



Agenzia nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Prima applicazione dell'indice di severità climatica "All Weather" per la definizione delle zone climatiche dell'Italia per la regolamentazione dei consumi energetici derivanti dalla climatizzazione estiva degli edifici

L. Terrinoni, P. Signoretti, D. Iatauro, C. Romeo, A. Federici

PRIMA APPLICAZIONE DELL'INDICE DI SEVERITA' CLIMATICA "ALL WEATHER" PER LA DEFINIZIONE DELLE ZONE CLIMATICHE DELL'ITALIA PER LA REGOLAMENTAZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI DERIVANTI DALLA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA DEGLI EDIFICI

L. Terrinoni, P. Signoretti, D. Iatauro, C. Romeo, A. Federici

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Usi Finali

Tema: "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

Responsabile Tema: Gaetano Fasano, ENEA.

PRIMA APPLICAZIONE DELL'INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA "ALL WEATHER" PER LA DEFINIZIONE DELLE ZONE CLIMATICHE DELL'ITALIA PER LA REGOLAMENTAZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI DERIVANTI DALLA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA DEGLI EDIFICI.

Luciano Terrinoni, Paolo Signoretti, Domenico Iatauro, Carlo Romeo, Alessandro Federici

Sommario

Il recepimento in Italia della Direttiva Europea 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico in edilizia, attraverso l'emanazione del Dlgs.192/05 e del successivo Dlgs.311/06, prevede la certificazione energetica in edilizia. La certificazione si traduce, tra l'altro, nella valutazione di un parametro, il fabbisogno di energia primaria specifico della costruzione, e nella successiva assegnazione, in funzione del valore di tale parametro, della costruzione a una classe di efficienza energetica. Al momento sono stati fissati i limiti al fabbisogno solo per quanto riguarda la climatizzazione invernale. Il territorio nazionale è stato suddiviso, infatti, in zone climatiche invernali in conformità a un indice di severità climatica definito dai gradi-giorno invernali e sono stati individuati i valori limite del fabbisogno energetico su tale base. La diffusione dei sistemi di condizionamento estivi, con il conseguente aumento dei consumi energetici, rende necessario procedere, anche in tal caso, alla definizione di zone climatiche estive contraddistinte da un indice di severità climatica estivo. La definizione di questo indice estivo presenta maggiori difficoltà rispetto al corrispondente indice invernale giacché le variabili climatiche di cui tenere conto sono più numerose e più complesse da valutare. In un precedente lavoro è stata proposta una definizione operativa di questo indice, utile per la classificazione del territorio nazionale in zone climatiche estive e per la determinazione dei valori limite del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva. La definizione proposta comprende anche il caso invernale e consente quindi una uniformità nella classificazione indipendentemente dal periodo climatico dell'anno. Nel presente lavoro si espongono i risultati di una prima applicazione di tale indice al caso estivo e si propone una conseguente classificazione del territorio italiano.

Parole chiave: edilizia, rendimento energetico, certificazione, indice di severità climatica, gradi-giorno estivi

FIRST APPLICATION OF THE INDEX OF CLIMATIC SEVERITY "ALL WEATHER" FOR THE DEFINITION OF ITALIAN CLIMATIC ZONES FOR THE REGULATION OF THE ENERGY CONSUMPTIONS DERIVING FROM THE AIR CONDITIONING OF THE BUILDINGS.

Summary

The application in Italy of the European Directive 2002/91/CE, about the energy performance of buildings, through the emanation of the Dlgs.192/05 and Dlgs.311/06, provide for the energy certification in building. The certification means, between the other, the calculation of a parameter, the building specific requirement of primary energy, and the successive allocation of the building, as function of the value of such parameter, to a certain energy efficiency class. At the moment just limits to the requirements for winter air conditioning have been fixed. The national territory has been subdivided, in fact, in winter climatic zones in compliance with an index of climatic severity (heating degree-day) and limit values for the energy requirements has been set. The spread of the summer air conditioning systems, with the consequent increase of the energy consumptions, renders necessary to proceed, also in such case, to the definition of summer climatic zones by a summer index of climatic severity. The summer index definition involves greater difficulties regarding the correspondent winter index since climatic variables, in this case, are more numerous and complex to estimate. In a previous report an operating definition of such index has been proposed, useful for the classification of the national territory in summer climatic zones and for the determination of the limit values of the energy requirements for the summer air conditioning. The proposed definition comprises also the winter case and permits, therefore, the needed uniformity in the classification, independently from the climatic period of the year. In the present report are exposed the results of the first application of such index to the summer case and a consequent classification of the Italian territory is proposed.

Keywords: buildings, energy performance, certification, climatic index, cooling degree-day

INDICE

LA DEFINIZIONE DELL' INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA	7
Il sistema edificio-impianto	7
Il contributo dell'inerzia termica del sistema edificio-impianto.....	10
LO STUDIO DEL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO COME SISTEMA FISICO NON LINEARE	19
LA PROCEDURA DI PRIMO TEST DELL'INDICE	21
I MODELLI DI EDIFICIO DI TEST CONSIDERATI.....	23
La descrizione dell'edificio.....	23
Ipotesi di calcolo e set-point	25
Il modello per le simulazioni dinamiche.....	26
<i>Lettura ed elaborazione dati climatici</i>	27
<i>Descrizione e calcolo fenomeni fisici</i>	27
<i>Descrizione sistema edificio-impianti e carichi termici</i>	28
LA SCELTA DEL PERIODO DI OSSERVAZIONE DEL SISTEMA.....	29
La finestra temporale	29
LE VARIABILI CLIMATICHE IN ITALIA	30
L'analisi dei gruppi (cluster analysis).....	30
<i>Cenni teorici e definizioni</i>	30
<i>Le variabili considerate</i>	32
<i>I gruppi</i>	34
La scelta delle località di test	39
<i>Il campione</i>	39
LE ELABORAZIONI DEI DATI CLIMATICI	43
Vettore climatico locale <i>ridotto</i>	43
<i>Definizione</i>	43
Vettore climatico locale <i>ridotto</i> e vettore climatico locale <i>ridotto standard</i>	45
L'elaborazione dei dati climatici del campione delle località	46
La <i>robustezza</i> dell'indice di severità climatica <i>C</i> rispetto alle variabili climatiche	49
I RISULTATI DELLE SIMULAZIONI TRN _{sys} 16.....	51
Le variabili climatiche	51
Energia e potenza per la climatizzazione estiva.....	54
Energia normalizzata	70
Analisi di sensibilità.....	75

LE ELABORAZIONI DEI RISULTATI.....	76
Il criterio di elaborazione dei risultati	76
I risultati elaborati	78
LA VALUTAZIONE DELL'INDICE	81
LA CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO.....	87
I problemi della classificazione in generale.....	87
Scelta del criterio di classificazione.....	88
<i>Criterio del 2σ</i>	88
<i>Criterio del quantile</i>	90
La classificazione del territorio italiano sulla base dell'indice di severità climatica estiva	92
<i>Classe climatica estiva - Province (Norma UNI 10349)</i>	93
<i>Classe climatica estiva- Province (Norma UNI 10349) e Regioni</i>	94
<i>Classe climatica estiva - tabella riassuntiva</i>	95
<i>Classe climatica estiva – Mappa dei Capoluoghi di provincia (Norma UNI 10349)</i>	96
OSSERVAZIONI FINALI E SVILUPPI FUTURI	97
CONCLUSIONI	99
BIBLIOGRAFIA	100
RIFERIMENTI	100
APPENDICI.....	101
a) Type 54 - Weather Generator - Data Input (UNI 10349) per le 20 località di test	101
b) TRNSYS input file (deck) generato da TrnsysStudio	103
c) File dati input TRNbuild, descrizione edificio non isolato: Casi Q1 - Q2.....	108
d) File dati input TRNbuild, descrizione edificio isolato: Casi Q3 - Q4	117

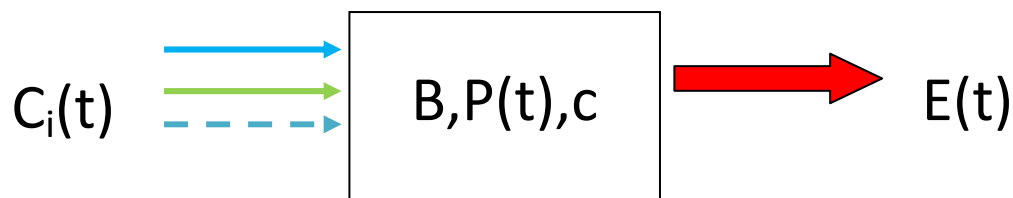
Age quod Agis.....

(ORAZIO, 65 a.C - 8 a.C.)

LA DEFINIZIONE DELL' INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA

IL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO

Nei reports precedenti [1,2], si era visto che il sistema edificio-impianto era rappresentabile come un sistema a più ingressi, costituiti da i variabili climatiche $C_i(t)$, e a una sola uscita costituita dall'energia $E(t)$ necessaria per mantenere il *set-point* c delle condizioni climatiche interne del sistema:



Le caratteristiche costruttive, sia termiche sia di altra natura, dell'edificio erano rappresentate dalla funzione B , le condizioni climatiche interne di *set-point* erano descritte dalla c , entrambi indipendenti dalla variabile tempo t , mentre le caratteristiche dell'impianto termico erano individuate dalla funzione $P(t)$ del tempo che ne rappresentava la potenza.

Sistemi dinamici (sistemi MISO, Multiple Input Single Output) di tal genere sono studiabili, normalmente, come sistemi lineari del primo ordine, modellabili cioè con equazioni differenziali ordinarie lineari a coefficienti costanti del primo ordine giacché la risposta del sistema reale ha costante di tempo sufficientemente grande (sistema “lento”) e, contemporaneamente, le variabili d'ingresso hanno un basso contenuto di armoniche.

Pur esistendo ben consolidate e collaudate procedure d'identificazione e analisi di sistemi siffatti, insieme con applicazioni software *general-purpose* o dedicate per lo studio dell'evoluzione nel tempo delle variabili di sistema, si voleva nel report [1], invece, identificare il sistema tramite le sole grandezze integrali delle variabili.

Analizzando i flussi energetici che interessano un qualsiasi edificio, si era pervenuti alle seguenti espressioni dell'energia necessaria per la climatizzazione dell'edificio in un prefissato periodo T e sotto specificate condizioni e ipotesi semplificative.

Riscaldamento invernale:

L'energia necessaria nel periodo era:

$$E_T = \int_T P dt = U_{eq} S \int_T (\theta_i - \theta_e) dt + \rho n V c_p \int_T (\theta_i - \theta_e) dt + \rho n V r_0 \int_T (x_i - x_e) dt - \hat{S}_R \int_T (I_0 - I_{0,ref}) dt$$

Condizionamento estivo:

L'energia necessaria nel periodo era:

$$E_T = \int_T P dt = U_{eq} S \int_T (\theta_e - \theta_i) dt + \rho n V c_p \int_T (\theta_e - \theta_i) dt + \rho n V r_0 \int_T (x_e - x_i) dt + \hat{S}_R \int_T (I_0 - I_{0,ref}) dt$$

Con la definizione delle variabili climatiche integrali seguente:

$$\Theta = \frac{1}{T} \int_T (\theta_i - \theta_e) dt \quad \text{per } \theta_i \geq \theta_e \quad \text{oppure} \quad \Theta = \frac{1}{T} \int_T (\theta_e - \theta_i) dt \quad \text{per } \theta_e \geq \theta_i$$

$$X = \frac{1}{T} \int_T (x_i - x_e) dt \quad \text{per } x_i \geq x_e \quad \text{oppure} \quad X = \frac{1}{T} \int_T (x_e - x_i) dt \quad \text{per } x_e \geq x_i$$

$$Y = \frac{1}{T} \int_T (I_0 - I_{0,ref}) dt \quad \text{per } I_0 \geq I_{0,ref}$$

dove $\{\theta_i, x_i, I_{0,ref}\}$ erano i valori di *set-point* e di riferimento.

Si poteva allora scrivere:

Riscaldamento invernale

$$\frac{E_T}{VT} = \left[U_{eq} \frac{S}{V} + \rho n c_p \right] \Theta + \rho n r_0 X - \frac{\hat{S}_R}{V} Y$$

Condizionamento estivo:

$$\frac{E_T}{VT} = \left[U_{eq} \frac{S}{V} + \rho n c_p \right] \Theta + \rho n r_0 X + \frac{\hat{S}_R}{V} Y$$

con:

θ_e	temperatura dell'aria esterna	r_0	entalpia di vaporizzazione dell'acqua a 0°C
θ_i	temperatura dell'aria interna	ρ	densità dell'aria secca
I_0	potenza radiante su superficie orizzontale	n	numero di ricambi nell'unità di tempo
$I_{0,ref}$	potenza radiante su superficie orizzontale di riferimento	V	volume interno dell'edificio
x_e	titolo di miscela dell'aria esterna	S	superficie disperdente dell'edificio
x_i	titolo di miscela dell'aria interna	U_{eq}	trasmittanza equivalente dell'edificio
c_p	calore specifico a pressione costante dell'aria secca	\hat{S}_R	superficie orizzontale equivalente edificio

In forma più compatta:

$$\frac{E_T}{VT} = \mathcal{E} = \mathcal{A}\Theta + \mathcal{B}X \pm \mathcal{C}Y$$

ovvero

$$C = \frac{\mathcal{E}}{\sqrt{\mathcal{A}^2 + \mathcal{B}^2 + \mathcal{C}^2}} = \frac{\mathcal{A}}{\sqrt{\mathcal{A}^2 + \mathcal{B}^2 + \mathcal{C}^2}} \Theta + \frac{\mathcal{B}}{\sqrt{\mathcal{A}^2 + \mathcal{B}^2 + \mathcal{C}^2}} X \pm \frac{\mathcal{C}}{\sqrt{\mathcal{A}^2 + \mathcal{B}^2 + \mathcal{C}^2}} Y$$

e anche, introducendo i due vettori caratteristici e considerando il caso estivo:

$$\begin{aligned} \vec{V}_B &= \mathcal{A}\vec{i} + \mathcal{B}\vec{j} + \mathcal{C}\vec{k} && \text{vettore edificio} \\ \vec{V}_C &= \Theta\vec{i} + X\vec{j} + Y\vec{k} && \text{vettore climatico} \end{aligned}$$

sotto forma di prodotto scalare dei vettori

$$\mathcal{E} = \vec{V}_B \cdot \vec{V}_C$$

Esplicitando il prodotto scalare

$$\mathcal{E} = \vec{V}_B \cdot \vec{V}_C = |\vec{V}_B| |\vec{V}_C| \cos(\alpha - \beta)$$

si otteneva

$$C = \frac{\mathcal{E}}{\sqrt{\mathcal{A}^2 + \mathcal{B}^2 + \mathcal{C}^2}} = \cos(\alpha - \beta) \sqrt{\Theta^2 + X^2 + Y^2}$$

dove $(\alpha - \beta)$ era l'angolo tra i due vettori.

Il fattore C così definito rappresentava l'energia di climatizzazione normalizzata con le caratteristiche globali dell'edificio, indipendente quindi da queste, a meno di una piccola dipendenza da β , ma dipendente dalle caratteristiche climatiche globali ed era il candidato proposto per rappresentare l'indice di severità climatica *pratico* utile per la classificazione delle zone climatiche estive su un territorio.

Nel report [1] si definiva, infatti, un indice di severità climatica *teorico* che doveva rispettare alcune *stringenti condizioni*: solo se le variabili climatiche fossero state completamente separate o separabili dalle variabili connesse con le caratteristiche dell'edificio tali condizioni sarebbero state soddisfatte. A fronte di un'impossibilità teorica di costruzione di un indice siffatto, dimostrata in [1], si è individuata e proposta una possibile soluzione *ingegneristica* al problema definendo il corrispondente indice pratico anzidetto.

Per proseguire il ragionamento è il caso adesso di fare alcune considerazioni e precisazioni.

IL CONTRIBUTO DELL'INERZIA TERMICA DEL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO

Nello scrivere il bilancio dell'energia del *sistema edificio- impianto* per l'intervallo di tempo T , insieme alle altre ipotesi semplificative, non era stato considerato esplicitamente il termine relativo all'accumulo di energia nella massa del sistema; tale contributo era non essenziale per l'introduzione e la definizione successiva dell'indice di severità climatica e la sua esclusione rendeva più lineare l'esposizione del complesso problema.

Considerando questo termine, la nuova equazione di bilancio sarà allora:

$$E_T = \int_T P dt = U_{eq} S \int_T (\theta_i - \theta_e) dt + \rho_n V c_p \int_T (\theta_i - \theta_e) dt + \rho_n V r_0 \int_T (x_i - x_e) dt \pm \hat{S}_R \int_T (I_0 - I_{0,ref}) dt + \\ + \rho_M v_M c_{p,M} \int_T d(\theta_M - \theta_{0,M}) + \rho_A v_A c_{p,A} \int_T d(\theta_A - \theta_{0,A})$$

con:

- θ_M densità equivalente dell'involucro edilizio (media pesata con i volumi)
- v_M volume dell' involucro edilizio
- c_{pM} calore specifico equivalente dell'involucro edilizio (media pesata con i volumi)
- θ_M temperatura dell'involucro edilizio
- ρ_A densità equivalente degli elementi diversi dall'involucro edilizio (media pesata con i volumi)
- v_A volume degli elementi diversi dall' involucro edilizio
- c_{pA} calore specifico equivalente degli elementi diversi dall'involucro edilizio (media pesata con i volumi)
- θ_A temperatura degli elementi diversi dall'involucro edilizio
- θ_0 temperatura iniziale

La temperatura assunta dall'involucro edilizio, θ_M , si situerà a un valore intermedio tra la temperatura esterna θ_e e la temperatura interna θ_i , sbilanciata più verso l'una o verso l'altra a seconda della posizione e delle caratteristiche di trasmittanza degli eventuali strati isolanti. Nel caso di involucro con caratteristiche termiche uniformi (monostrato) la θ_M sarebbe la media aritmetica delle due temperature. Tutto questo ci autorizza a dire che, in generale e nello spirito di questa trattazione integrale del problema, si potrà porre:

$$\theta_M = a\theta_i + b\theta_e \quad \text{con } a + b = 1 \quad e \quad b > a$$

$$\theta_{0,M} = a'\theta_{i,0} + b'\theta_{e,0} \quad \text{con } a' + b' = 1 \quad e \quad b' > a'$$

con ovvio significato dei simboli.

Analogamente le temperatura assunta dagli elementi interni all'involucro edilizio si potrà scrivere come:

$$\theta_A = c\theta_i + d\theta_e \quad \text{con } c + d = 1 \quad e \quad d > c$$

$$\theta_{O,A} = c'\theta_{i,O} + d'\theta_{e,O} \quad \text{con } c' + d' = 1 \quad e \quad d' > c'$$

Per il principio di similarità e linearità degli effetti e nello spirito della presente trattazione, si potrà, senza perdere in generalità, affermare che:

$$a \cong a' \quad b \cong b'$$

$$c \cong c' \quad d \cong d'$$

questa assunzione semplificata, infatti, solo la trattazione successiva, ma non è essenziale.

Di conseguenza

$$(\theta_M - \theta_{O,M}) = a(\theta_i - \theta_{i,O}) + b(\theta_e - \theta_{e,O})$$

$$(\theta_A - \theta_{O,A}) = c(\theta_i - \theta_{i,O}) + d(\theta_e - \theta_{e,O})$$

sviluppando,

$$(\theta_M - \theta_{O,M}) = a \left(1 - \frac{\theta_{i,O}}{\theta_i} \right) \theta_i + b \left(1 - \frac{\theta_{e,O}}{\theta_e} \right) \theta_e$$

$$(\theta_A - \theta_{O,A}) = c \left(1 - \frac{\theta_{i,O}}{\theta_i} \right) \theta_i + d \left(1 - \frac{\theta_{e,O}}{\theta_e} \right) \theta_e$$

D'altra parte si avrà, mediamente:

$$1 - \delta < \frac{\theta_{e,O}}{\theta_e} < 1 + \delta$$

$$1 - \gamma < \frac{\theta_{i,O}}{\theta_i} < 1 + \gamma$$

e, di conseguenza

$$(\theta_M - \theta_{O,M}) = \pm \gamma a \theta_i \pm \delta b \theta_e$$

$$(\theta_A - \theta_{O,A}) = \pm \gamma c \theta_i \pm \delta d \theta_e$$

Riprendendo la

$$E_T = \dots + \rho_M v_M c_{p,M} \int_T d(\theta_M - \theta_{O,M}) + \rho_A v_A c_{p,A} \int_T d(\theta_A - \theta_{O,A})$$

$$E_T = \dots + \rho_M v_M c_{p,M} \int_T d(\pm \gamma a \theta_i \pm \delta b \theta_e) + \rho_A v_A c_{p,A} \int_T d(\pm \gamma c \theta_i \pm \delta d \theta_e)$$

Si potranno ritenere δ e γ costanti con valore pari al loro valor medio nel periodo T

$$E_T = \dots \pm \delta b \rho_M v_M c_{p,M} \int_T d(\theta_e) \pm \gamma a \rho_M v_M c_{p,M} \int_T d(\theta_i) \pm \delta d \rho_A v_A c_{p,A} \int_T d(\theta_e) \pm \gamma c \rho_A v_A c_{p,A} \int_T d(\theta_i)$$

$$E_T = \dots + \delta \left(\pm b \rho_M v_M c_{p,M} \pm d \rho_A v_A c_{p,A} \right) \int_T d(\theta_e) + \gamma \left(\pm a \rho_M v_M c_{p,M} \pm c \rho_A v_A c_{p,A} \right) \int_T d(\theta_i)$$

In forma più compatta, poiché si può porre $\int_T d(\theta_i) = \bar{\theta}_i T = \theta_i T$ e $\int_T d(\theta_e) = \bar{\theta}_e T$, sarà

$$E_T = \int_T P dt = U_{eq} S \int_T (\theta_i - \theta_e) dt + \rho n V c_p \int_T (\theta_i - \theta_e) dt + \rho n V r_0 \int_T (x_i - x_e) dt \pm \hat{S}_R \int_T (I_0 - I_{0,ref}) dt +$$

$$\pm \gamma m_{eq} \theta_i T \pm \delta M_{eq} \bar{\theta}_e T$$

M_{eq} è la parte di massa termica che più risente delle condizioni esterne e, analogamente, m_{eq} è la parte di massa termica che più risente delle condizioni interne. Si ha, generalmente: $M_{eq} > m_{eq}$.

