottolinea la netta differenza tra i valori di temperatura esterna, presenti nell'anno tipo che è disponibile per le simulazioni dinamiche con il codice di calcolo *Energy Plus*, ed i valori forniti dal Comitato Termotecnico Italiano, e ciò, relativamente a tutte le località utilizzate. L'evidente differenza risultante dalle figure riportate nel capitolo VI, per le temperature, si ha anche per il confronto delle altre grandezze che caratterizzano l'anno tipo del CTI.

Con riferimento al fattore di utilizzazione delle dispersioni, in considerazione del significato ad esso attribuito, e strettamente legato ai valori di temperatura interna definiti nelle norme europee e nazionali, i risultati ottenuti e presentati nel capitolo VII, consentono di concludere che il suo utilizzo per la riduzione del termine di scambio termico, non è giustificato.

Infatti, nelle simulazioni in cui il sistema vetrato della zona termica non presenta alcun dispositivo di ombreggiamento, non vi è alcun caso esaminato, tra le undici condizioni meteorologiche analizzate, in cui la temperatura operativa oraria della zona termica, scenda al di sotto del valore di regolazione impostato, secondo cui viene calcolato il fabbisogno termico corrispondente allo scambio (trasmissione e ventilazione), che si utilizza nell'equazione di bilancio (I.14).

Quando la zona termica presenta un sistema vetrato con dispositivo di ombreggiamento, le temperature operative interne, ottenute dalle simulazioni dinamiche, permettono di arrivare alle stesse conclusioni del caso precedente, perché il numero di ore in cui il valore della temperatura interna scende sotto quello della temperatura di regolazione, è nettamente inferiore al numero di ore durante le quali è superiore. Inoltre, la differenza tra i valori di temperatura operativa, quando sono superiori, e quella di regolazione, sono più ragguardevoli della differenza tra i valori di temperatura di regolazione e quella interna, quando questa è inferiore a quella di *set point*.

Sempre per quanto riguarda le conclusioni di carattere particolare, i valori di temperatura operativa ottenuti, interessano il procedimento di derivazione del fattore di utilizzazione . Infatti nell'approccio black-box, per la determinazione del fattore, si veda il paragrafo 5. 5. del capitolo V, il caso 2, deve essere impostato come il caso 0, ma con una temperatura di regolazione bassa (non giustificata dai risultati ottenuti) per il raffrescamento, così che, nella modalità di raffrescamento, tutte le dispersioni siano utilizzate, per ricavare $Q_{C,nd,2}$, analogamente per il caso 3, che insieme al 2 consente la determinazione del termine corrispondente agli apporti, del fattore di utilizzazione e del rapporto di bilancio termico.

In altri termini, in base ai valori di temperatura interna ottenuti, già facendo riferimento al valore di regolazione, tutte le dispersioni risulterebbero sottovalutate e non sopravvalutate, donde anche il procedimento per la determinazione del fattore non trova giustificazione.

Le conclusioni a cui si perviene considerando i contenuti dell'ottavo capitolo sono immediate ed evidenti dai diagrammi in esso presenti, che riportano il confronto dei fabbisogni di energia termica per raffrescamento ottenuti rispetto all'anno tipo basato sui dati De Giorgio con quelli ottenuti con l'anno tipo del CTI, che risultano superiori. I diagrammi consentono di fare una ulteriore osservazione, e cioè che il fabbisogno calcolato con i dati De Giorgio, per ben dieci località è molto vicino al fabbisogno corrispondente al solo termine degli apporti calcolato con i dati del CTI.

In relazione alle analisi presenti nel capitolo IX , si osservano diverse circostanze che fanno riflettere, avendo calcolato i termini del bilancio di energia termica con un codice di simulazione dinamica che utilizza i nuovi dati climatici e con un programma (Docet) che utilizza quelli della UNI 10349:1994.

La prima è relativa al confronto dei termini di scambio che non presentano alcuna corrispondenza e che risultano sopravvalutati da Docet . La seconda è che i valori degli apporti solari calcolati con le due procedure sono notevolmente corrispondenti.