I fattori γ e δ rappresentano gli effetti inerziali integrati nel periodo T e, in [1] erano stati ritenuti trascurabili per rendere più semplice l'esposizione del problema della definizione dell'indice.

Il doppio segno dei termini inerziali denuncia la loro natura di *sorgenti* o *pozzi* di energia.

Riprendiamo la

$$E_T = \int_T P dt = U_{eq} S \int_T (\theta_i - \theta_e) dt + \rho n V c_p \int_T (\theta_i - \theta_e) dt + \rho n V r_0 \int_T (x_i - x_e) dt \pm \hat{S}_R \int_T (I_0 - I_{0,ref}) dt +$$

$$\pm \gamma m_{eq,M} \theta_i T \pm \delta M_{eq,A} \bar{\theta}_e T$$

e sviluppiamo gli integrali considerando il caso della climatizzazione estiva:

$$E_T = \int_T P dt = U_{eq} S \int_T \theta_e dt - U_{eq} S \int_T \theta_i dt + \rho n V c_p \int_T \theta_e dt - \rho n V c_p \int_T \theta_i dt + \rho n V r_0 \int_T x_e dt - \rho n V r_0 \int_T x_i dt + \hat{S}_R \int_T I_0 dt - \hat{S}_R \int_T I_{0,ref} dt \pm \gamma m_{eq,M} \theta_i T \pm \delta M_{equ,A} \bar{\theta}_e T$$

$$E_T = \int_T P dt = (U_{eq} S + \rho n V c_p) \int_T \theta_e dt - (U_{eq} S + \rho n V c_p) \int_T \theta_i dt + \rho n V r_0 \int_T x_e dt - \rho n V r_0 \int_T x_i dt + \hat{S}_R \int_T I_0 dt - \hat{S}_R \int_T I_{0,ref} dt \pm \gamma m_{eq,M} \theta_i T \pm \delta M_{equ,A} \bar{\theta}_e T$$

Con le posizioni:

$$\begin{aligned} \Theta_e &= \frac{1}{T} \int_T \theta_e dt & \Theta_i &= \frac{1}{T} \int_T \theta_i dt \\ X_e &= \frac{1}{T} \int_T x_e dt & X_i &= \frac{1}{T} \int_T x_i dt \\ \Upsilon_e &= \frac{1}{T} \int_T I_0 dt & \Upsilon_{ref} &= \frac{1}{T} \int_T I_{0,ref} dt \end{aligned}$$

si ha

$$\begin{aligned} E_T &= \int_T P dt = (U_{eq} S + \rho n V c_p) \Theta_e T - (U_{eq} S + \rho n V c_p) \Theta_i T + \rho n V r_0 X_e T \\ &\quad - \rho n V r_0 X_i T + \hat{S}_R \Upsilon_e T - \hat{S}_R \Upsilon_{ref} T \pm \gamma m_{eq} \Theta_i T \pm \delta M_{equ} \Theta_e T \\ E_T &= \int_T P dt = (U_{eq} S + \rho n V c_p \pm \delta M_{equ}) \Theta_e T - (U_{eq} S + \rho n V c_p \pm \gamma m_{eq}) \Theta_i T \\ &\quad + \rho n V r_0 X_e T - \rho n V r_0 X_i T + \hat{S}_R \Upsilon_e T - \hat{S}_R \Upsilon_{ref} T \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{E_T}{VT} &= \tilde{\mathcal{E}} = \left(U_{eq} \frac{S}{V} + \rho n c_p \pm \delta \frac{M_{equ}}{V} \right) \Theta_e - \left(U_{eq} \frac{S}{V} + \rho n c_p \pm \gamma \frac{m_{eq}}{V} \right) \Theta_i \\ &\quad + \rho n r_0 X_e - \rho n r_0 X_i + \frac{\hat{S}_R}{V} \Upsilon_e - \frac{\hat{S}_R}{V} \Upsilon_{ref} \end{aligned}$$

e dunque

$$\begin{aligned} \frac{E_T}{VT} &= \tilde{\mathcal{E}} = \left(U_{eq} \frac{S}{V} + \rho n c_p \pm \delta \frac{M_{eq}}{V} \right) \Theta_e + \rho n r_0 X_e + \frac{\hat{S}_R}{V} \Upsilon_e \\ &\quad - \left[\left(U_{eq} \frac{S}{V} + \rho n c_p \pm \gamma \frac{m_{eq}}{V} \right) \Theta_i + \rho n r_0 X_i + \frac{\hat{S}_R}{V} \Upsilon_{ref} \right] \end{aligned}$$

con le usuali posizioni:

$$\mathcal{A} = \left(U_{eq} \frac{S}{V} + \rho n c_p \pm \delta \frac{M_{eq}}{V} \right)$$

$$\mathcal{B} = \rho n r_0$$

$$\mathcal{C} = \frac{\hat{S}_R}{V}$$

$$\mathcal{A}' = \left(U_{eq} \frac{S}{V} + \rho n c_p \pm \frac{\gamma}{\delta} \frac{m_{eq}}{M_{eq}} \frac{\delta M_{eq}}{V} \right) = \left(U_{eq} \frac{S}{V} + \rho n c_p \pm \mu \frac{\delta M_{eq}}{V} \right)$$

e se

$$\mu = \left| \frac{\gamma}{\delta} \frac{m_{eq}}{M_{eq}} \right| \cong 1$$

si avrebbe

$$\mathcal{A}' \cong \mathcal{A}$$

Si può scrivere, in tale ipotesi

$$\frac{E_T}{VT} = \mathcal{Z} = \mathcal{A}\Theta_e + \mathcal{B}X_e + \mathcal{C}Y_e - [\mathcal{A}\Theta_i + \mathcal{B}X_i + \mathcal{C}Y_{ref}]$$

Definendo nuovamente i due vettori caratteristici e considerando il solo caso estivo:

$$\vec{V}_B = \mathcal{A}\vec{i} + \mathcal{B}\vec{j} + \mathcal{C}\vec{k}$$

$$\vec{V}_C = \Theta\vec{i} + X\vec{j} + Y\vec{k}$$

e un vettore climatico di riferimento:

$$\vec{V}_{C,ref} = \Theta_i\vec{i} + X_i\vec{j} + Y_{ref}\vec{k}$$

si arriva alla

$$\mathcal{Z} = \vec{V}_B \cdot \vec{V}_C - \vec{V}_B \cdot \vec{V}_{C,ref}$$

$$\mathcal{Z} = \vec{V}_B \cdot \vec{V}_C - \vec{V}_B \cdot \vec{V}_{C,ref} = |\vec{V}_B| |\vec{V}_C| \cos(\alpha - \beta) - |\vec{V}_B| |\vec{V}_{C,ref}| \cos(\alpha - \beta_{ref})$$

$$C = \frac{\mathcal{Z}}{\sqrt{\mathcal{A}^2 + \mathcal{B}^2 + \mathcal{C}^2}} = \cos(\alpha - \beta) \sqrt{\Theta^2 + X^2 + Y^2} - \cos(\alpha - \beta_{ref}) \sqrt{(\Theta^2 + X^2 + Y^2)_{ref}}$$

Qualora fosse $\beta \cong \beta_{ref}$ (condizione alla quale, come si vedrà nel seguito, ci si può ricondurre) si avrebbe:

$$C = \frac{\tilde{\mathcal{E}}}{\cos(\alpha - \beta_{ref}) \sqrt{\mathcal{A}^2 + \mathcal{B}^2 + \mathcal{C}^2}} = \sqrt{\Theta^2 + X^2 + Y^2} - \sqrt{(\Theta^2 + X^2 + Y^2)_{ref}} = |\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,ref}|$$

Fermo restando che le assunzioni sugli ordini di grandezza dei vari termini devono essere convalidate nella pratica, si può affermare che l'indice di severità climatica dipende linearmente dal vettore climatico traslato di un valore di riferimento.

Rinunciando alla posizione $\mathcal{A}' \cong \mathcal{A}$ si avrebbe:

$$\frac{E_T}{VT} = \tilde{\mathcal{E}} = \mathcal{A}\Theta_e + \mathcal{B}X_e + \mathcal{C}Y_e - [\mathcal{A}'\Theta_i + \mathcal{B}X_i + \mathcal{C}Y_{ref}]$$

$$\vec{V}_B = \mathcal{A}\vec{i} + \mathcal{B}\vec{j} + \mathcal{C}\vec{k}$$

$$\vec{V}'_B = \mathcal{A}'\vec{i} + \mathcal{B}\vec{j} + \mathcal{C}\vec{k}$$

$$\tilde{\mathcal{E}} = \vec{V}_B \cdot \vec{V}_C - \vec{V}'_B \cdot \vec{V}_{C,ref} = |\vec{V}_B| |\vec{V}_C| \cos(\alpha - \beta) - |\vec{V}'_B| |\vec{V}_{C,ref}| \cos(\alpha - \beta_{ref})$$

Poiché è $\mu = \left| \frac{\gamma}{\delta} \frac{m_{eq}}{M_{eq}} \right| \leq 1$, in quanto δ e γ sono da ritenere dello stesso ordine di grandezza ed

$$\text{è } M_{eq} > m_{eq},$$

con la posizione :

$$k(\mu) = \frac{|\vec{V}'_B|}{|\vec{V}_B|}$$

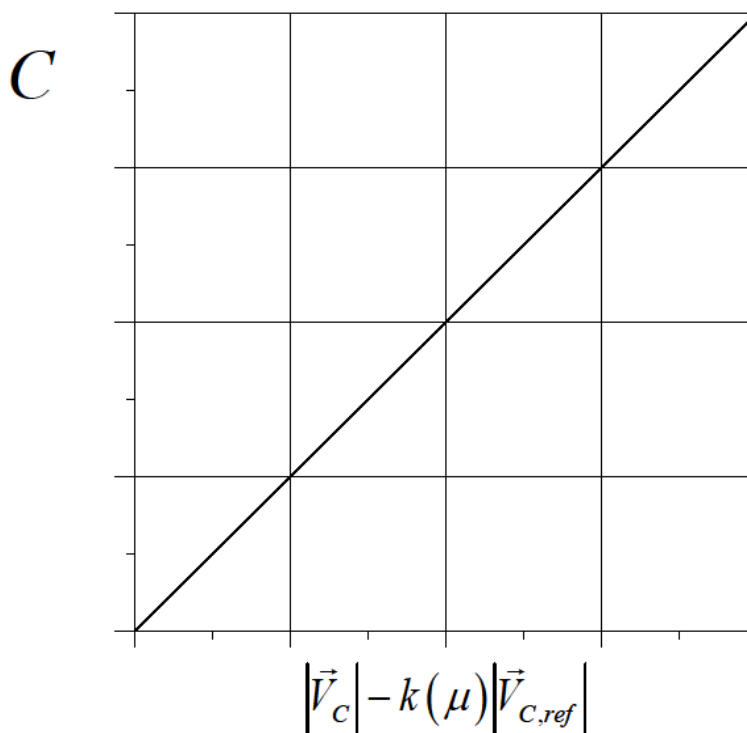
si avrebbe

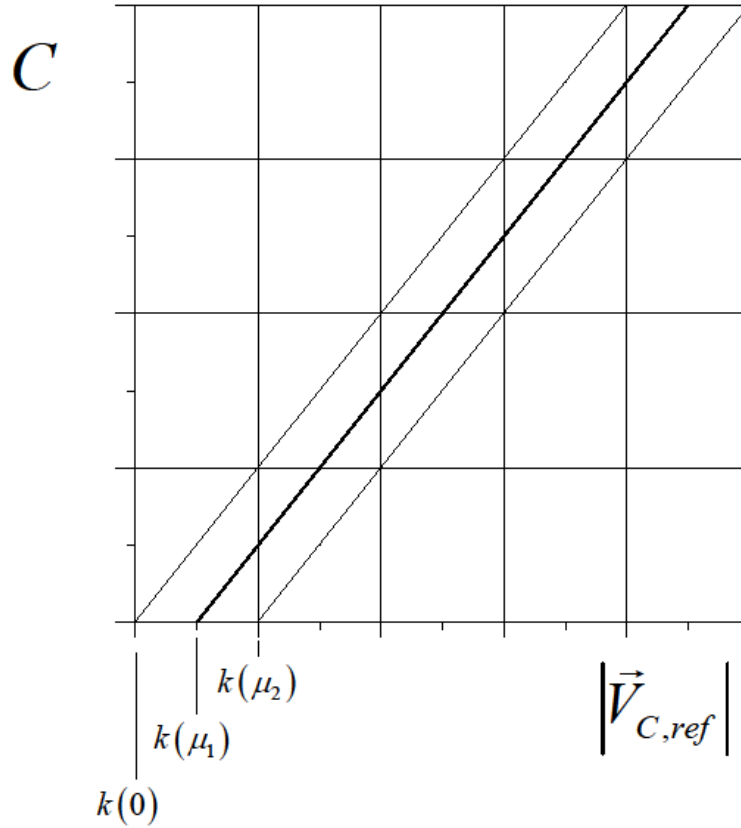
$$C = \frac{\tilde{\mathcal{E}}}{\cos(\alpha - \beta_{ref}) \sqrt{\mathcal{A}^2 + \mathcal{B}^2 + \mathcal{C}^2}} = \sqrt{\Theta^2 + X^2 + Y^2} - k(\mu) \sqrt{(\Theta^2 + X^2 + Y^2)_{ref}} = |\vec{V}_C| - k(\mu) |\vec{V}_{C,ref}|$$

L'interpretazione fisica di $k(\mu) |\vec{V}_{C,ref}|$, cioè del termine di traslazione, è immediata: è il modulo del vettore climatico, a meno del fattore $k(\mu)$, per il quale l'energia di climatizzazione è nulla.

Tale fattore dipende debolmente da $\mu = \left| \frac{\gamma}{\delta} \frac{m_{eq}}{M_{eq}} \right|$ e può essere, in generale, sia maggiore che minore di 1 a seconda del segno dei fattori inerziali γ e δ competenti, rispettivamente, a m_{eq} e a M_{eq} .

Rimane il fatto che $k(\mu)$ è, comunque, da ritenere variabile in un campo limitato intorno a 1. In grafico si ha:

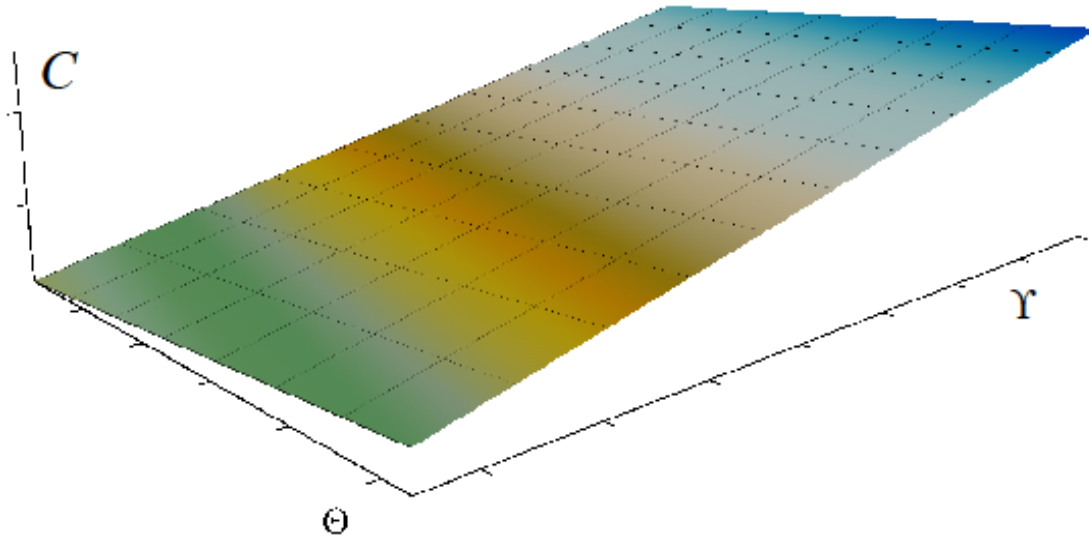




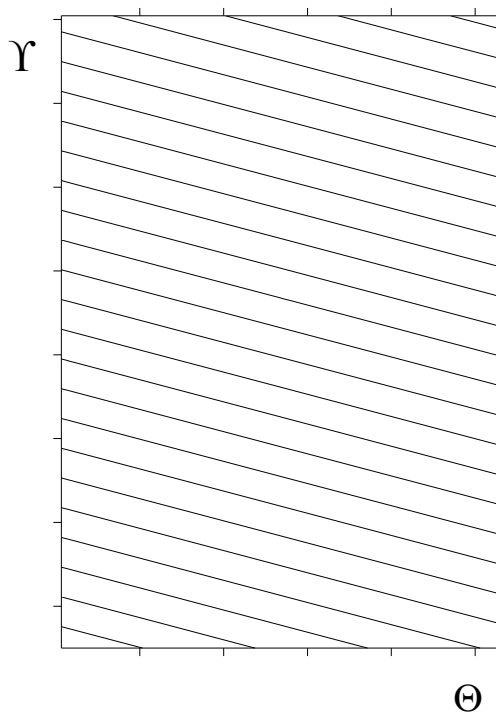
A parità di $|\vec{V}_{C,ref}|$ il valore di C dipende da μ ma nella pratica, come vedremo, è $k \cong cost$ per la debole dipendenza di k da μ e per il limitato *range* dei valori assunti da μ .

L'opportuna traslazione del vettore climatico tramite $k(\mu)|\vec{V}_{C,ref}|$ elimina la dipendenza di C da μ .

Uscendo dalla rappresentazione vettoriale e tornando a quella dello spazio tridimensionale $\{C, \Theta, \Upsilon, X = \text{cost}\}$ si ritrova il piano di funzionamento dell'edificio introdotto nel report [1]



e le relative curve di livello per C .



LO STUDIO DEL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO COME SISTEMA FISICO NON LINEARE

Nel report [1] precedente e nella esposizione fin qui svolta si è partiti da considerazioni fisiche che presupponevano una conoscenza dei meccanismi di scambio termico e di massa per arrivare ad una descrizione del *sistema edificio-impianto* in termini di grandezze climatiche integrali e di grandezze connesse con le caratteristiche dell'edificio. Questo ha consentito l'immediata interpretazione fisica dei parametri e fattori in gioco.

Il problema è, più in generale, suscettibile di un approccio puramente matematico applicato alla equazione generale che governa il sistema fisico.

Il problema, visto in questa ottica, è così definibile:

Per un sistema *edificio-impianto* generico esiste, ed è unica, una funzione E_T delle variabili climatiche esterne che esprime, fisicamente, l'energia necessaria per la climatizzazione dell'edificio di volume V in un intervallo di tempo T :

$$\frac{E_T}{VT} = f\left[\left(\Theta - \Theta_{ref}\right), \left(X - X_{ref}\right), \left(\Upsilon - \Upsilon_{ref}\right)\right]$$

Questa funzione sarà, in generale, non lineare nelle variabili indipendenti in quanto tali variabili possono presentare effetti di accoppiamento che si riflettono sui valori assunti da E_T .

Sviluppiamo la funzione in serie di potenze di Taylor intorno a un valore qualsiasi appartenente al dominio delle variabili definito da:

$$\left\{\Theta_o, X_o, \Upsilon_o\right\} = \left\{\left(\Theta - \Theta_{ref}\right)_o, \left(X - X_{ref}\right)_o, \left(\Upsilon - \Upsilon_{ref}\right)_o\right\}$$

Sviluppando e arrestando lo sviluppo al primo ordine delle derivate si ha

$$\begin{aligned} E_T = & f\left(\Theta_o, X_o, \Upsilon_o\right) + \left[\left(\Theta - \Theta_{ref}\right) - \Theta_o\right] \frac{\delta f\left[\left(\Theta - \Theta_{ref}\right), \left(X - X_{ref}\right), \left(\Upsilon - \Upsilon_{ref}\right)\right]}{\delta\left(\Theta - \Theta_{ref}\right)} \Bigg|_{\left(\Theta_o, X_o, \Upsilon_o\right)} \\ & + \left[\left(X - X_{ref}\right) - X_o\right] \frac{\delta f\left[\left(\Theta - \Theta_{ref}\right), \left(X - X_{ref}\right), \left(\Upsilon - \Upsilon_{ref}\right)\right]}{\delta\left(X - X_{ref}\right)} \Bigg|_{\left(\Theta_o, X_o, \Upsilon_o\right)} \\ & + \left[\left(\Upsilon - \Upsilon_{ref}\right) - \Upsilon_o\right] \frac{\delta f\left[\left(\Theta - \Theta_{ref}\right), \left(X - X_{ref}\right), \left(\Upsilon - \Upsilon_{ref}\right)\right]}{\delta\left(\Upsilon - \Upsilon_{ref}\right)} \Bigg|_{\left(\Theta_o, X_o, \Upsilon_o\right)} + \dots + \mathcal{R}_n \end{aligned}$$

ponendo

$$\mathcal{A} = \frac{\delta f \left[(\Theta - \Theta_{ref}), (X - X_{ref}), (\Upsilon - \Upsilon_{ref}) \right]}{\delta (\Theta - \Theta_{ref})} \Bigg|_{(\Theta_o, X_o, \Upsilon_o)}$$

$$\mathcal{B} = \frac{\delta f \left[(\Theta - \Theta_{ref}), (X - X_{ref}), (\Upsilon - \Upsilon_{ref}) \right]}{\delta (X - X_{ref})} \Bigg|_{(\Theta_o, X_o, \Upsilon_o)}$$

$$\mathcal{C} = \frac{\delta f \left[(\Theta - \Theta_{ref}), (X - X_{ref}), (\Upsilon - \Upsilon_{ref}) \right]}{\delta (\Upsilon - \Upsilon_{ref})} \Bigg|_{(\Theta_o, X_o, \Upsilon_o)}$$

e sviluppando i termini si arriva all'espressione

$$\frac{E_T}{VT} = \mathcal{Z} = \mathcal{A}\Theta + \mathcal{B}X + \mathcal{C}\Upsilon - [\mathcal{A}\Theta + \mathcal{B}X + \mathcal{C}\Upsilon]_{ref}$$

identica formalmente a quella trovata analizzando con le equazioni di bilancio di energia e di massa il sistema *edificio-impianto*. Tralasciamo i facili passaggi per arrivare alla definizione di \mathcal{C} .

Il fatto naturalmente non stupisce in quanto nella impostazione *fisica* precedente si era tacitamente assunto che vigesse il principio di sovrapposizione degli effetti e, quindi, che il sistema fosse lineare.

L'inconveniente di questa impostazione è che si perde l'informazione sul significato fisico dei coefficienti caratteristici del sistema e sulle relative implicazioni; se ne guadagna, d'altra parte, in chiarezza e immediatezza nella definizione della funzione \mathcal{C} .

In conclusione è sempre possibile trovare un punto di sviluppo $\{\Theta_o, X_o, \Upsilon_o\}$ della serie di Taylor, troncata al primo ordine, della funzione $\frac{E_T}{VT} = \mathcal{Z}$ intorno al quale vale l'espressione

$$\frac{E_T}{VT} = \mathcal{Z} = \mathcal{A}\Theta + \mathcal{B}X + \mathcal{C}\Upsilon - [\mathcal{A}\Theta + \mathcal{B}X + \mathcal{C}\Upsilon]_{ref}$$

Si ribadisce quindi, per altra via, che un sistema edificio-impianto di assegnate caratteristiche è descrivibile, in termini di energia necessaria al condizionamento e in un *range* opportuno delle variabili climatiche, da una espressione lineare nelle variabili climatiche.

Qualora il sistema dovesse presentare una forte non linearità, cambiando punto di sviluppo sarebbe possibile comunque esplorare il *range* di interesse.

LA PROCEDURA DI PRIMO TEST DELL'INDICE

Per verificare nella pratica la funzionalità ed efficacia dell'indice di severità climatica C come definito, è necessario procedere ad un *esperimento numerico* valutandone il valore assunto secondo la definizione al variare del modulo dei due vettori caratteristici: il vettore edificio ed il vettore climatico.

$$|\vec{V}_B| = \sqrt{\mathcal{A}^2 + \mathcal{B}^2 + \mathcal{C}^2}$$

$$|\vec{V}_C| = \sqrt{\Theta^2 + X^2 + Y^2}$$

Per quanto riguarda il vettore climatico occorrerà considerare n siti italiani nei quali si possano calcolare le variabili climatiche cumulate relative alla temperatura, all'umidità assoluta e all'irradiazione sul piano orizzontale richieste dal metodo.

La norma UNI 10349 [a] risponde a tale scopo in quanto riporta, per 101 province italiane e mese per mese, la temperatura giornaliera media mensile dell'aria, l'irradiazione giornaliera media mensile al suolo e la pressione parziale di vapore giornaliera media mensile dell'aria. Elaborando tali dati è possibile calcolare, per i 101 siti, il modulo del vettore climatico.

Per quanto riguarda il vettore edificio, occorrerà individuare m tipologie di edificio, da scegliere tra quelle rappresentative del parco edilizio nazionale, che generino m valori del modulo del vettore edificio stesso.

Le componenti del vettore edificio sono, lo ricordiamo

$$\mathcal{A} = \left(U_{eq} \frac{S}{V} + \rho n c_p \pm \delta \frac{M_{eq}}{V} \right)$$

$$\mathcal{B} = \rho n r_0$$

$$\mathcal{C} = \frac{\hat{S}_R}{V}$$

La componente \mathcal{B} è, dal punto di vista della diversificazione delle tipologie costruttive, la meno importante in quanto riguarda essenzialmente la destinazione d'uso dell'edificio, tramite il parametro n che rappresenta il numero di ricambi d'aria. Questo parametro, d'altra parte, è già contenuto nella componente \mathcal{A} .

La componente \mathcal{A} caratterizza essenzialmente la trasmittanza dell'involucro e gli effetti inerziali della parte di massa che più risente della temperatura esterna; sarà quindi opportuno esplorare, nell'ambito delle m tipologie di edificio, tale componente facendo variare la trasmittanza dell'involucro e la sua massa.

La componente \mathcal{C} rappresenta gli effetti dell'irraggiamento, tramite la definizione della superficie orizzontale equivalente dell'edificio, sull'energia di climatizzazione; anche per essa sarà quindi opportuno esplorare i valori della componente facendo variare il fattore più importante che la influenza, cioè l'esposizione dell'edificio rispetto al percorso solare.

In definitiva occorrerà esplorare un campo opportunamente significativo del rapporto $\frac{\mathcal{A}}{\mathcal{C}}$.

L'estensione del campo n siti \times m tipologie deve essere necessariamente limitato per ragioni di economia generale e non necessariamente esaustivo di tutte le tipologie edilizie in quanto la definizione dell'indice di severità climatica C riposa, oltre che sui principi di conservazione dell'energia e della massa, su classici concetti di *analisi dimensionale* e di *normalizzazione* che portano all'individuazione dei cosiddetti *fattori di scala* del fenomeno fisico in studio.

Questi concetti sono da sempre impiegati nella scienza e nella tecnica per inquadrare fenomeni dei quali si ha una non completa descrizione fisica riguardo alle cause "*ultime*" o ai singoli meccanismi di dettaglio, oppure sono impiegati nel caso si voglia rinunciare a una formulazione eccessivamente complessa e dettagliata per la soluzione di casi pratici ma dove, contemporaneamente, si ha una chiara evidenza sperimentale dei fattori dai quali questi fenomeni dipendono.

Questi criteri sono sempre stati utili per ridurre il numero di *esperimenti* necessari per definire i comportamenti dei *sistemi* più vari e sono finalizzati principalmente a definire le costanti del fenomeno fisico non determinabili altrimenti [3,4].

In questo lavoro si seguiranno tali principi generali, dando la priorità all'esplorazione del campo di variazione del vettore climatico di n siti: lo scopo finale del lavoro è, infatti, la classificazione del territorio dal punto di vista della severità climatica estiva ed è quindi opportuno ridurre l'esplorazione delle m tipologie edilizie a quanto necessario per raggiungere l'obiettivo.

Tutto ciò non elimina, manifestamente, l'opportunità di verificare il modello proposto per C anche ad altri casi per trovarvi ulteriore conforto e possibili miglioramenti.

È questo il significato riposto nel titolo del presente lavoro.

Nel seguito si troveranno quindi illustrate le m tipologie e gli n siti considerati in prima istanza.

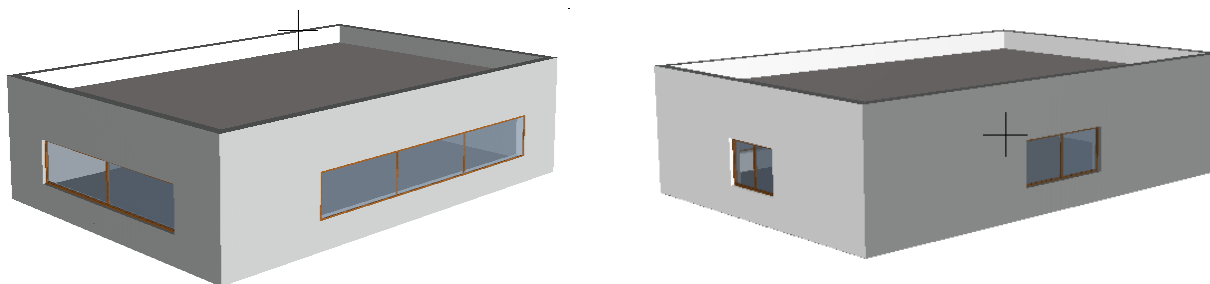
I MODELLI DI EDIFICIO DI TEST CONSIDERATI

LA DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO

Il calcolo dell'energia di climatizzazione degli edifici è stato effettuato a partire dalla costruzione di un modello standard di riferimento tale da rispecchiare le caratteristiche degli edifici residenziali rappresentativi del panorama edilizio del territorio nazionale sia in termini geometrico-dimensionali che in relazione alle proprietà termofisiche dei componenti, sia opachi che trasparenti, dell'involucro (UNI EN ISO 13790) [b].

Il modello oggetto delle analisi è una villetta monofamiliare avente la forma di un parallelepipedo regolare articolato su di un unico livello, con copertura piana e struttura portante in muratura di laterizi.

E' stata ipotizzata una superficie vetrata, pari al 20% della superficie verticale disperdente complessiva, distribuita in modo non simmetrico su tutti i prospetti dell'edificio.



Caratteristiche geometriche		Villetta Isolata	Villetta non isolata
Valori Netti	Altezza interpiano [m]		3.0
	Larghezza [m]		10.0
	Profondità [m]		15.0
	Pavimento [m ²]		150.0
	Soffitto [m ²]		150.0
	Serramenti [m ²]		30.0
	Superfici verticali opache [m ²]		120.0
	Volume [m ³]		450
Valori Lordi	Superficie lorda disperdente totale [m ²]	524.5	495
	Volume lordo [m ³]	617.9	544.2
	S/V	0.85	0.91

L'edificio sarà oggetto di simulazioni (tramite il software dinamico TRNsys 16) variando l'orientamento dello stesso semplicemente ruotandolo in modo che la facciata che presenta la

superficie trasparente di maggiori dimensioni sia esposta ad est e nord per esplorare le condizioni di massimo e minimo carico termico. Infatti, da indagini preliminari fatte su diverse località con caratteristiche climatiche differenti, dal punto di vista dell'intensità della radiazione solare, sono state individuati gli orientamenti corrispondenti alle condizioni di massimo e di minimo carico termico (massima e minima esposizione) per l'edificio.

Orientamenti dell'edificio								
Esposizioni	A		B		C		D	
	Sup verticale (m ²)		Sup verticale (m ²)		Sup verticale (m ²)		Sup verticale (m ²)	
	Opaca	Vetri	Opaca	Vetri	Opaca	Vetri	Opaca	Vetri
O	31.5	13.5	27.0	3.0	40.5	4.5	21.0	9.0
N	21.0	9.0	31.5	13.5	27.0	3.0	40.5	4.5
E	40.5	4.5	21.0	9.0	31.5	13.5	27.0	3.0
S	27.0	3.0	40.5	4.5	21.0	9.0	31.5	13.5
			Carico minimo		Carico Massimo			

Il medesimo edificio è stato valutato sia nell'ipotesi di involucro non isolato termicamente (trasmissione media dell'involucro opaco pari a 1.8 W/m²K), sia prevedendo un isolamento termico in linea con un valore medio (pari a 0.4 W/m²K) del limite della trasmissione termica prescritto dalla normativa italiana sull'efficienza energetica degli edifici (Dlgs 192/2005 e s.m.i.).

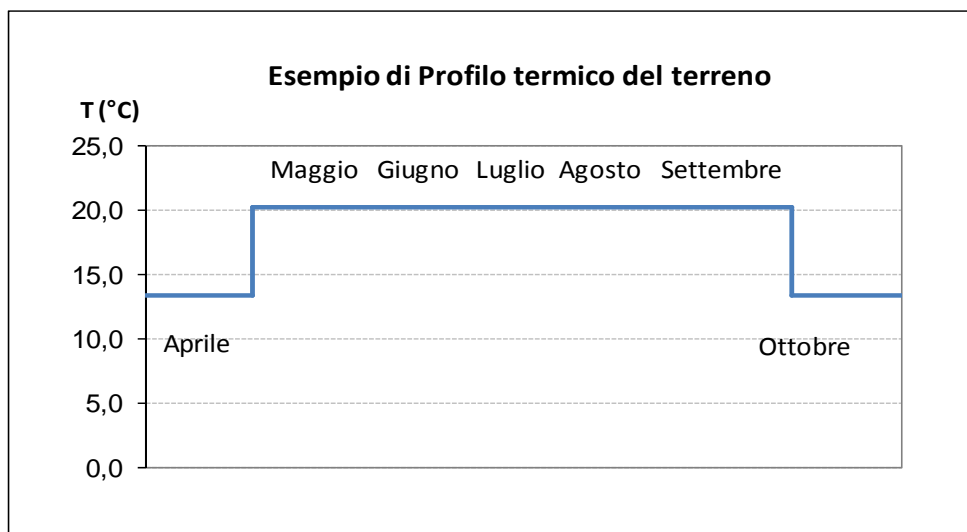
La composizione stratigrafica dei componenti strutturali rispecchia tipologie ricorrenti nella casistica del settore residenziale nazionale ed è stata creata in ambiente TRNBuild. Si riportano, nella tabella seguente, le caratteristiche termofisiche dei componenti sia opachi che trasparenti dell'involucro edilizio.

Villetta Isolata			
	Spessore [m]	U _{value} [W/m ² K]	Coeff. assorbimento [%]
Pareti verticali perimetrali	0.34	0.40	0.6
Solaio piano terreno	0.35	0.40	0.6
Copertura	0.34	0.40	0.6
Serramenti	Vetro triplo 4/8/4/8/4	2.4	-
Villetta non isolata			
	Spessore [m]	U _{value} [W/m ² K]	Coeff. assorbimento [%]
Pareti verticali perimetrali	0.18	1.80	0.6
Solaio piano terreno	0.21	1.80	0.6
Copertura	0.21	1.80	0.6
Serramenti	Vetro singolo 2 mm	4.90	-

Alla configurazione isolata corrisponde una massa muraria pari a 140 t circa, mentre per la villetta non isolata si è calcolato un valore di circa 120 t, parametri che influiscono nella capacità di accumulo e nello sfasamento temporale della propagazione dell'onda termica.

IPOTESI DI CALCOLO E SET-POINT

Per quanto riguarda le dispersioni termiche attraverso il pavimento, considerato a diretto contatto con il terreno, si è ritenuto opportuno considerare un profilo di temperatura del terreno a gradini funzione della temperatura media dell'aria esterna del periodo corrispondente alla simulazione.



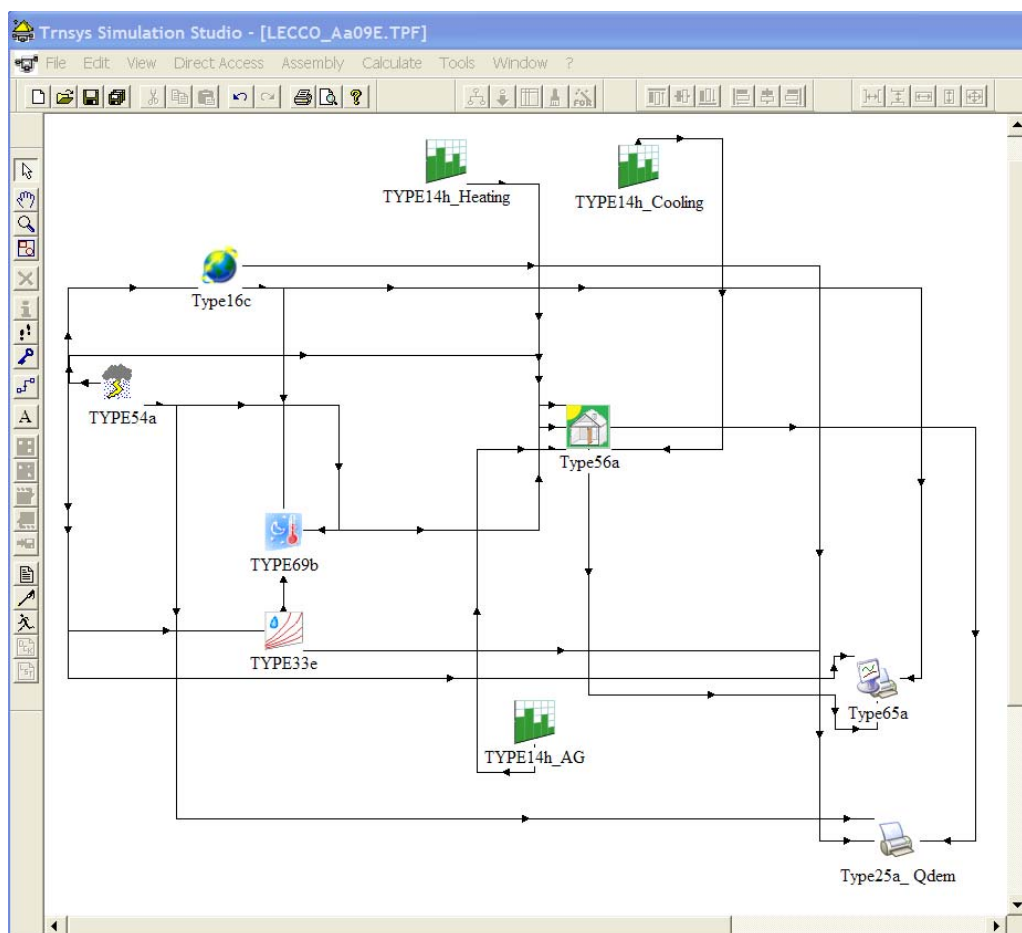
Nel modello sono stati impostati i *set-point* di temperatura (26°C) ed umidità relativa interni (60%) che devono essere garantite per il comfort microclimatico *indoor*. È stata inoltre prevista una portata d'aria di rinnovo costante pari a 0.3 vol/h (UNI TS 11300-1) [c].

Per le simulazioni è stato previsto un impianto di raffrescamento ideale di potenza illimitata che interviene solo se la temperatura interna e/o l'umidità superano i valori di *set-point* ($T > 26^{\circ}\text{C}$; $U_r > 60\%$). Tali ipotesi assicurano un funzionamento dell'impianto solo per raffrescamento e/o deumidificazione.

Si è inoltre ipotizzata un'attivazione continua dell'impianto (24 ore) come previsto dalla normativa nazionale (UNI TS 11300-1).

IL MODELLO PER LE SIMULAZIONI DINAMICHE

Una volta descritto il modello dell’edificio occorre inserirlo nel pannello di assemblaggio del software di calcolo di TRNsys denominato “Trnsys Simulation Studio”. È in questo ambiente che si costruisce il progetto, oggetto delle simulazioni, che prevede l’inserimento di diversi componenti (*Type*) e il loro reciproco collegamento (gli output di una “*Type*” diventano input per un’altra) secondo il diagramma di flusso rappresentato.



La simulazione può essere eseguita solo dopo che siano state inserite tutte le componenti necessarie alla descrizione del sistema (edificio, caratteristiche climatiche delle località prese in considerazione ecc.), siano stati attribuiti parametri e valori iniziali per ogni componente e che siano stati effettuati tutti le interconnessioni tra esse e che siano stati effettuati i collegamenti interni (*output-input*).

Veniamo ora alla descrizione delle componenti specifiche utilizzate per le simulazioni divise per categoria.

Lettura ed elaborazione dati climatici

Type 54a: Weather Generator

Componente che genera dati orari a partire dai dati medi mensili relativi a:

- valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna;
- irradiazione solare giornaliera media mensile globale (componente diffusa e diretta) sul piano orizzontale;
- umidità relativa media mensile (calcolata a partire dai valori medi mensili della pressione parziale del vapore d'acqua dell'aria esterna);
- latitudine della località;
- velocità del vento media mensile ed altitudine sono introdotti come parametri (non inclusa nel file dati).

I dati mensili di partenza sono dedotti dalla norma UNI 10349:1994 e sono stati inseriti in un file di testo che viene letto dalla *Type 54*.

Gli output generati dalla *Type 54* sono stati passati alla:

Type 16c: Solar Radiation Processor

Il “processore solare” interpola i dati orari provenienti dal *Weather Generator* calcolando la posizione del sole nel giorno specificato di inizio della simulazione e calcola la radiazione solare incidente sulle diverse superfici in funzione del loro orientamento. Questa *type* è in grado di calcolare anche la porzione di radiazione diffusa funzione del fattore di copertura del cielo e della temperatura di condensazione.

E' attraverso questo componente che viene descritto l'orientamento (attraverso l'angolo di azimuth) e l'inclinazione delle superfici del nostro edificio.

I dati calcolati relativi alla radiazione solare incidente globale, diretta e all'angolo di incidenza su tutte le superfici che delimitano il nostro edificio sono valori che verranno letti come input (per ogni *time-step* della simulazione) dal componente che descrive l'edificio.

Descrizione e calcolo fenomeni fisici

Type 33e: Psychrometrics

Questo componente richiede come input i valori orari della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria esterna (dalla *Type 54*) e calcola le caratteristiche dell'aria umida, in particolare la temperatura di condensazione (fatta leggere alla *Type 69*) e l'umidità assoluta ($\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{aria secca}}$) dell'aria esterna.

Type 69b: Effective sky temperature for long-wave radiation exchange

Questa *Type* calcola una “temperatura del cielo” (solitamente inferiore alla temperatura dell'aria) al fine di tener conto dello scambio termico per irraggiamento delle superfici dell'edificio verso la volta celeste (valore che viene richiesto dal componente che descrive l'edificio) che durante le ore notturne e soprattutto nella stagione di raffrescamento favorisce lo smaltimento dei carichi termici interni. Il fattore di copertura del cielo è calcolato dal codice in funzione della radiazione solare (nelle componenti diretta e diffusa) sul piano orizzontale (calcolate dalla *Type 16*), della temperatura dell'aria esterna (fornita dalla *Type 54*) e della temperatura di condensazione (calcolata dalla *Type 33*).

Descrizione sistema edificio-impianti e carichi termici

Type 56 Multizone Building

Attraverso questa subroutine è possibile rappresentare il comportamento termico dell'edificio.

La descrizione dell'edificio avviene tramite la lettura di tre files generati dal programma TRNBuild compilato attraverso l'inserimento dei dati elencati in precedenza.

Lo schema di flusso dei dati in ingresso ed in uscita dalla *Type 56* può essere così riassunto:

Dati input:

- Temperatura dell'aria esterna;
- Umidità relativa dell'aria esterna;
- Radiazione solare incidente (totale e diretta) sulle superfici esterne (opache e trasparenti) per esposizione e giacitura;
- Temperatura sole cielo per gli scambi radiativi;
- Profilo temperature del terreno: inserito tramite la *Type 14* Time Dependent Forcing Function attraverso la quale è stato possibile descriverne l'andamento per interpolazione lineare come una serie discreta di punti indicanti il valore della funzione in corrispondenza di diversi istanti temporali in modo ciclico.

Le simulazioni sono state effettuate con durata annuale e con un intervallo temporale orario.

Tra gli *output* numerici possibili del software, in quanto considerati utili agli scopi dello studio, sono stati selezionati i seguenti.