In definitiva, si ritiene che per la determinazione del fabbisogno termico, con un metodo semplificato sia necessaria un'analisi delle variazioni evidenziate dai termini di bilancio, calcolati con i nuovi dati climatici, rispetto ai valori calcolati con un metodo dinamico, con la contestuale individuazione dei parametri collegati, su cui indirizzare gli sforzi di correlazione, totalmente scorporata dal fattore di utilizzazione delle dispersioni.

BIBLIOGRAFIA

ASHRAE. 2007. Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. Standard ANSI/ASHRAE 140. Atlanta: ASHRAE.

ASHRAE. 2009. ASHRAE Handbook - Fundamentals. Atlanta: ASHRAE

Autori vari. 2010 . Manuale d'ausilio alla progettazione termotecnica. Miniguia AICARR. Padova: Servizi grafici editoriali.

Autori vari. 2012 . Introduzione alla simulazione termoenergetica dinamica degli edifici. Guida AICARR. Milano: Editoriale Delfino.

Baggio, P., Gasparella, A., Pernigotto, G., Prada, A., 2011. Summer Load evaluation in the italian climate: sensitivity of the loss utilization factor to the weather data. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney.

Baggio, P., Cappelletti, F., Gasparella, A., Romagnoni, P., 2009. Parametri di valutazione del comportamento estivo dell'involucro opaco. 64° Congresso Nazionale ATI, L'Aquila 8-11 settembre 2009.

Brunello, P., Zecchin, R. 1997. Il bilancio termico e di massa per l'ambiente e l'edificio, in Alfano, G., Filippi, M., Sacchi, E., (a cura di) "Impianti di climatizzazione: dal fabbisogno al collaudo", Masson, Milano, pag. 11-132.

Clarke J.A. 2001. Energy simulation in building design, 2nd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Commissione Europea. 2012. Regolamento Delegato (UE) N. 244/2012 Della Commissione, del 16/01/2012 che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea 21.3.2012. L 81/18 .

Corrado, V., Fabrizio, E. , A simplified calculation method of the annual energy use for space heating and cooling: assessment of the dynamic parameters for the Italian building stock and climate, in: P. Fazio, H. Ge, J. Rao, G. Desmarais (Eds.), Research in Building Physics and Building Engineering, Proceedings of the third International Building Physics Conference IBPC 2006, Montreal, 28–31 August 2006, Taylor & Francis/ Balkema, London, pp. 645–653.

Corrado, V., Fabrizio, E. 2008. Il significato del fattore di utilizzazione nel calcolo semplificato del fabbisogno termico degli edifici: aspetti teorici e applicativi. Convegno AiCARR. Bologna.

Corrado, V., Fabrizio, E., 2006. Assessment of building cooling energy need through a quasi-steady state model: Simplified correlation for gain-loss mismatch. *Energy and Buildings*, 39 (2007), pp. 569–579.

Crawley D.B., Lawrie L., Pedersen C.O., et al. 2001. EnergyPlus: creating a new generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, 33(4),319-31.

CTI. 2012. Ancona: Calcolo dell'anno meteorologico caratteristico secondo norma UNI EN ISO 15927-4. Milano: Comitato Termotecnico Italiano.

CTI. 2012. Bari: Calcolo dell'anno meteorologico caratteristico secondo norma UNI EN ISO 15927-4. Milano: Comitato Termotecnico Italiano.

CTI. 2012. Bolzano: Calcolo dell'anno meteorologico caratteristico secondo norma UNI EN ISO 15927-4. Milano: Comitato Termotecnico Italiano.

CTI. 2012. Cagliari: Calcolo dell'anno meteorologico caratteristico secondo norma UNI EN ISO 15927-4. Milano: Comitato Termotecnico Italiano.

CTI. 2012. Firenze: Calcolo dell'anno meteorologico caratteristico secondo norma UNI EN ISO 15927-4. Milano: Comitato Termotecnico Italiano.

CTI. 2012. Milano: Calcolo dell'anno meteorologico caratteristico secondo norma UNI EN ISO 15927-4. Milano: Comitato Termotecnico Italiano.

CTI. 2012. Palermo: Calcolo dell'anno meteorologico caratteristico secondo norma UNI EN ISO 15927-4. Milano: Comitato Termotecnico Italiano.