Output generati

I parametri richiesti (su base oraria) al software sono stati:

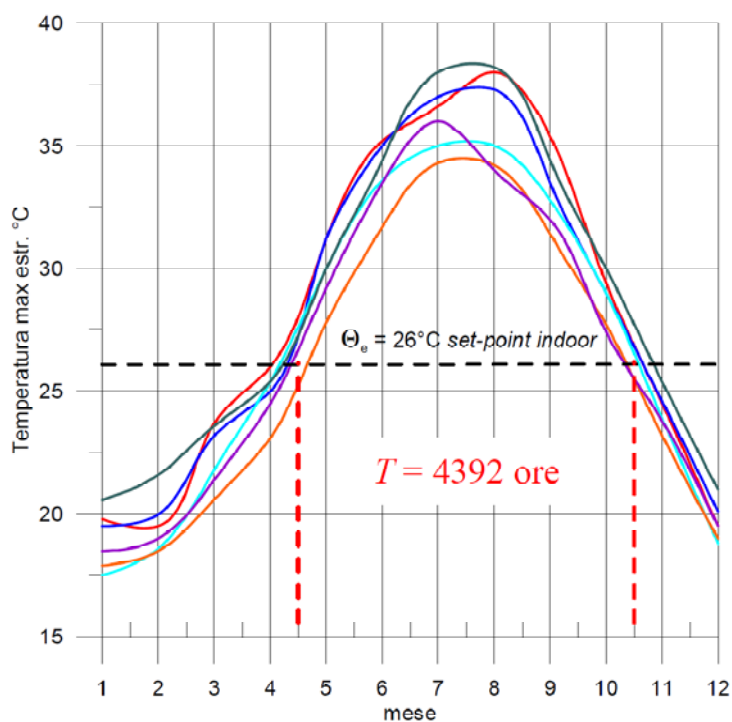
- Temperatura dell'aria esterna;
- Temperatura dell'aria interna;
- Umidità relativa dell'aria esterna;
- Umidità assoluta dell'aria esterna;
- Umidità relativa dell'aria interna;
- Umidità assoluta dell'aria interna;
- Radiazione solare globale sul piano orizzontale;
- Radiazione solare diretta sul piano orizzontale;
- Radiazione solare globale incidente per ogni superficie esposta dell'edificio;
- Radiazione solare diretta incidente per ogni superficie esposta dell'edificio;
- Energia (sensibile) dell'edificio (raffrescamento);
- Energia (latente) dell'edificio (deumificazione).

LA SCELTA DEL PERIODO DI OSSERVAZIONE DEL SISTEMA

LA FINESTRA TEMPORALE

Il periodo temporale T di osservazione del sistema edificio-impianto, nel quale calcolare l'energia necessaria alla climatizzazione estiva tramite il software TRNsys 16, è stato scelto in modo da coprire, anche per le città più “calde”, tutte le ore dell'anno in cui potesse esserci esigenza di raffrescamento; la temperatura corrispondente a tale soglia è stata individuata nella temperatura di *set-point* per le condizioni climatiche di comfort e pari a 26°C , utilizzata nelle simulazioni.

A tale scopo sono state individuate le sei città italiane (Salerno, Agrigento, Messina, Napoli, Catania e Trapani) con temperatura media mensile più elevata (UNI 10349), ed è stato verificato in quali mesi la *temperatura massima estrema mensile* (archivio climatico DBT ENEA)[d] raggiungeva la soglia dei 26°C , come rappresentato nel grafico.



Allo stesso tempo si è cercato di evitare sovrapposizioni con i periodi di riscaldamento già fissati dalle normative vigenti (*D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993, tabella A e s.m.i., in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n. 10*).

Tale criterio ha condotto, per il calcolo dell'energia di climatizzazione estiva, alla scelta di un periodo convenzionale, per tutte le città in esame, compreso tra il **15 Aprile ed il 15 Ottobre** per un totale di $T = 4392$ ore.

LE VARIABILI CLIMATICHE IN ITALIA

Si era visto che la verifica della funzionalità ed efficacia dell'indice di severità climatica C come definito, richiedeva, anche per quanto riguarda il vettore climatico, un *esperimento numerico* su n siti italiani nei quali si potessero calcolare le variabili climatiche cumulate relative alla temperatura, all'umidità assoluta e all'irradiazione sul piano orizzontale.

Come già detto, la norma UNI 10349 riporta, per 101 province italiane e mese per mese, la temperatura giornaliera media mensile dell'aria, l'irradiazione giornaliera media mensile al suolo e la pressione parziale di vapore dell'aria giornaliera media mensile. Elaborando tali dati è possibile calcolare, per i 101 siti, il modulo del vettore climatico.

La scelta dei siti di test, opportunamente ridotti di numero, richiede una accurata analisi statistica della popolazione dei siti disponibili nella norma UNI, al fine di individuare una campione di n siti statisticamente significativo.

Uno strumento statistico utile a questo scopo è *l'analisi dei gruppi*.

L'ANALISI DEI GRUPPI (CLUSTER ANALYSIS)

Cenni teorici e definizioni

Partendo da un insieme di unità su cui sono state effettuate osservazioni relative a più variabili, l'analisi dei gruppi mira ad assegnare le unità a categorie non definite a priori, formando dei gruppi di osservazioni omogenei al loro interno ed eterogenei tra loro, in modo da agevolare l'interpretazione a livello complessivo del fenomeno oggetto di studio.

Sono molteplici le soluzioni alternative per l'analisi dei gruppi, ma alla base di tutte le tecniche c'è la definizione di una *matrice* contenente le informazioni riguardanti il grado di *dissomiglianza* tra le diverse unità statistiche che compongono la popolazione di partenza.

Nel caso di variabili quantitative, la *dissomiglianza* tra unità è data dalla *distanza* tra le stesse.

Sia X una matrice dati $n \times k$ e sia X_i il vettore k -dimensionale della i -esima osservazione e $x_{i,h}$ il suo elemento generico.

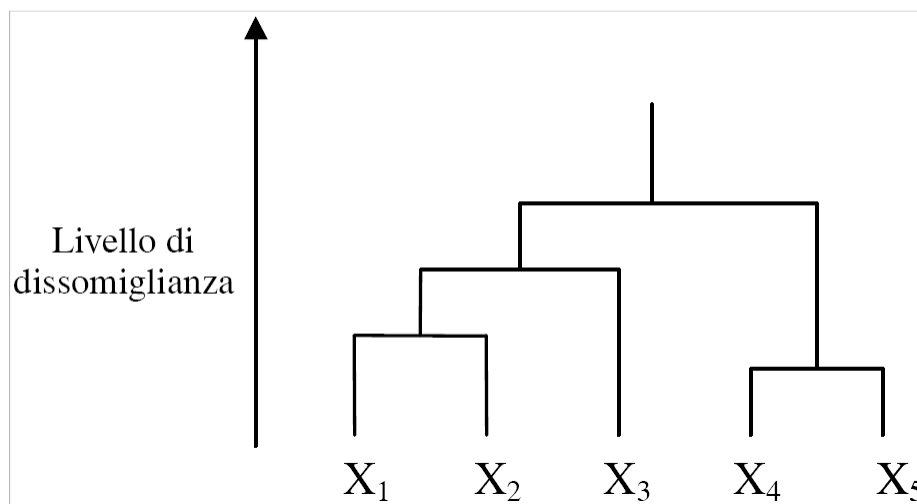
La distanza più nota ed utilizzata nelle applicazioni di *cluster analysis* è la *distanza euclidea*:

$$d_{i,j} = \left[\sum_{h=1}^k (x_{i,h} - x_{j,h})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Per determinare i gruppi si possono utilizzare *tecniche gerarchiche* le quali permettono di esplorare i dati stabilendo, tramite aggregazioni successive, livelli differenti di omogeneità all'interno dei gruppi.

Un elemento cruciale per la comprensione del funzionamento delle tecniche gerarchiche è la rappresentazione grafica della struttura di raggruppamento fornita dal cosiddetto *dendrogramma* seguente:

Dendrogramma



Sezionando il dendrogramma in corrispondenza di un certo livello di dissomiglianza (distanza) si ottiene una partizione in gruppi disgiunti e omogenei dell'insieme di unità.

Attraverso queste tecniche, dall'insieme di singole unità si generano gruppi sempre più numerosi attraverso aggregazioni successive. In particolare, dopo aver fissato un criterio per stabilire la distanza dei gruppi dai singoli elementi e/o dagli altri gruppi, il procedimento di raggruppamento parte dalla matrice di dissomiglianza tra elementi e procede iterativamente in due passi: prima si raggruppano gli elementi più somiglianti, quindi si calcola la matrice di dissomiglianza tra gruppi e/o elementi, fino a quando tutti gli elementi sono aggregati in un unico gruppo.

Una volta stabilita la distanza da adottare tra le osservazioni, la differenza tra le diverse tecniche gerarchiche di raggruppamento consiste nel criterio che definisce la dissomiglianza o la distanza tra i diversi gruppi.

I più noti ed utilizzati sono il metodo del legame singolo, del legame completo, del legame medio, del centroide, il metodo di Lance-Williams e quello di Ward [5].

In particolare, ad ogni passo del metodo di Ward si calcola la devianza associata a tutti i raggruppamenti possibili, effettuando l'aggregazione che origina il gruppo con devianza minima. In questo caso, la distanza tra due gruppi è data dalla differenza tra la devianza complessiva e la somma delle devianze interne ai due gruppi, ovvero dall'incremento della devianza entro i gruppi dovuto all'aggregazione effettuata.

In generale, i requisiti di una buona tecnica di raggruppamento sono:

- l'oggettività, cioè a dire che deve garantire risultati identici se applicata sugli stessi dati da operatori diversi;
- la stabilità dei risultati a fronte di piccole variazioni nei dati;
- la semplicità dal punto di vista degli algoritmi impiegati.

È da ricordare, inoltre, come i risultati di qualsiasi strategia di raggruppamento dipendano fortemente anche dal tipo di distanza scelta e dall'uso di osservazioni grezze o standardizzate.

Nel caso del metodo di Ward, adottato per l'analisi che segue, esso tende ad isolare le unità che presentano valori estremi, anche di una sola delle variabili considerate.

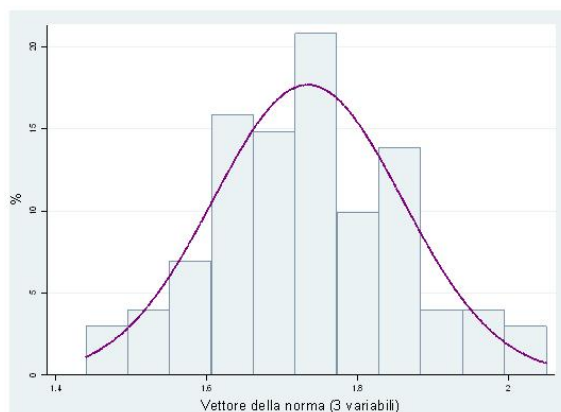
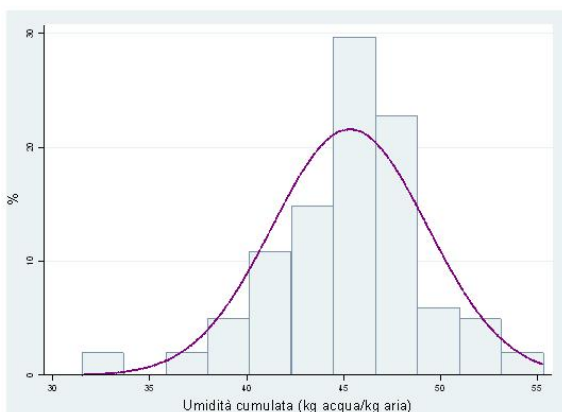
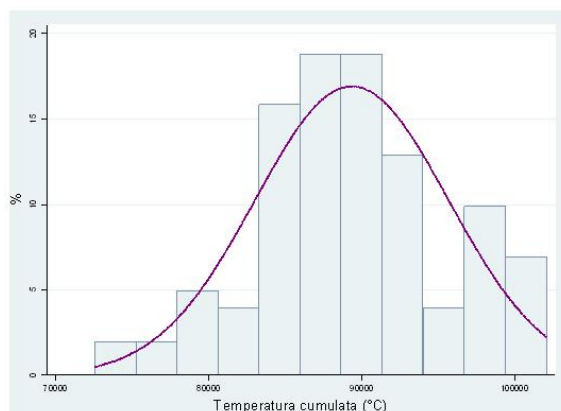
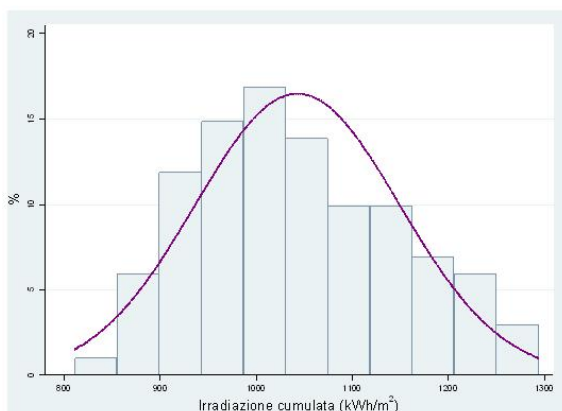
Raramente, infine, il numero dei raggruppamenti da individuare è noto: a tal fine, i più noti criteri per la sua determinazione sono quelli della verifica della significatività del raggruppamento, della verifica della significatività degli autovalori, l'indice di Marriot, l'indice di Duda-Hart e l'indice di Çalinsky-Harabasz [5].

Le variabili considerate

L’analisi è stata svolta al fine di raggruppare 101 capoluoghi di provincia italiani per i quali sono note tre variabili: irradiazione cumulata, temperatura cumulata ed umidità cumulata.

Di seguito sono riportati i grafici relativi alle distribuzioni di frequenza delle tre variabili oggetto di studio e di una variabile sintetica N_3 definita dal vettore della loro norma¹.

È immediato notare come la distribuzione di tutte le variabili rifletta una curva gaussiana (individuata su ciascun grafico), in particolare per la temperatura cumulata ed il vettore della norma.



La tabella seguente riporta la matrice di correlazione delle variabili analizzate: per costruzione, il vettore della norma è altamente correlato con le tre variabili da cui è originato.

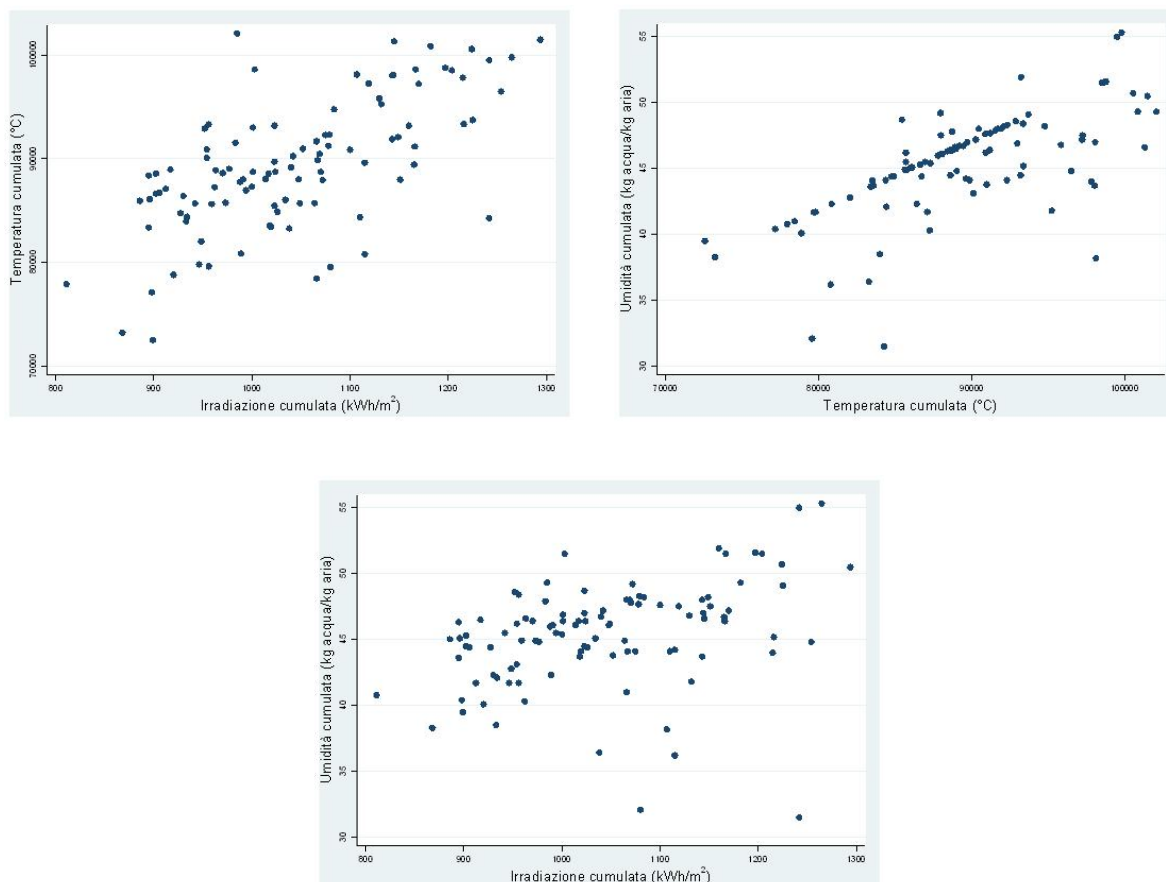
¹ Il vettore della norma è dato dalla seguente formula: $N_3 = \sqrt{\left(\frac{I}{\bar{I}}\right)^2 + \left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^2 + \left(\frac{U}{\bar{U}}\right)^2}$, dove I , T e U rappresentano rispettivamente l’irradiazione cumulata, la temperatura cumulata e l’umidità cumulata; \bar{I} , \bar{T} e \bar{U} le rispettive medie.

Matrice di correlazione delle variabili

	Irradiazione cumulata	Temperatura cumulata	Umidità cumulata	Vettore della norma
Irradiazione cumulata	1.0000			
Temperatura cumulata	0.6506	1.0000		
Umidità cumulata	0.3572	0.6740	1.0000	
Vettore della norma N₃	0.8344	0.9038	0.7769	1.0000

I grafici seguenti riportano la dispersione dei dati rispetto alle variabili analizzate, considerate a due a due di volta in volta.

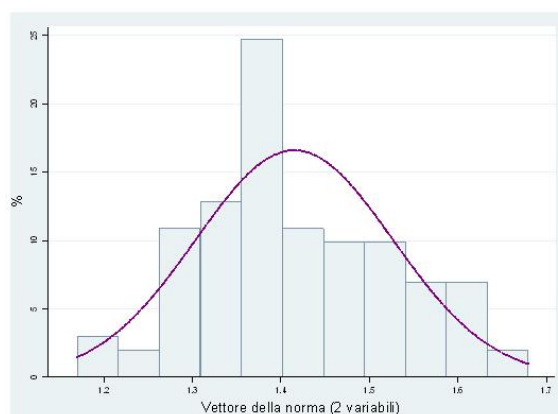
Dispersione dei dati



È immediato notare un anomalo andamento dei dati nel grafico che mette in relazione la temperatura cumulata con l’umidità cumulata: il fatto che oltre 40 punti (su 101) siano perfettamente allineati lascia supporre che almeno una parte di essi non sia stata realmente osservata, bensì stimata a partire dal resto delle osservazioni a disposizione. *Per questo motivo si è scelto di effettuare l’analisi dei gruppi tenendo in considerazione soltanto la temperatura cumulata e l’irradiazione cumulata.*

Il grafico seguente riporta la distribuzione del vettore della norma N_2 , ricavata dalle due variabili considerate: anche in questo caso l’andamento riflette una curva statistica di tipo normale.

Vettore della norma N2



La tabella successiva riporta i valori della media e della deviazione standard delle variabili oggetto di studio, nonché i risultati di alcuni test statistici [6,7] comunemente utilizzati per verificare se la distribuzione dei dati della popolazione segua o meno la distribuzione normale. In particolare, tali test assumono come ipotesi di base che i dati seguano effettivamente una distribuzione normale: il valore riportato nella tabella è il cosiddetto *p-value*, ovvero la probabilità di commettere un errore nel caso si rifiutasse l’ipotesi di normalità dei dati; è pratica comune accettare l’ipotesi di distribuzione gaussiana delle variabili per valori del *p-value* maggiori di 0.05.

Test di normalità delle variabili

	Media	Deviazione standard	Test di Shapiro-Wilk <i>p-value</i>	Test di Shapiro-Francia <i>p-value</i>
Irradiazione cumulata	1042.861	106.252	0.07278	0.11408
Temperatura cumulata	89337.26	6322.03	0.18284	0.23131
Vettore della norma N₂	1.415248	0.1113606	0.16413	0.26021

I gruppi

Come detto in precedenza, l’analisi dei gruppi è stata svolta considerando soltanto due variabili, l’irradiazione cumulata e la temperatura cumulata: al fine di evitare distorsioni nei risultati legate alle diverse unità di misura in cui sono espresse, le due variabili oggetto di studio sono state preventivamente standardizzate.

L’indice di dissomiglianza scelto è stato il quadrato della distanza euclidea, applicato al criterio di Ward.

Criteria di scelta del numero ottimale di gruppi

Numero di gruppi	Calinski-Harabasz <i>pseudo F</i>	Criterio di Duda-Hart	
		<i>Je(2)/Je(1)</i>	<i>pseudo T</i>
2	124.62	0.3917	121.14
3	214.56	0.3206	139.89
4	329.51	0.2976	94.43
5	348.86	0.2143	36.66
6	393.07	0.4014	28.34
7	447.85	0.2303	80.22
8	495.39	0.3496	40.92
9	566.60	0.2868	34.81
10	699.22	0.3188	17.10
11	816.76	0.2843	37.76
12	933.09	0.1794	64.03
13	988.58	0.2769	10.44
14	1038.18	0.2251	13.77
15	1109.21	0.2633	44.77
16	1184.70	0.2425	24.99
17	1292.02	0.2185	28.61
18	1420.42	0.2132	33.22
19	1613.31	0.2359	6.48
20	1700.41	0.1764	9.34
21	1795.62	0.2786	7.77
22	1904.27	0.0103	96.56
23	2052.92	0.1396	36.98
24	2174.45	0.3403	19.39
25	2305.89	0.1929	20.92

L’obiettivo dell’analisi dei gruppi è quello di selezionare comunque un campione di unità rappresentative rispetto alle 101 di partenza, su cui effettuare in seguito le simulazioni relative all’indice di severità climatica; in particolare mira a contemplare nel campione unità che ben rappresentino tutto lo spettro di valori assunto dalle due variabili, in special modo per quanto riguarda i casi estremi. Il metodo per stabilire il numero ottimale di gruppi sulla base del criterio di Duda-Hart è quello di trovare uno dei più elevati valori della statistica $[Je(2)/Je(1)]^2$ a fronte del quale corrisponde un basso valore della statistica *pseudo T*³. Il valore più elevato per la prima statistica (terza colonna della tabella) si avrebbe in corrispondenza di 6 gruppi, a fronte però di un elevato valore della seconda statistica.

Visti anche gli obiettivi di questa analisi si è optato per un numero più elevato di gruppi: poiché i valori più bassi della seconda statistica *pseudo T* si hanno in corrispondenza di 19, 20 e 21 gruppi, è stato fissato un numero di gruppi pari a 20.

² *Je(1)* indica la somma dei quadrati degli scarti dalla media all’interno del gruppo che deve essere suddiviso; *Je(2)* è la somma dei quadrati degli scarti dalla media all’interno dei due sottogruppi risultanti. Tale misura sarà pari a zero quando *Je(2)* è zero, cioè ognuno dei due sottogruppi non ha variabilità (ad esempio quando il gruppo da scomporre contiene due sole unità che vanno a formare due sottogruppi da un’unità ciascuno).

³ Le due statistiche sono legate dalla seguente relazione: $\frac{1}{Je(2)/Je(1)} = 1 + \frac{T^2}{N_1+N_2-2}$, dove N_1 e N_2 rappresentano il numero di osservazioni dei due sottogruppi.

I 20 gruppi

N°	Provincia	Sigla	N°	Provincia	Sigla	N°	Provincia	Sigla	N°	Provincia	Sigla
1	Agrigento	AG	5	Pistoia	PT	9	Massa	MS	15	Parma	PR
1	Catania	CT	5	Udine	UD	9	Modena	MO	16	Brindisi	BR
1	Siracusa	SR	5	Verona	VR	9	Rovigo	RO	16	Catanzaro	CZ
1	Trapani	TP	6	Arezzo	AR	9	Siena	SI	16	Latina	LT
2	Bari	BA	6	Bolzano	BZ	9	Treviso	TV	16	Nuoro	NU
2	Caltanissetta	CL	6	Lecco	LC	9	Viterbo	VT	16	Oristano	OR
2	Cosenza	CS	6	Novara	NO	10	Salerno	SA	16	Sassari	SS
3	Cagliari	CA	6	Pavia	PV	10	Trento	TN	17	Enna	EN
3	Foggia	FG	6	Torino	TO	11	Aosta	AO	18	Avellino	AV
3	Matera	MT	6	Verbania	VB	11	Varese	VA	18	Pisa	PI
3	Pescara	PE	6	Vercelli	VC	12	Cuneo	CN	18	Teramo	TE
3	Roma	RM	6	Vicenza	VI	13	Gorizia	GO	18	Venezia	VE
4	Caserta	CE	7	Bologna	BO	13	L'Aquila	AQ	19	Isernia	IS
4	Crotone	KR	7	Genova	GE	13	Rieti	RI	19	Macerata	MC
4	Lecce	LE	7	Prato	PO	13	Sondrio	SO	19	Perugia	PG
4	Messina	ME	7	Savona	SV	14	Belluno	BL	19	Pesaro Urbino	PU
4	Napoli	NA	8	Brescia	BS	14	Pordenone	PN	19	Piacenza	PC
4	Palermo	PA	8	Lodi	LO	15	Ancona	AN	19	Ravenna	RA
4	Ragusa	RG	8	Mantova	MN	15	Ascoli Piceno	AP	19	Reggio Emilia	RE
4	Reggio Calabria	RC	8	Milano	MI	15	Benevento	BN	19	Rimini	RN
4	Taranto	TA	8	Terni	TR	15	Chieti	CH	20	Campobasso	CB
5	Alessandria	AL	8	Trieste	TS	15	Firenze	FI	20	Frosinone	FR
5	Asti	AT	9	Cremona	CR	15	Forlì	FO	20	Potenza	PZ
5	Bergamo	BG	9	Ferrara	FE	15	Grosseto	GR			
5	Como	CO	9	La Spezia	SP	15	Imperia	IM			
5	Padova	PD	9	Lucca	LU	15	Livorno	LI			

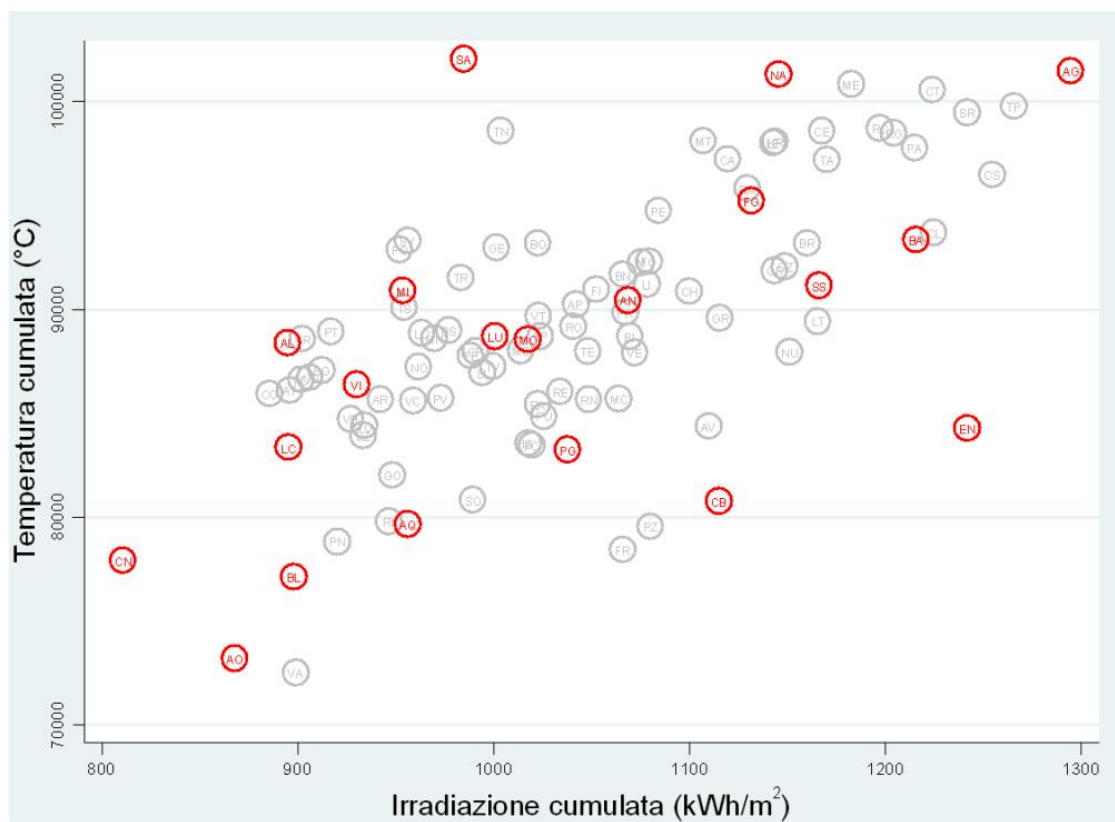
LA SCELTA DELLE LOCALITÀ DI TEST

Il campione

Una volta determinati i 20 gruppi in cui è stata partizionata la popolazione di unità di partenza, da ciascun gruppo situato nella zona periferica del piano è stata estratta un'unità; tale criterio è stato mantenuto anche per la fascia centrale di piano, preferendo talvolta capoluoghi appartenenti anche ad uno stesso gruppo ma che meglio “coprivano” il piano.

Il grafico rappresenta le unità inserite nel campione, elencate anche in tabella.

I 20 capoluoghi di provincia inseriti nel campione



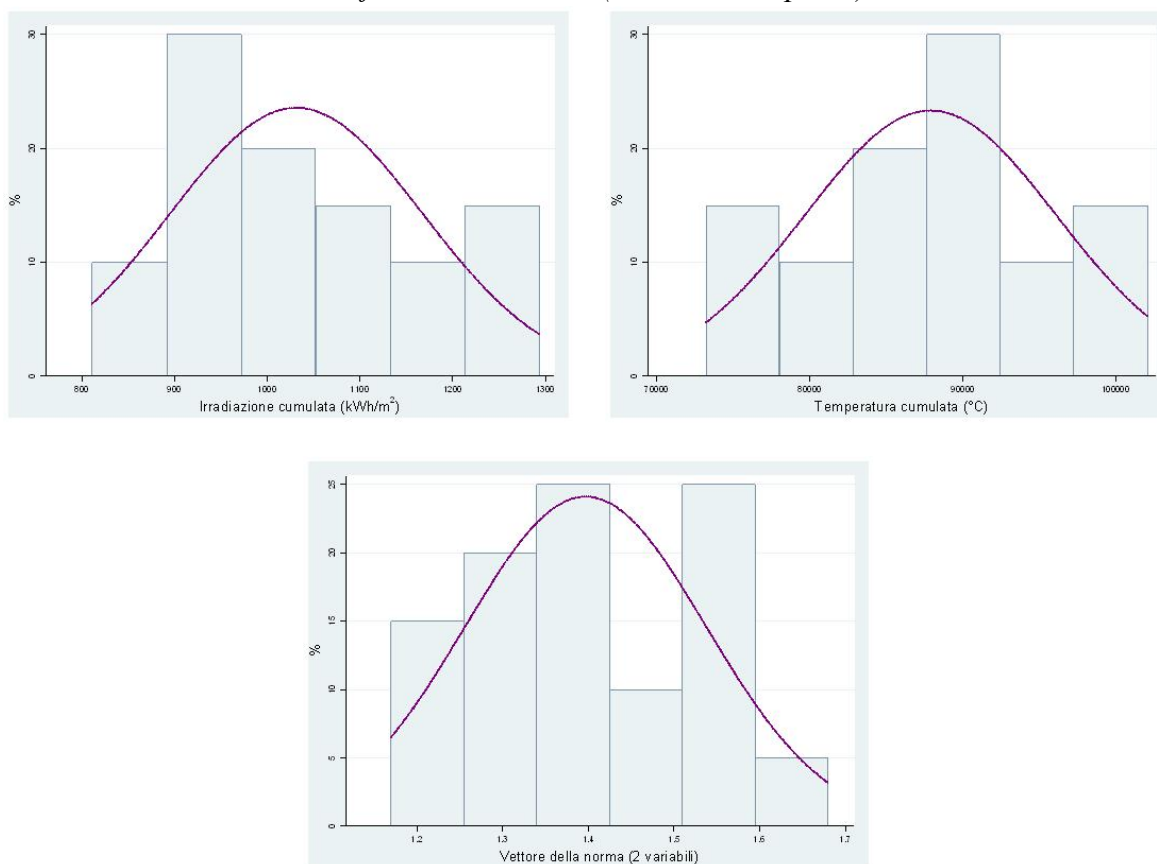
Nel caso di Lucca e Modena, unità appartenenti entrambe al gruppo 9 ed estremamente vicine per livelli di temperatura cumulata ed irradiazione cumulata, si è scelto appositamente di inserirle nel campione per valutare successivamente se anche le simulazioni effettuate su tali città portano a risultati simili per l'indice di severità climatica C.

I 20 capoluoghi di provincia inseriti nel campione

n°	Capoluogo	n°	Capoluogo	n°	Capoluogo	n°	Capoluogo	n°	Capoluogo
1	Agrigento	5	L'Aquila	9	Cuneo	13	Lucca	17	Perugia
2	Alessandria	6	Bari	10	Enna	14	Milano	18	Salerno
3	Ancona	7	Belluno	11	Foggia	15	Modena	19	Sassari
4	Aosta	8	Campobasso	12	Lecco	16	Napoli	20	Vicenza

Di seguito sono riportati per le unità campionate i grafici relativi alle distribuzioni di frequenza delle due variabili oggetto di studio e della norma N₂.

Grafici delle variabili (unità del campione)



Anche il sottogruppo di unità del campione si distribuisce per ogni variabile secondo una curva gaussiana, come evidenziato nei grafici e come verificato dal punto di vista statistico: dai valori del *p-value* riportati nella tabella successiva si evince come sia particolarmente elevata la probabilità di commettere un errore rifiutando l’ipotesi nulla che i dati relativi alle unità del campione seguano un andamento normale; ***in altre parole, c’è evidenza statistica che ciascuna variabile campionaria si distribuisca secondo una curva gaussiana.***

Test di normalità delle variabili (unità del campione)

	Media	Deviazione standard	Test di Shapiro-Wilk <i>p-value</i>	Test di Shapiro-Francia <i>p-value</i>
Irradiazione cumulata	1031.35	136.2082	0.65246	0.76847
Temperatura cumulata	87881.6	8212.511	0.65265	0.77569
Vettore della norma N₂	1.416109	0.1430876	0.88900	0.99635

A supporto della bontà della metodologia adottata per la costruzione del campione, attraverso il test del *rapporto di massima verosimiglianza* sono state infine verificate separatamente le ipotesi che il campione estratto discenda da una distribuzione normale caratterizzata dalla stessa media della popolazione μ e da una deviazione standard s^2 maggiore di quella della popolazione di origine σ_X^2 .

La tabella riporta per ciascuna variabile sia il valore della *statistica test*⁴ sia il relativo *p-value*.

Parametri della distribuzione normale delle variabili campionarie

	Media campionaria		Varianza campionaria	
	<i>Statistica test</i>	<i>p-value</i>	<i>Statistica test</i>	<i>p-value</i>
Irradiazione cumulata	-0.36837199	0.716668	31.22381	0.038147
Temperatura cumulata	-0.772610817	0.449258	32.06213	0.030755
Vettore della norma N₂	0.026228772	0.979348	31.36855	0.036766

I *p-value* riscontrati per il test sulla media campionaria mostrano come sia lecita per ogni variabile l'ipotesi che il campione discenda da una distribuzione normale con media uguale a quella della popolazione di partenza.

Per quanto concerne invece il test sulla varianza campionaria, i bassi *p-value* riscontrati rappresentano un risultato atteso, in quanto il campione è stato costruito con l'obiettivo dichiarato di prestare attenzione ai casi estremi:

in altre parole, in modo consapevole nel campione è stato assegnato un peso maggiore alle code della distribuzione rispetto a quanto osservato nella popolazione.

⁴ Nel caso della media campionaria, è stata condotta la seguente verifica d'ipotesi: $H_0: \bar{X} = \mu$ contro $H_1: \bar{X} \neq \mu$, dove μ rappresenta la media della popolazione e \bar{X} la media campionaria. La statistica test è data da: $t = \frac{\bar{X} - \mu}{S^* / \sqrt{n}}$,

dove n rappresenta la numerosità del campione e $S^* = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$ la radice quadrata della varianza campionaria corretta. Ipotizzando che H_0 sia vera, la statistica test t si distribuisce secondo una t di Student con $(n - 1)$ gradi di libertà, di cui si riporta in tabella il relativo valore in corrispondenza della statistica test.

Nel caso della varianza campionaria, è stata condotta la seguente verifica d'ipotesi: $H_0: S^2 \geq \sigma_X^2$ contro $H_1: S^2 < \sigma_X^2$, dove μ rappresenta la media della popolazione e S^2 la varianza campionaria. La statistica test è data da: $U = (n - 1) \frac{S^2}{\sigma_X^2}$, dove n rappresenta la numerosità del campione. Ipotizzando che H_0 sia vera, la statistica test U si distribuisce secondo un chi quadro χ^2 con $(n - 1)$ gradi di libertà, di cui si riporta in tabella il relativo valore in corrispondenza della statistica test.

Tuttavia, il fatto che l'ipotesi di una varianza campionaria s^2 statisticamente maggiore di quella della popolazione σ_X^2 sia accettata ad un livello di significatività del 5% ma, al tempo stesso, rifiutata ad un livello dell'1%, unitamente all'accettazione dell'ipotesi di coincidenza tra media del campione \bar{X} e della popolazione μ con elevati livelli di probabilità, ***dimostra come il campione costruito ben rappresenti tutto il piano di valori assunto dalle due variabili oggetto di studio, senza essere al contempo eccessivamente sbilanciato verso i relativi casi estremi.***

LE ELABORAZIONI DEI DATI CLIMATICI

VETTORE CLIMATICO LOCALE *RIDOTTO*

Definizione

Per vettore climatico locale intendiamo il vettore climatico di un sito le cui componenti sono date dal rapporto tra le grandezze climatiche cumulate per il sito nel periodo T e l'intervallo di tempo corrispondente a T stesso, normalizzate ciascuna rispetto al valor medio delle stesse componenti negli n siti del campione climatico del territorio nazionale in modo da renderle indipendenti dalle rispettive unità di misura. Il modulo del vettore così definito stabilisce una scala relativa tra le n località.

In formule le componenti *ridotte* saranno:

$$\begin{aligned} \dot{\Theta}_e &= \frac{\frac{1}{T} \int \mathcal{G}_e dt}{\Theta_*} = \frac{\Theta_e}{\Theta_*} \quad \text{con} \quad \Theta_* = \frac{1}{n} \sum_n \frac{1}{T} \int \mathcal{G}_e dt \\ \dot{X}_e &= \frac{\frac{1}{T} \int x_e dt}{X_*} = \frac{X_e}{X_*} \quad \text{con} \quad X_* = \frac{1}{n} \sum_n \frac{1}{T} \int x_e dt \\ \dot{Y}_e &= \frac{\frac{1}{T} \int I_0 dt}{Y_*} = \frac{Y_e}{Y_*} \quad \text{con} \quad Y_* = \frac{1}{n} \sum_n \frac{1}{T} \int I_0 dt \end{aligned}$$

Riprendiamo ora l'espressione dell'energia dalla quale si ricava la definizione dell'indice di severità climatica:

$$\frac{E_T}{VT} = \mathcal{K} = \mathcal{A}\Theta_e + \mathcal{B}X_e + \mathcal{C}Y_e - [\mathcal{A}\Theta_i + \mathcal{B}X_i + \mathcal{C}Y_{ref}]$$

semplifichiamo la notazione di Y_{ref} senza alterare il senso:

$$\frac{E_T}{VT} = \mathcal{K} = \mathcal{A}\Theta_e + \mathcal{B}X_e + \mathcal{C}Y_e - [\mathcal{A}\Theta_i + \mathcal{B}X_i + \mathcal{C}Y_i]$$

Introducendo le variabili climatiche *ridotte* prima definite ed estendendone la definizione anche alle variabili di riferimento, si ha:

$$\frac{E_T}{VT} = \mathcal{Z} = \Theta_* \mathcal{A} \dot{\Theta}_e + X_* \mathcal{B} \dot{X}_e + Y_* \mathcal{C} \dot{Y}_e - \left[\Theta_* \mathcal{A} \dot{\Theta}_i + X_* \mathcal{B} \dot{X}_i + Y_* \mathcal{C} \dot{Y}_i \right]$$

Ridefinendo i due vettori caratteristici con le variabili ridotte:

$$\vec{V}_B = \Theta_* \mathcal{A} \vec{i} + X_* \mathcal{B} \vec{j} + Y_* \mathcal{C} \vec{k}$$

$$\vec{V}_C = \dot{\Theta}_e \vec{i} + \dot{X}_e \vec{j} + \dot{Y}_e \vec{k}$$

e il vettore climatico di riferimento

$$\vec{V}_{C,ref} = \dot{\Theta}_i \vec{i} + \dot{X}_i \vec{j} + \dot{Y}_i \vec{k}$$

si arriva alla nuova espressione dell'indice di severità climatica C in funzione delle variabili ridotte e dei parametri ridotti dell'edificio:

$$C = \frac{\mathcal{Z}}{\cos(\alpha' - \beta'_{ref}) \sqrt{[\Theta_* \mathcal{A}]^2 + [X_* \mathcal{B}]^2 + [Y_* \mathcal{C}]^2}} = \frac{\sqrt{\dot{\Theta}_e^2 + \dot{X}_e^2 + \dot{Y}_e^2}}{\sqrt{(\dot{\Theta}_e^2 + \dot{X}_e^2 + \dot{Y}_e^2)_{ref}}} = \frac{|\vec{V}_C|}{|\vec{V}_{C,ref}|}$$

VETTORE CLIMATICO LOCALE RIDOTTO E VETTORE CLIMATICO LOCALE RIDOTTO STANDARD

Il modulo del vettore climatico locale ridotto è:

$$|\vec{V}_C| = \sqrt{\dot{\Theta}_e^2 + \dot{X}_e^2 + \dot{Y}_e^2} = \dot{\Theta}_e \sqrt{1 + \frac{\dot{X}_e^2}{\dot{\Theta}_e^2} + \frac{\dot{Y}_e^2}{\dot{\Theta}_e^2}} = \dot{\Theta}_e \sqrt{1 + \tan^2 \beta_{\Gamma\Theta} + \tan^2 \beta_{X\Theta}}$$

con ovvia definizione dei due angoli.

Si osserva che per i venti valori del vettore climatico ridotto locale delle venti località ritenute esemplificative della variabilità climatica estiva in Italia si ha:

$$\tan \beta_{\Gamma\Theta} \cong \tan \beta_{*\Gamma\Theta} \pm 10\%$$

$$\tan \beta_{X\Theta} \cong \tan \beta_{*X\Theta} \pm 5\%$$

dove $\tan \beta_{*\Gamma\Theta}$ e $\tan \beta_{*X\Theta}$ sono i valori medi delle venti località selezionate.