CTI. 2012. Potenza: Calcolo dell'anno meteorologico caratteristico secondo norma UNI EN ISO 15927-4. Milano: Comitato Termotecnico Italiano.

CTI. 2012. Rimini: Calcolo dell'anno meteorologico caratteristico secondo norma UNI EN ISO 15927-4. Milano: Comitato Termotecnico Italiano.

CTI. 2012. Roma: Calcolo dell'anno meteorologico caratteristico secondo norma UNI EN ISO 15927-4. Milano: Comitato Termotecnico Italiano.

CTI. 2012. Verona: Calcolo dell'anno meteorologico caratteristico secondo norma UNI EN ISO 15927-4. Milano: Comitato Termotecnico Italiano.

Decreto Ministeriale 26 giugno 2009, Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. *Gazzetta Ufficiale Della Repubblica Italiana Serie generale 10-7-2009 n. 158.*

DOCET. 2009. Software di Diagnosi e Certificazione Energetica di Edifici Residenziali Esistenti. Versione 2.09.11.02 . Manuale Utente. ITC-CNR ed ENEA.

Documento CTI 010200043. DRAFT , Revisione della specifica tecnica UNI/TS 11300-1: Prestazioni energetiche degli edifici-Parte 1:Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. 20/03/2012, Milano.

Documento CTI 010209017. Appendice A del prUNI 10349-1 Metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata. 10/05/2011, Milano.

Documento CTI 010209023. DRAFT , prUNI 10349-1 Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici. 03/07/2012, Milano.

Ellis P.G., Torcellini PA, Crawley D.B., Simulation of energy management systems in EnergyPlus. Proc of Building Simulation 2007, Beijing, 1346-1353.

EnergyPlus. 2012. Version 7.1. US Department of Energy.

EnergyPlus. 2012. Version 7.1. Engineering Reference. US Department of Energy.

EnergyPlus. 2012. Version 7.1. Gettin Starter. US Department of Energy.

EnergyPlus. 2012. Version 7.1. Input/Output Reference. US Department of Energy.

EnergyPlus. 2012. Version 7.1. Output Details. US Department of Energy.

Gasparella, A., Pernigotto, G., 2010. Analisi comparativa dei codici di simulazione dinamica degli edifici: confronto tra Trnsys ed EnergyPlus.

Jan L. M. Hensen, Roberto Lamberts, Building performance simulation for design and operation. London: Taylor & Francis.

Judkoff, R., Neymark. J. 1995. International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method, Golden: National Renewable Energy Laboratory.

Malkawi A., Augenbroe G. 2004. Advanced building simulation. Prague: Spon Press.

Mazzarella, L. 1997 "Dati Climatici "G. De Giorgio", Atti Giornata di studio a memoria "Giovanni de Giorgio", Dipartimento di Energetica, Politecnico di Milano, Milano.

Mazzarella, L. "Definizione degli archetipi di edificio climatizzato ai fini delle valutazioni comparative tra diversi modelli per la stima del fabbisogno energetico estivo", Rapporto R1 - Cofin Murst 1998, Politecnico di Milano, Milano, settembre 2000.

Mazzarella, L. "Modello quasi-stazionario per la stima del fabbisogno energetico utile di raffrescamento", Rapporto R3 - Cofin Murst 1998, Politecnico di Milano, Milano, ottobre 2000.

NEN 2916:1994 "Energy Performance of Non-Residential Buildings – Determination Method", Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, The Netherlands, 1994.

Olgay , V., 1990. Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico. Franco Muzzio Editore.

Parlamento Europeo. 2009. Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e

successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea 5.6.2009. L 140/16 .

Parlamento Europeo. 2010. Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea 18.6.2010. L 153/13 .

Rubini, L., Di Veroli, M., Calabria, A., Sangiorgio, S., Orsini, G., Lavra, M., Habib, G. .Analisi per la definizione degli indici di severità climatica. Report RSE/2009/205

Schibuola, L. “Valutazione semplificata del fabbisogno energetico estivo degli edifici”, CDA, N.2, febbraio 1999, pg.131-138.

Spitler J.D. 2009. Load calculation applications manual. Atlanta: ASHRAE

TRNSYS 2005 – A Transient Simulation Program, Version 16, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin- Madison, USA.