Possiamo allora definire un vettore climatico ridotto locale *standard* come:

$$|\vec{V}_C|_{std} = \dot{\Theta}_e \sqrt{1 + \tan^2 \beta_{*\Gamma\Theta} + \tan^2 \beta_{*X\Theta}}$$

L'ELABORAZIONE DEI DATI CLIMATICI DEL CAMPIONE DELLE LOCALITÀ

Nella tabella seguente sono riportate le elaborazioni effettuate sui dati climatici delle venti località selezionate:

		grandezze cumulate in T		
		T	Θ_e	$Y_e T$
Località	[h]	[h°C]	[kW h ² /m ²]	[h]
1 Agrigento	4392	101542.2	1308.6	51.2
2 Foggia	4392	95277.9	1139.3	42.5
3 Napoli	4392	101363.9	1153.5	42.9
4 Bari	4392	93418.9	1227.2	45.4
5 Sassari	4392	91216.0	1175.1	46.7
6 Enna	4392	91214.8	1173.8	46.7
7 Alessandria	4392	88416.6	904.5	47.1
8 Vicenza	4392	86414.7	939.8	43.2
9 Lecco	4392	83391.5	905.7	44.1
10 Aosta	4392	73218.6	878.4	38.8
11 Cuneo	4392	77923.6	820.5	41.5
12 L'Aquila	4392	83313.2	1046.4	36.6
13 Belluno	4392	77179.7	908.7	40.7
14 Ancona	4392	90506.2	1076.1	48.3
15 Modena	4392	88579.6	1025.4	46.8
16 Milano	4392	90903.2	962.6	46.7
17 Lucca	4392	88759.1	1009.3	46.8
18 Salerno	4392	102097.2	992.9	50.6
19 Campobasso	4392	80828.4	1122.6	36.5
20 Perugia	4392	83313.2	1046.4	36.6

Località	Θ_e	Υ_e	X_e	$\dot{\Theta}_e$	$\dot{\Upsilon}_e$	\dot{X}_e	$ \vec{V}_c $	$\beta_{\Gamma\Theta}$	$\beta_{X\Theta}$	$ \vec{V}_c _{std}$
1 Agrigento	23.120	0.298	0.012	1.148	1.257	1.165	2.063	47.601	45.414	1.986
2 Foggia	21.694	0.259	0.010	1.077	1.095	0.967	1.815	45.458	41.903	1.863
3 Napoli	23.079	0.263	0.010	1.146	1.108	0.975	1.869	44.040	40.387	1.982
4 Bari	21.270	0.279	0.010	1.056	1.179	1.032	1.889	48.145	44.324	1.827
5 Sassari	20.769	0.268	0.011	1.031	1.129	1.062	1.862	47.590	45.848	1.784
6 Enna	20.768	0.267	0.011	1.031	1.128	1.062	1.861	47.558	45.853	1.784
7 Alessandria	20.131	0.206	0.011	1.000	0.869	1.070	1.703	41.000	46.952	1.729
8 Vicenza	19.675	0.214	0.010	0.977	0.903	0.982	1.654	42.744	45.147	1.690
9 Lecco	18.987	0.206	0.010	0.943	0.870	1.002	1.628	42.705	46.742	1.631
10 Aosta	16.671	0.200	0.009	0.828	0.844	0.881	1.475	45.553	46.791	1.432
11 Cuneo	17.742	0.187	0.009	0.881	0.788	0.944	1.513	41.821	46.972	1.524
12 L'Aquila	18.969	0.238	0.008	0.942	1.005	0.833	1.610	46.865	41.479	1.629
13 Belluno	17.573	0.207	0.009	0.873	0.873	0.926	1.543	45.014	46.707	1.509
14 Ancona	20.607	0.245	0.011	1.023	1.034	1.097	1.822	45.296	46.997	1.770
15 Modena	20.168	0.233	0.011	1.002	0.985	1.064	1.762	44.528	46.740	1.732
16 Milano	20.697	0.219	0.011	1.028	0.925	1.061	1.743	41.982	45.912	1.778
17 Lucca	20.209	0.230	0.011	1.004	0.970	1.064	1.755	44.017	46.687	1.736
18 Salerno	23.246	0.226	0.012	1.154	0.954	1.150	1.888	39.571	44.896	1.997
19 Campobasso	18.404	0.256	0.008	0.914	1.079	0.829	1.639	49.726	42.225	1.581
20 Perugia	18.969	0.238	0.008	0.942	1.005	0.833	1.610	46.865	41.479	1.629
	Θ_*	Υ_*	X_*				$ \vec{V}_c $	$\beta_{*\Gamma\Theta}$	$\beta_{*X\Theta}$	$ \vec{V}_c _{std}$
	20.138	0.237	0.010				1.735	44.904	44.973	1.730

Si osserva che per il campione di località scelte:

$$\tan \beta_{*\Gamma\Theta} \cong 1$$

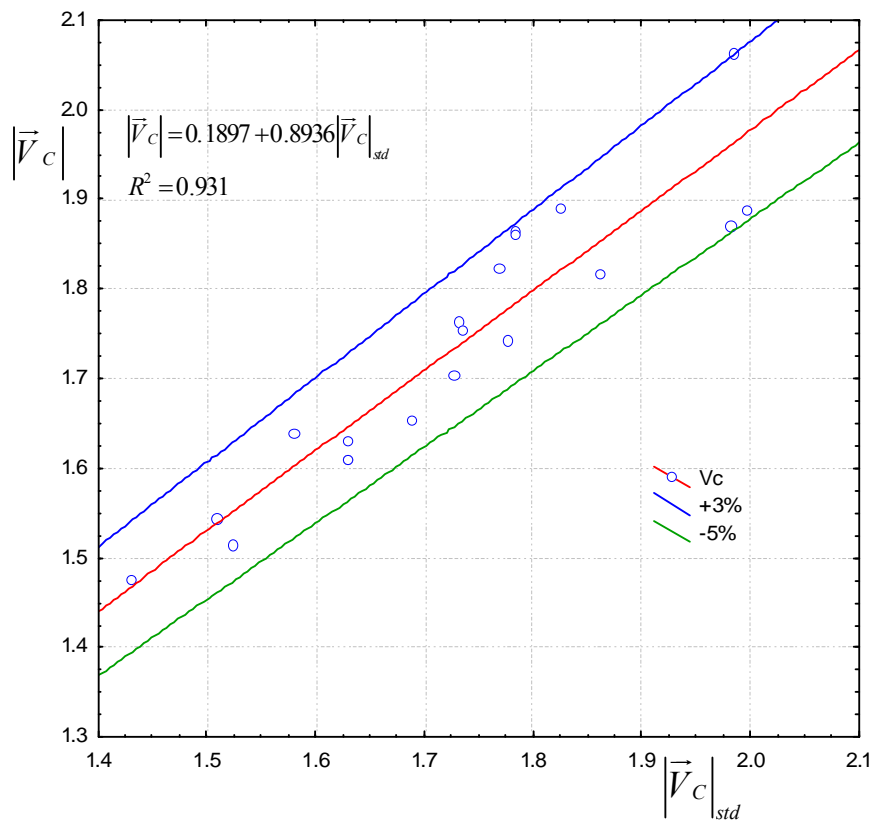
$$\tan \beta_{*X\Theta} \cong 1$$

É possibile allora definire il vettore climatico ridotto locale *standard* come:

$$|\vec{V}_c|_{std} = \dot{\Theta}_e \sqrt{3}$$

Il grafico seguente confronta i moduli dei due vettori.

Vettore climatico e vettore climatico *standard*



Si osserva che entro una banda [+3% ÷ -5%], generalmente più *stretta* rispetto a quella associata alla precisione nella misura sperimentale della componente di irradiazione al suolo, è possibile usare il vettore climatico ridotto *standard* al posto del vettore climatico ridotto.

Questa possibilità la si può usare o meno, poco cambia agli effetti del risultato finale: il vantaggio che se ne trae impiegandola però, è che, manifestamente nell'ambito e entro gli scopi di questa trattazione, è necessaria la sola temperatura cumulata Θ_e , per definire l'indice di severità climatica.

LA ROBUSTEZZA DELL'INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA C RISPETTO ALLE VARIABILI CLIMATICHE

L'indice di severità climatica C è, in effetti, poco sensibile alle variazioni di \dot{Y}_e , mentre è molto sensibile a quelle di $\dot{\Theta}_e$.

Infatti, considerando l'espressione:

$$C = \sqrt{\dot{\Theta}_e^2 + \dot{X}_e^2 + \dot{Y}_e^2} - \sqrt{\left(\dot{\Theta}_e^2 + \dot{X}_e^2 + \dot{Y}_e^2\right)_{ref}} = \dot{\Theta}_e \sqrt{1 + \frac{\dot{X}_e^2}{\dot{\Theta}_e^2} + \frac{\dot{Y}_e^2}{\dot{\Theta}_e^2}} - \dot{\Theta}_i \sqrt{1 + \frac{\dot{X}_i^2}{\dot{\Theta}_i^2} + \frac{\dot{Y}_i^2}{\dot{\Theta}_i^2}}$$

$$C = |\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,ref}|$$

operando il differenziale logaritmico

$$\frac{\delta C}{C} = \frac{\partial \left(|\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,ref}| \right)}{|\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,ref}|} = \frac{\partial |\vec{V}_C|}{|\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,ref}|}$$

sviluppando i termini:

$$\frac{\delta C}{C} = \frac{\partial |\vec{V}_C|}{|\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,ref}|} = \frac{1}{|\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,ref}|} \left[a \dot{\Theta}_e \frac{\partial \dot{\Theta}_e}{\dot{\Theta}_e} + \frac{1}{a} \frac{\dot{X}_e^2}{\dot{\Theta}_e} \frac{\partial \dot{X}_e}{\dot{X}_e} + \frac{1}{a} \frac{\dot{Y}_e^2}{\dot{\Theta}_e} \frac{\partial \dot{Y}_e}{\dot{Y}_e} \right]$$

dove si è indicato

$$a = \sqrt{1 + \frac{\dot{X}_e^2}{\dot{\Theta}_e^2} + \frac{\dot{Y}_e^2}{\dot{\Theta}_e^2}}$$

Passando alle differenze finite:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta |\vec{V}_C|}{|\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,ref}|} = \frac{1}{|\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,ref}|} \left[a \dot{\Theta}_e \frac{\Delta \dot{\Theta}_e}{\dot{\Theta}_e} + \frac{1}{a} \frac{\dot{X}_e^2}{\dot{\Theta}_e} \frac{\Delta \dot{X}_e}{\dot{X}_e} + \frac{1}{a} \frac{\dot{Y}_e^2}{\dot{\Theta}_e} \frac{\Delta \dot{Y}_e}{\dot{Y}_e} \right]$$

I fattori che moltiplicano le variazioni unitarie $\frac{\Delta \dot{\Theta}_e}{\dot{\Theta}_e}$, $\frac{\Delta \dot{X}_e}{\dot{X}_e}$, $\frac{\Delta \dot{Y}_e}{\dot{Y}_e}$ delle variabili climatiche

sono, mediamente e in termini di ordini di grandezza, considerando i valori centrali del *range* di variazione delle grandezze:

$$\frac{a}{|\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,ref}|} \dot{\Theta}_e \cong 7$$

$$\frac{1}{a} \frac{1}{|\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,ref}|} \frac{\dot{X}_e^2}{\dot{\Theta}_e} \cong 2$$

$$\frac{1}{a} \frac{1}{|\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,ref}|} \frac{\dot{Y}_e^2}{\dot{\Theta}_e} \cong 2$$

e quindi

$$\frac{\Delta C}{C} \cong 7 \frac{\Delta \dot{\Theta}_e}{\dot{\Theta}_e} + 2 \frac{\Delta \dot{X}_e}{\dot{X}_e} + 2 \frac{\Delta \dot{Y}_e}{\dot{Y}_e}$$

Questo significa che, mediamente e in termini di ordine di grandezza, una stessa variazione, per esempio del 5% delle variabili climatiche, si riflette su C del 35% se la variazione è di $\dot{\Theta}_e$ e di solo il 10% per \dot{X}_e e \dot{Y}_e .

Si conferma quindi l'assunto e si giustifica, inoltre, l'impiego del vettore climatico ridotto standard.

I RISULTATI DELLE SIMULAZIONI TRNsys 16

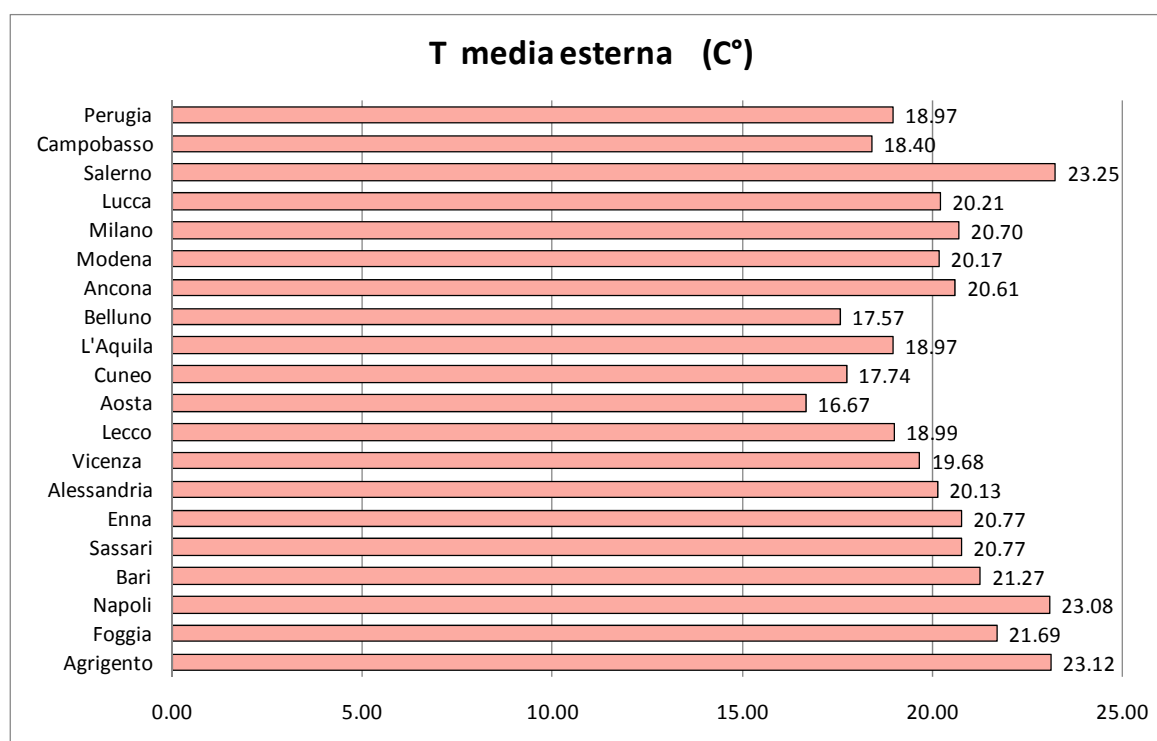
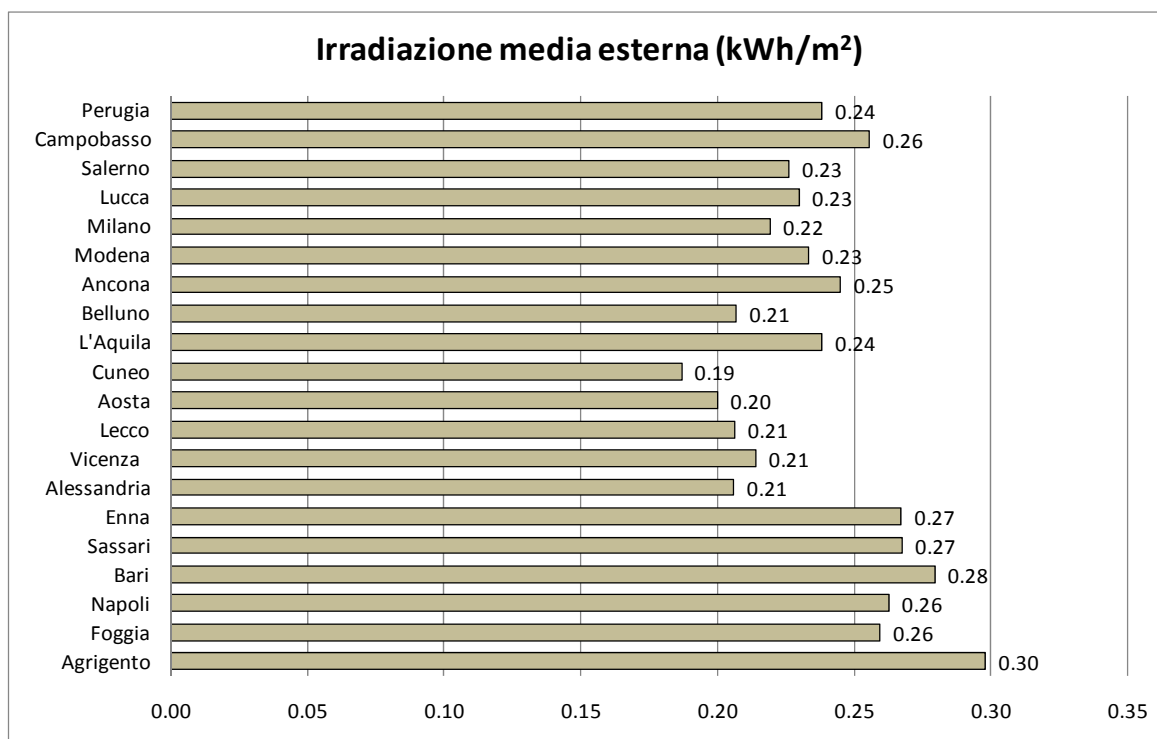
Viene di seguito riportato un quadro di sintesi delle variabili climatiche caratteristiche delle 20 località individuate, così come elaborate da TRNsys, e un'analisi dei risultati delle simulazioni effettuate per valutare l'energia necessaria alla climatizzazione estiva.

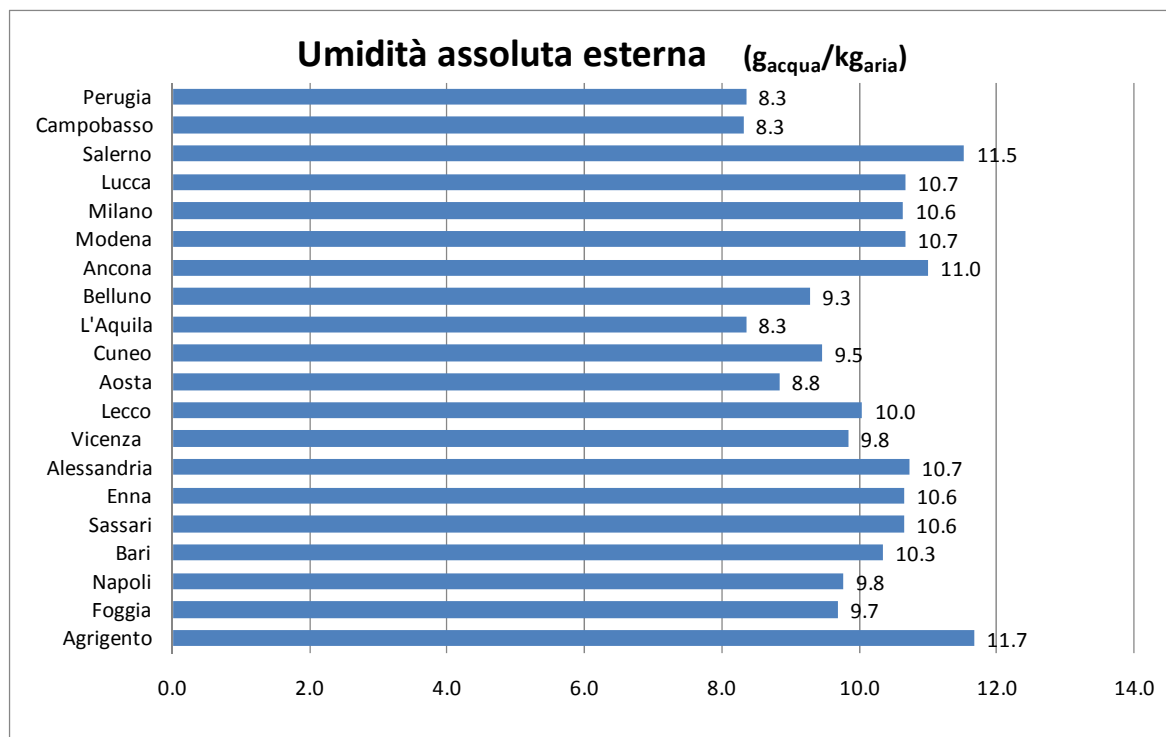
LE VARIABILI CLIMATICHE

Nella tabella seguente sono indicati i valori medi orari della Temperatura, dell'Umidità e dell'Irradiazione solare sul piano orizzontale, nel periodo di climatizzazione ipotizzato, 15 Aprile - 15 Ottobre (4392 ore). Tali valori sono quelli elaborati dal *Weather Generator* di TRNsys 16, partendo dai dati mensili dalla norma UNI 10349.

Variabili climatiche				
	Località	T media esterna (C°)	Irrad. media (kWh/m²)	U rel. esterna (%)
1	Agrigento	23.12	0.30	66.27
2	Foggia	21.69	0.26	60.54
3	Napoli	23.08	0.26	56.17
4	Bari	21.27	0.28	66.33
5	Sassari	20.77	0.27	70.10
6	Enna	20.77	0.27	70.10
7	Alessandria	20.13	0.21	71.46
8	Vicenza	19.68	0.21	67.82
9	Lecco	18.99	0.21	72.65
10	Aosta	16.67	0.20	73.45
11	Cuneo	17.74	0.19	73.24
12	L'Aquila	18.97	0.24	61.98
13	Belluno	17.57	0.21	73.03
14	Ancona	20.61	0.25	72.28
15	Modena	20.17	0.23	71.42
16	Milano	20.70	0.22	69.47
17	Lucca	20.21	0.23	71.67
18	Salerno	23.25	0.23	64.30
19	Campobasso	18.40	0.26	63.15
20	Perugia	18.97	0.24	61.98

Si riportano di seguito gli andamenti relativi ai valori medi orari delle variabili climatiche.





I valori medi, relativi alle 20 città esaminate, delle variabili climatiche risultano:

- Temperatura aria esterna 20.14 °C;
- Radiazione solare 0.24 kWh/m²;
- Umidità assoluta esterna 10.02 gacqua/kgaria.

Tra le città esaminate, lo scostamento massimo, in termini di T media, risulta essere dell'ordine del 40% (Salerno e Aosta); in termini di irradiazione media invece la differenza massima è più rilevante e raggiunge circa il 60% tra le città di Cuneo ed Agrigento.

Riguardo l'umidità, per la quale si registrano spesso valori simili tra le varie località, si riscontra uno scostamento massimo del 40% se si considera l'umidità assoluta; considerando invece, l'umidità relativa esterna, dipendente dalle temperature, la differenza si riduce al 30%.

ENERGIA E POTENZA PER LA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA

L'energia richiesta per la climatizzazione estiva è stata valutata mediante simulazioni dinamiche effettuate con TRNsys 16, su quattro configurazioni di edifici definite in base al grado di isolamento dell'involucro ed all'orientamento delle superfici verticali, secondo il seguente schema:

Q1 edificio non isolato Massimo carico termico (Massima esposizione);

Q2 edificio non isolato Minimo carico termico (Minima esposizione);

Q3 edificio isolato Massimo carico termico (Massima esposizione);

Q4 edificio isolato Minimo carico termico (Minima esposizione).

I risultati delle simulazioni sono riportati nelle tabelle successive in termini di energia sensibile (E sens), latente (E lat) e totale (E tot).