Underwood C.P., Yik F. 2004. Modelling methods for energy in buildings. Oxford: Wiley-Blackwell

UNI. 1983. Energia solare. Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia. Valutazione dell'energia raggiante ricevuta. Norma UNI 8477-1:1983 Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2005. Prestazione termica degli edifici. Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione. Criteri generali e procedure di validazione. Norma UNI EN ISO 13791. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2008. Ponti termici in edilizia. Coefficiente di trasmissione termica lineica. Metodi semplificati e valori di riferimento. Norma UNI EN ISO 14683. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2008. Ponti termici in edilizia. Flussi termici e temperature superficiali. Calcoli dettagliati. Norma UNI EN ISO 10211. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2008. Prestazione energetica degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento. Norma UNI EN ISO 13790. Milano: Ente Italiano di unificazione.

UNI. 2008. Prestazione energetica degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti mediante metodi dinamici. Criteri generali e procedimenti di validazione. Norma UNI EN 15265. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2008. Prestazione energetica degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. Norma UNI/TS 11300-1. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2008. Prestazione energetica degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria. Norma UNI/TS 11300-2. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2008. Prestazione termica degli edifici. Trasferimento di calore attraverso il terreno. Metodi di calcolo. Norma UNI EN ISO 13370. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2008. Prestazione termica dei componenti per edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo. Norma UNI EN ISO 13786. Milano: Ente Italiano di unificazione.

UNI. 2008. Ventilazione degli edifici. Calcolo delle temperature dei locali, del carico termico e dell'energia per edifici dotati di impianto di climatizzazione degli ambienti. Norma UNI EN 15243. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

Van Dijk, D. , Spiekman, M.E. Monthly method to calculate cooling demand of EP regulations, CEN/TC89 N870, Brussels, 17 June 2003.

Van Dijk, D., Spiekman, M.E., de Wilde, P. 2004. Monthly method to calculate cooling demand of EP regulations, CEN/TC89 N870.

Van Dijk, D. , Spiekman, M.E. P. de Wilde, A monthly method for calculating energy performance in the context of European building regulations, in: M. van der Voorden, L. Itard, P. de Wilde(Eds.), Building Simulation 2005, Proceedings of the Ninth International IBPSA Conference, Montreal, 15–18 August, 2005.

Venier, G. A. , Saro, O. , Metodi semplificati per il calcolo del fabbisogno energetico estivo, 61° Congresso Nazionale ATI, Perugia 12-15 settembre 2006.

Waltz J.P.1999. Computerized building energy simulation handbook. Lilburn: Fairmont Press.

Warren P. 2002.Bringing Simulation to Application. Technical Synthesis Report IEA ECBCS Annex 30. Birmingham: Faber Maunsell Ltd.

SITOGRAFIA

<http://www.tess-inc.com/services/leed>

<https://sam.nrel.gov/>

<http://aiguasol.coop/en/transol-3/>

<http://www.tess-inc.com/projects/type#software>

<http://www.tess-inc.com/projects/type#software>

<http://sel.me.wisc.edu/trnsys/demos/demo.html>

<http://www.transsolar.com/-software/docs/trnsyslite/trnsyslite-uebersicht-en.htm>

[http://sel.me.wisc.edu/trnsys/downloads/tutorials - and - examples/ tutex17.htm](http://sel.me.wisc.edu/trnsys/downloads/tutorials-and-examples/tutex17.htm)

<https://mailman.cae.wisc.edu/listinfo/trnsys-users>

sel.me.wisc.edu/trnsys/trnlib

sel.me.wisc.edu/trnsys/trnlib/stec/stec.htm

www.trnsys.de
www.trnsys.com
<http://windows.lbl.gov/software/window/window.html>
<http://gundog.lbl.gov/GO/>
<http://sel.me.wisc.edu/trnsys/demos/genopt-type56.pdf>
<http://www.bfrl.nist.gov/IAQanalysis/CONTAM/index.htm>
<http://sel.me.wisc.edu/trnsys/trnlib/library15.htm#Links>
<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/testing.cfm>
<http://simulationresearch.lbl.gov/projects/gui>
www1.eere.energy.gov/buildings/commercialinitiative/reference-buildings.html