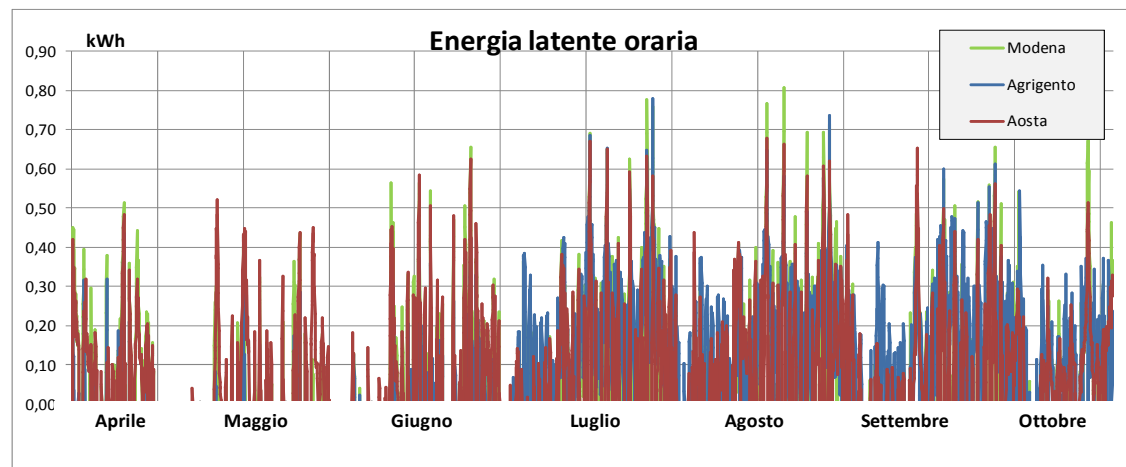
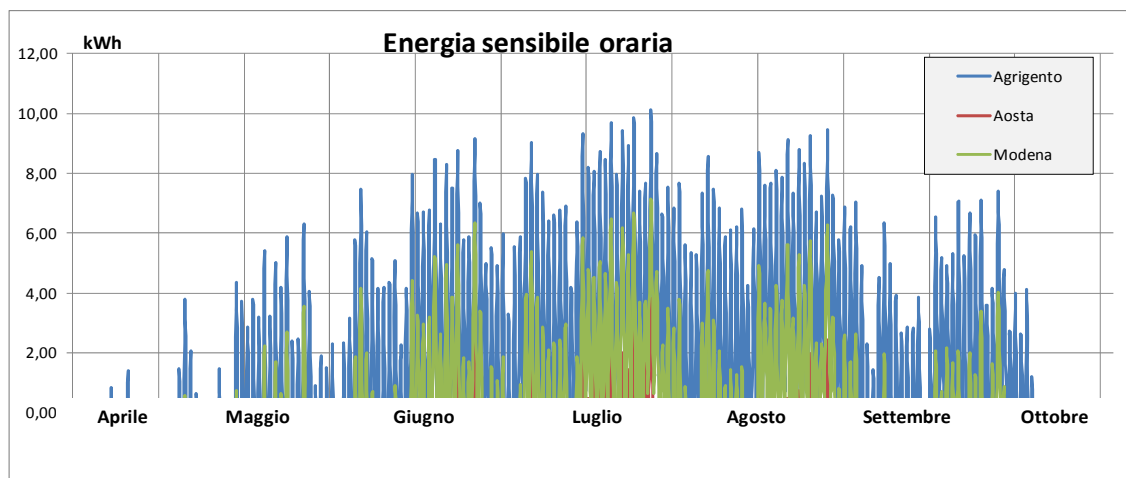
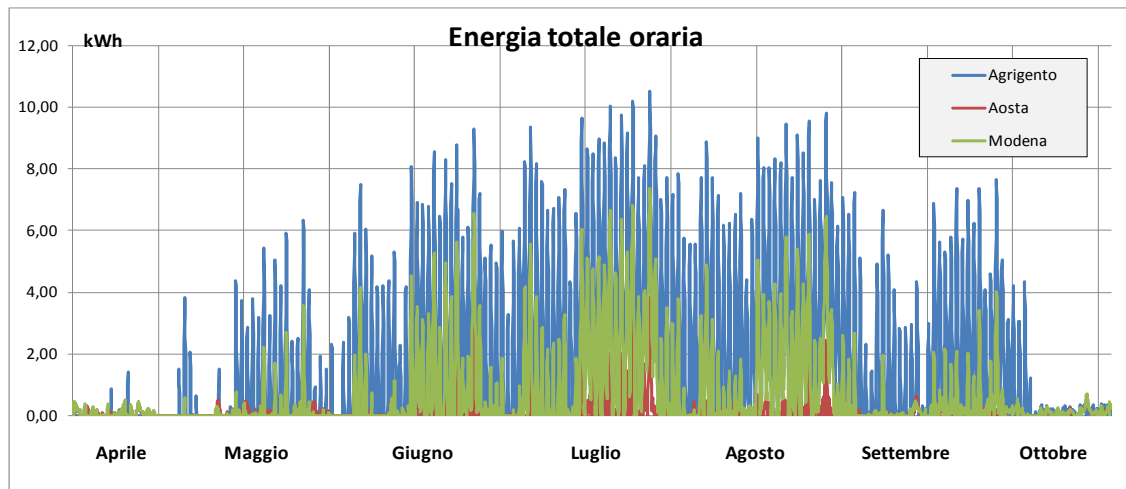
	Località	Q1			Q2		
		E sens (kWh)	E lat (kWh)	E tot (kWh)	E sens (kWh)	E lat (kWh)	E tot (kWh)
1	Agrigento	7607.9	425.1	8025.5	6702.5	426.0	7121.9
2	Foggia	4683.7	104.0	4787.8	4014.0	111.7	4125.8
3	Napoli	6424.0	68.5	6492.5	5614.2	70.7	5684.9
4	Bari	4149.0	165.6	4313.7	3450.2	179.4	3629.2
5	Sassari	3300.7	221.2	3522.2	2712.3	241.4	2954.1
6	Enna	2719.7	269.7	2989.5	2225.6	295.1	2520.9
7	Alessandria	2397.6	447.4	2845.4	2015.0	467.3	2482.8
8	Vicenza	1714.1	290.1	2004.7	1369.0	308.2	1677.6
9	Lecco	979.3	339.8	1319.1	738.3	368.1	1106.5
10	Aosta	225.0	334.3	559.6	141.9	364.1	506.3
11	Cuneo	493.8	395.5	889.4	360.6	420.5	781.3
12	L'Aquila	1386.9	116.7	1504.0	1069.8	131.4	1201.6
13	Belluno	488.3	325.1	813.7	336.1	356.9	692.3
14	Ancona	2972.4	380.5	3353.2	2452.6	408.6	2861.7
15	Modena	2687.3	369.2	3057.0	2219.5	392.4	2612.2
16	Milano	3070.7	393.1	3464.0	2586.3	413.4	2999.8
17	Lucca	2213.1	321.0	2534.4	1795.4	346.0	2141.6
18	Salerno	5782.5	351.2	6133.7	5114.7	355.8	5470.5
19	Campobasso	1174.5	69.0	1243.8	884.1	77.6	961.9
20	Perugia	1386.9	116.7	1504.0	1069.8	131.4	1201.6

	Località	Q3			Q4		
		E sens (kWh)	E lat (kWh)	E tot (kWh)	E sens (kWh)	E lat (kWh)	E tot (kWh)
1	Agrigento	5929.9	359.9	6289.9	4731.4	367.0	5099.3
2	Foggia	4175.6	59.8	4235.5	3129.8	66.4	3196.4
3	Napoli	5208.0	52.1	5260.1	4109.5	53.1	4162.3
4	Bari	4099.8	99.4	4199.2	2985.6	107.3	3093.2
5	Sassari	3445.4	113.4	3558.8	2463.0	127.8	2591.2
6	Enna	3005.0	120.1	3125.1	2123.5	137.2	2261.9
7	Alessandria	2300.4	282.1	2582.5	1650.6	305.6	1956.5
8	Vicenza	1974.7	170.6	2145.3	1287.5	186.3	1474.1
9	Lecco	1305.6	113.5	1419.1	795.1	143.4	939.1
10	Aosta	453.3	92.4	545.7	216.0	129.8	346.2
11	Cuneo	671.1	151.2	822.3	407.2	187.0	594.8
12	L'Aquila	1110.0	104.8	1214.9	635.1	134.6	770.2
13	Belluno	759.3	98.8	858.1	426.6	134.6	561.8
14	Ancona	3099.1	223.1	3322.2	2174.7	243.4	2418.8
15	Modena	2738.3	225.5	2963.7	1938.5	246.2	2184.9
16	Milano	2897.8	240.1	3137.9	2098.9	264.0	2363.0
17	Lucca	2457.3	159.0	2616.4	1671.2	178.5	1850.3
18	Salerno	4558.5	310.9	4869.4	3669.4	313.1	3982.5
19	Campobasso	1665.5	15.5	1681.0	1004.6	23.5	1028.2
20	Perugia	1786.0	28.9	1814.9	1112.8	46.3	1159.5

In presenza di un minor carico termico, dovuto al diverso orientamento dell'edificio (casi Q2 e Q4), l'energia latente rimane praticamente costante mentre diminuisce l'energia sensibile e, di conseguenza, l'energia totale di raffrescamento.

Riducendo il grado di isolamento (casi Q1 e Q2) l'energia latente aumenta mentre l'energia sensibile subisce delle variazioni legate alle caratteristiche climatiche delle località, e più in particolare si ha un aumento dell'energia sensibile e dell'energia totale per alcune delle località più calde (Agrigento, Foggia, Napoli e Bari). Quanto detto, sarà meglio evidenziato successivamente. Di seguito si riportano gli andamenti orari, per i mesi compresi nel periodo di climatizzazione, dell'energia richiesta, disaggregata nelle sue componenti (totale, sensibile e latente) e relativa a tre città con profilo climatico molto differente.

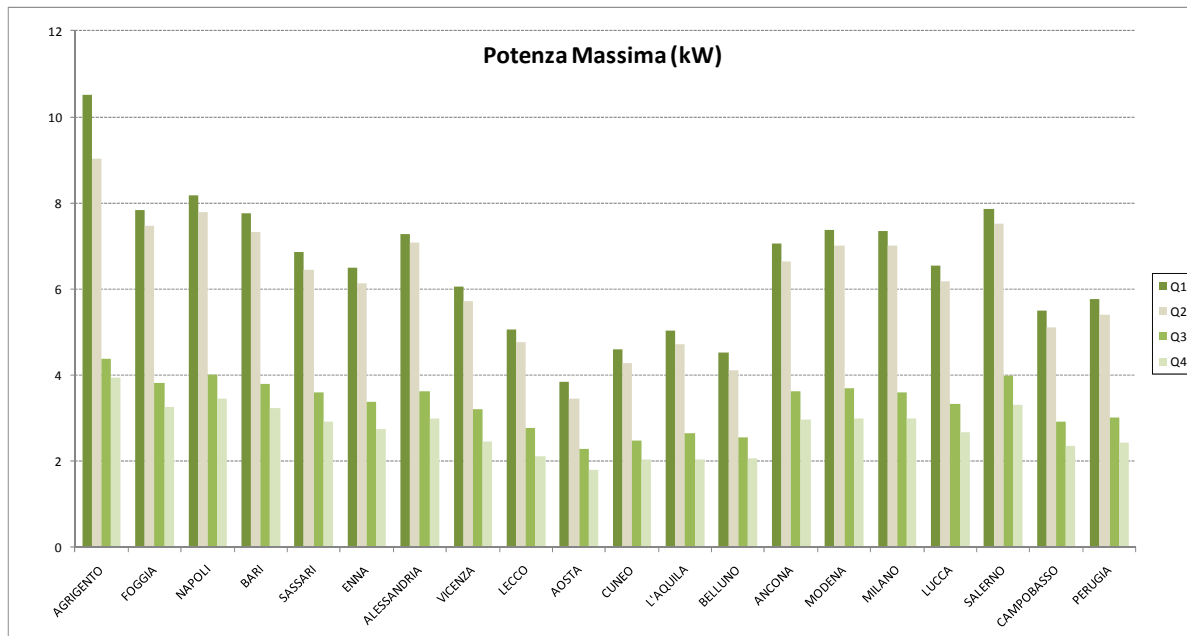
	T_{media} (°C)	I_r media (kWh/m ²)	U_a media (g _{acqua} /k _{garia})
Agrigento	23.12	0.30	11,67
Modena	20.17	0.23	10,66
Aosta	16.67	0.20	8,83

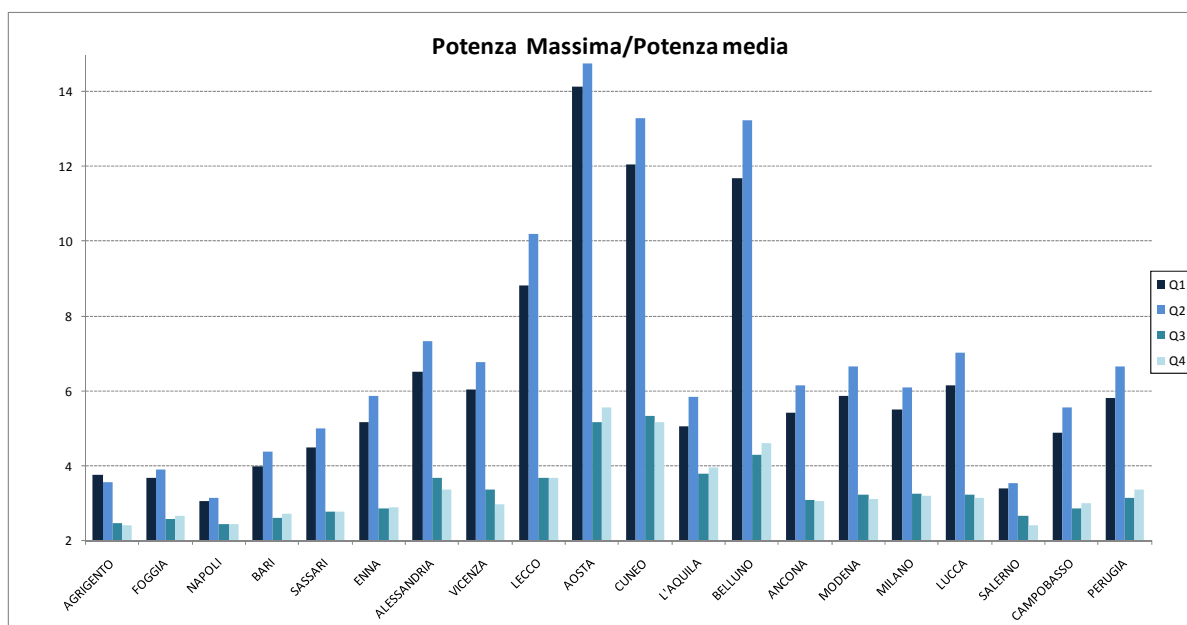


I grafici mettono in evidenza, qualitativamente, l'entità e la diversa distribuzione dell'energia richiesta:

- l'energia totale è dovuta in gran parte ai carichi sensibili, ma ci sono forti differenze tra le tre località. L'incidenza dei carichi latenti, richiesti per la regolazione del grado igrometrico dell'aria interna in città come Agrigento o anche Modena, è sostanzialmente trascurabile; diventa invece notevole nelle città fredde, come Aosta;
- nelle città calde, come Agrigento, si hanno carichi termici rilevanti anche nei mesi di Aprile ed Ottobre oltre in quelli tipicamente estivi; ciò determina sicuramente una forte richiesta in termini di energia rispetto a città più fredde, come Aosta;
- per i picchi di massimo carico si nota che, anche città come Modena, caratterizzate nel complesso da un clima non particolarmente caldo, nei mesi di Luglio e Agosto possono avere, in termini di potenza termica, un'elevata richiesta.

E' interessante considerare le differenze che emergono tra le varie località dall'analisi delle potenze termiche di raffreddamento richieste.





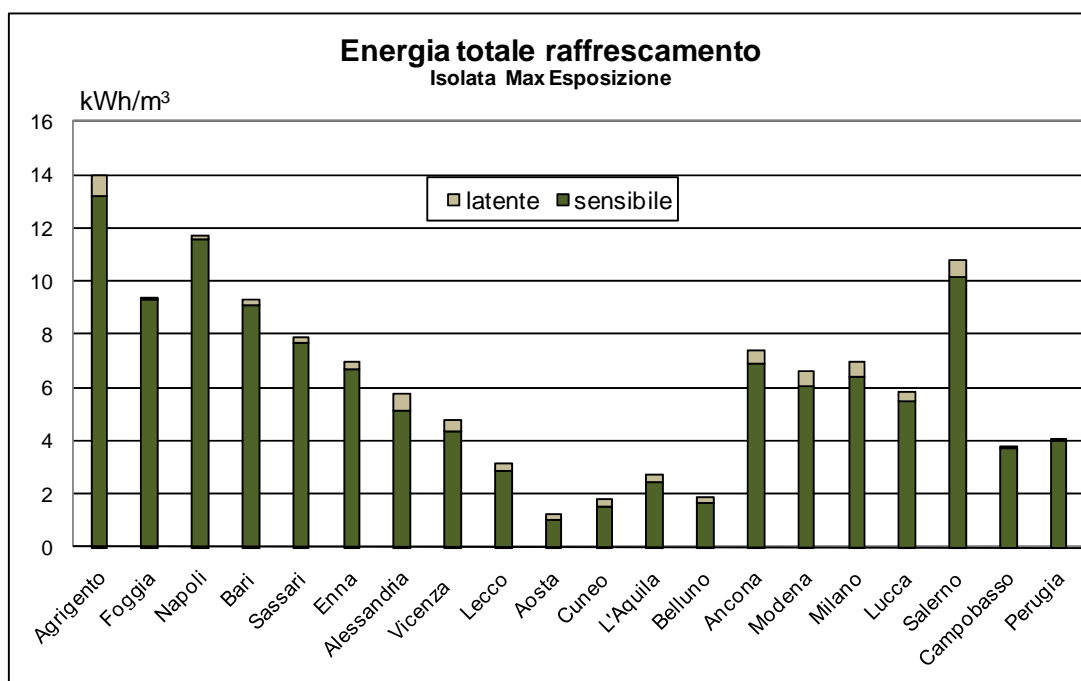
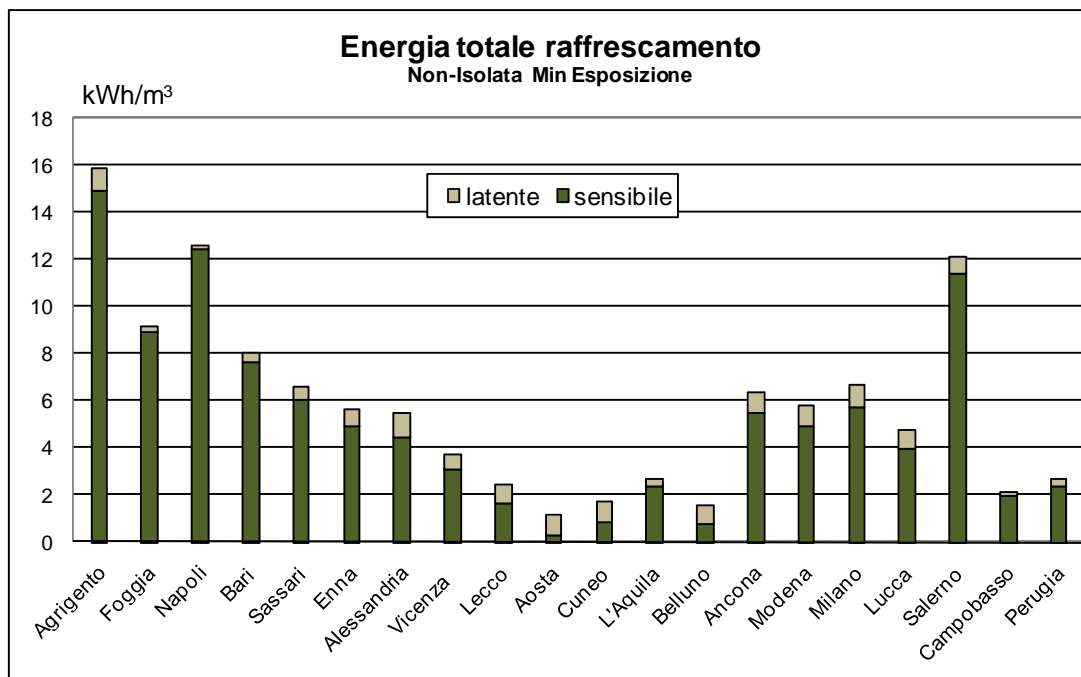
In termini di potenza massima, le differenze tra le varie città sono abbastanza contenute, in particolare per gli edifici isolati (Q3 e Q4).

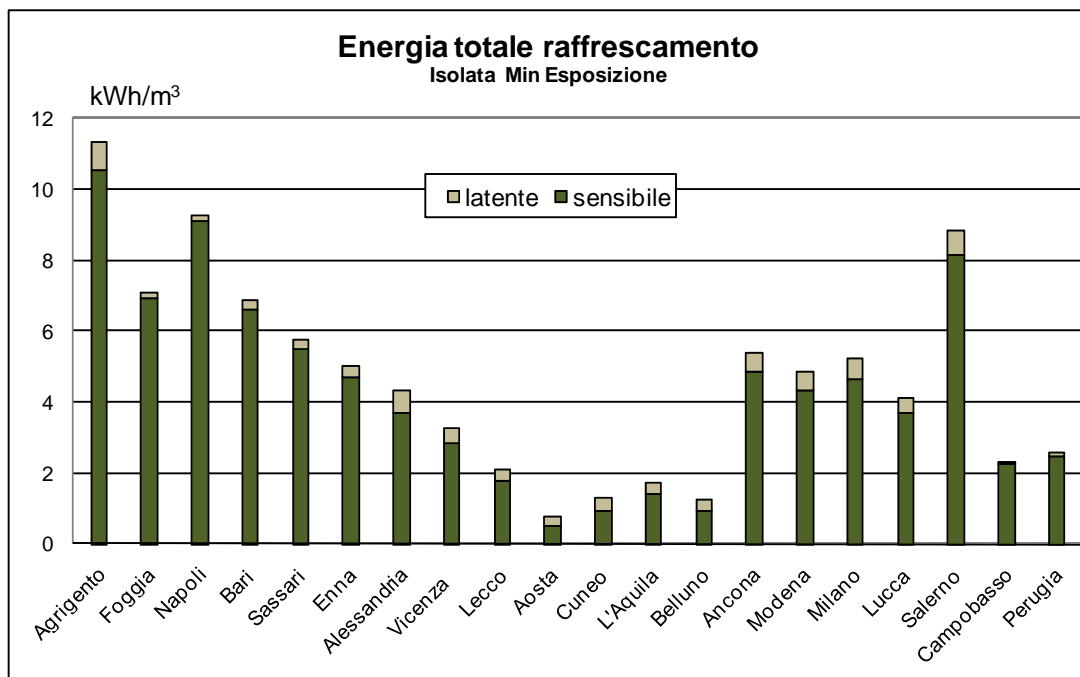
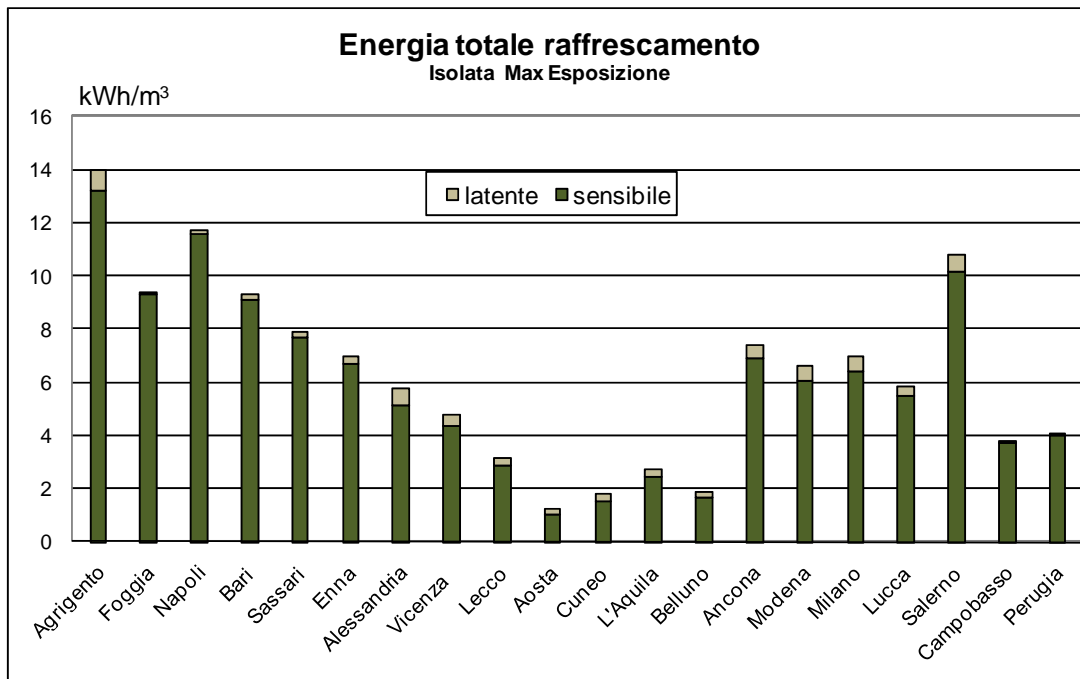
Si nota, infatti, che anche in luoghi meno caldi, come Alessandria, Milano, Modena, si raggiungono picchi di richiesta termica simili a quelli di città come Bari e Foggia. Ciò comporta che, per far fronte ai picchi di massima richiesta termica, è spesso necessaria una potenza rilevante.

Considerando il rapporto tra la potenza massima e la media, si nota un elevato valore nelle città più fredde e per edifici non isolati (Q1 e Q2); in queste località, infatti, i valori di picco vengono raggiunti soltanto in un numero limitato di ore.

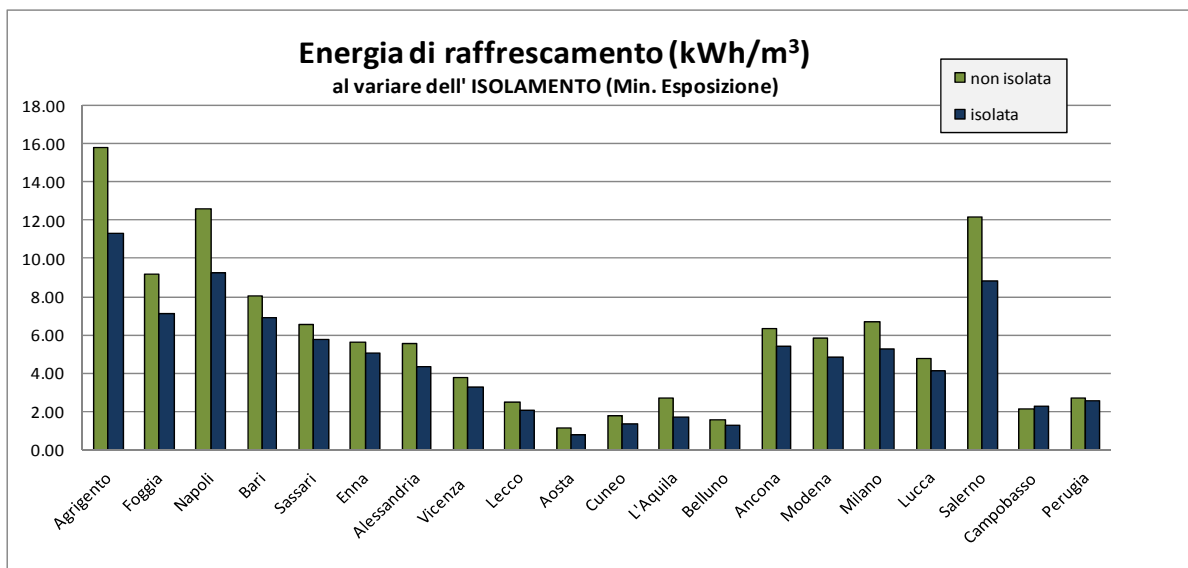
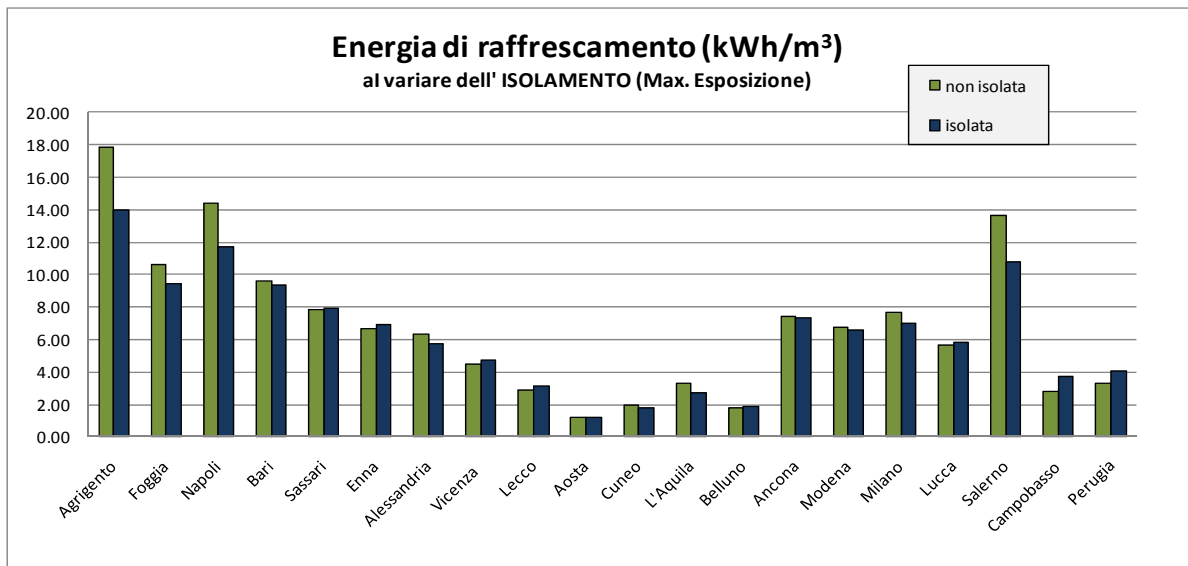
Tali aspetti diventano di particolare rilievo nella fase di dimensionamento e nella definizione del funzionamento dell'impianto di climatizzazione.

Quanto emerso in prima analisi dagli andamenti orari e dalle osservazioni fatte sulle potenze termiche, può essere integrato dai grafici seguenti, nei quali, per le diverse località considerate e per tutte le configurazioni di edificio (Q1, Q2, Q3 e Q4), viene rappresentata l'energia totale per unità di volume netto utile espressa nelle sue componenti sensibile e latente.



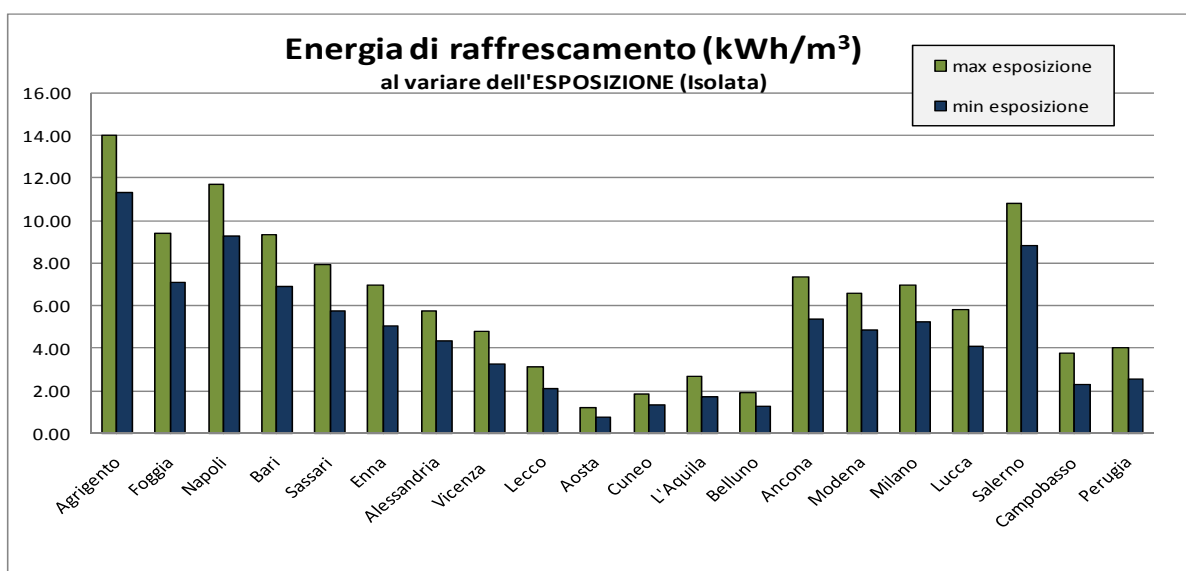
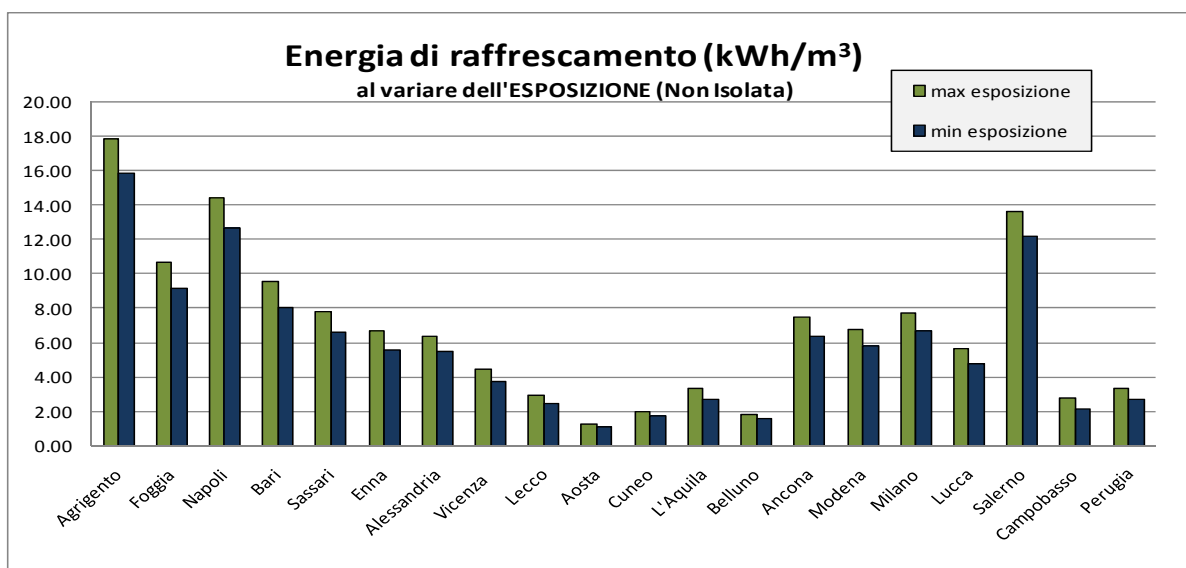


Dopo aver valutato l'energia richiesta, nelle varie località e nelle sue componenti principali, è possibile esaminare come essa sia influenzata dalle caratteristiche dell'edificio: nei grafici successivi sono messe a confronto le energie specifiche di raffrescamento al variare del grado di isolamento e dell'esposizione dell'edificio.



La tabella seguente riporta i valori delle differenze percentuali dei casi precedenti:

	Località	Max Esposizione		Min Esposizione	
		$Q_{non\ isol} - Q_{isol}$	Δ (%)	$Q_{non\ isol} - Q_{isol}$	Δ (%)
1	Agrigento	3.86	22%	4.49	28%
2	Foggia	1.23	12%	2.07	23%
3	Napoli	2.74	19%	3.38	27%
4	Bari	0.25	3%	1.19	15%
5	Sassari	-0.08	-1%	0.81	12%
6	Enna	-0.30	-5%	0.58	10%
7	Alessandria	0.58	9%	1.17	21%
8	Vicenza	-0.31	-7%	0.45	12%
9	Lecco	-0.22	-8%	0.37	15%
10	Aosta	0.03	2%	0.36	32%
11	Cuneo	0.15	8%	0.41	24%
12	L'Aquila	0.64	19%	0.96	36%
13	Belluno	-0.10	-5%	0.29	19%
14	Ancona	0.07	1%	0.98	15%
15	Modena	0.21	3%	0.95	16%
16	Milano	0.72	9%	1.42	21%
17	Lucca	-0.18	-3%	0.65	14%
18	Salerno	2.81	21%	3.31	27%
19	Campobasso	-0.97	-35%	-0.15	-7%
20	Perugia	-0.69	-21%	0.09	4%



	Località	Non Isolata		Isolata	
		$Q_{max} - Q_{min}$	Δ (%)	$Q_{max} - Q_{min}$	Δ (%)
1	Agrigento	2.01	11%	2.65	19%
2	Foggia	1.47	14%	2.31	25%
3	Napoli	1.79	12%	2.44	21%
4	Bari	1.52	16%	2.46	26%
5	Sassari	1.26	16%	2.15	27%
6	Enna	1.04	16%	1.92	28%
7	Alessandria	0.81	13%	1.39	24%
8	Vicenza	0.73	16%	1.49	31%
9	Lecco	0.47	16%	1.07	34%
10	Aosta	0.12	10%	0.44	37%
11	Cuneo	0.24	12%	0.51	28%
12	L'Aquila	0.67	20%	0.99	37%
13	Belluno	0.27	15%	0.66	35%
14	Ancona	1.09	15%	2.01	27%
15	Modena	0.99	15%	1.73	26%
16	Milano	1.03	13%	1.72	25%
17	Lucca	0.87	15%	1.70	29%
18	Salerno	1.47	11%	1.97	18%
19	Campobasso	0.63	23%	1.45	39%
20	Perugia	0.67	20%	1.46	36%

I valori dell'energia richiesta, al variare del grado di isolamento dell'involucro edilizio, sembrano essere notevolmente influenzati dalle condizioni climatiche al contorno e dal carico termico per irraggiamento che giunge all'edificio soprattutto attraverso le superfici trasparenti. Analizzando i grafici riportati si nota infatti che, nel caso di massima esposizione, cioè con massimo carico da irraggiamento entrante, passando da una stratigrafia non isolata ($U= 1,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), ad una con isolamento ($U= 0,34 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), è possibile riscontrare incrementi (dall'1% al 22%) o decrementi (dall'1% al 35%) dell'energia a secondo della città in esame: anche se le riduzioni di energia corrispondono soprattutto a città tendenzialmente fredde, mentre gli aumenti si riscontrano nelle città più calde, alcune località fanno eccezione a questa tendenza (L'Aquila +19%, Sassari -1%)

Diversa appare invece la situazione se si analizzano i valori dell'energia di raffrescamento richiesta, nel caso di minima esposizione, cioè con il minimo carico da irraggiamento entrante nell'edificio: in tal caso si riscontra sempre una maggior richiesta di energia per la struttura non isolata (dal 4% al 28% in più rispetto alla isolata), con la sola eccezione della città di Campobasso, in cui, comunque, si registra una lieve riduzione (-7%).

Sembra quindi che al ridursi dell'incidenza dell'irraggiamento sul carico termico totale, un minor isolamento delle strutture, determina, analogamente a quanto accade nel caso invernale, un maggior scambio termico con l'ambiente esterno e quindi, un maggior dispendio energetico.

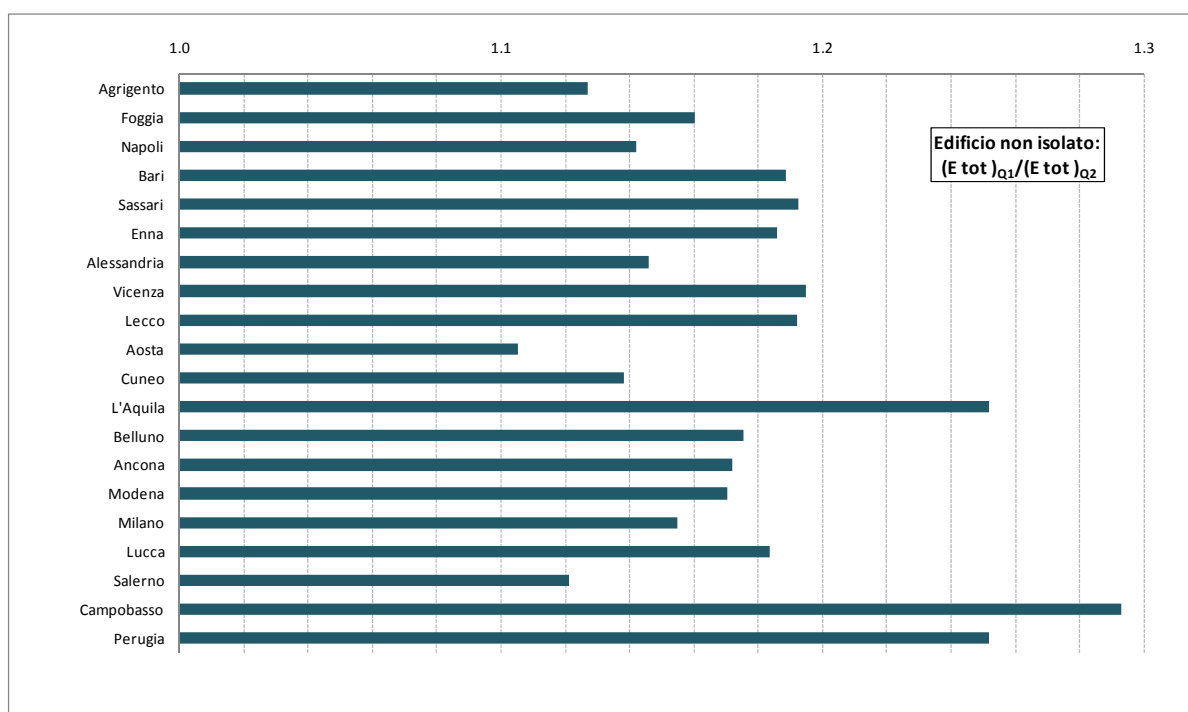
Se si analizzano i valori dell'energia richiesta, fissando il grado di isolamento, al variare dell'orientamento, si riscontra sempre un maggior dispendio energetico in corrispondenza del massimo carico da irraggiamento in entrata, cioè per la massima esposizione. Nel caso di struttura non isolata gli incrementi dell'energia vanno dal 10% al 23%, e i valori massimi si trovano in corrispondenza delle città più fredde (come L'Aquila, Aosta, Belluno e Campobasso). Nel caso di struttura isolata gli aumenti vanno dal 18% al 39% con i valori massimi corrispondenti alle stesse città precedentemente citate.

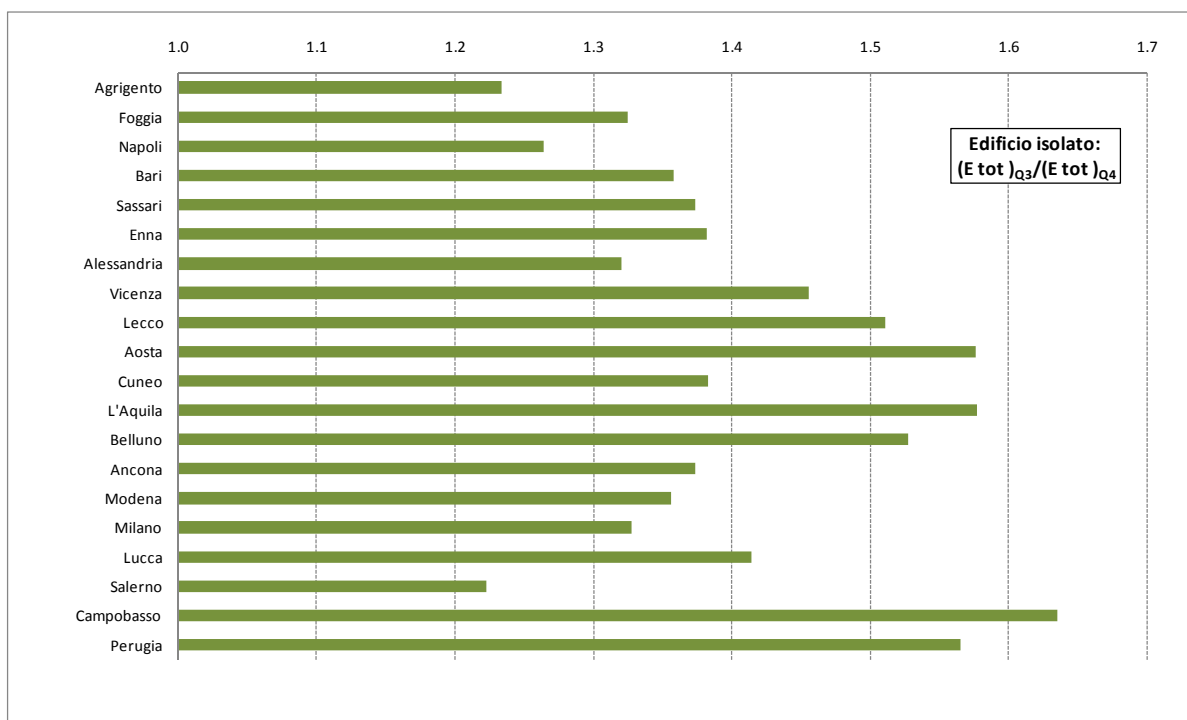
Il maggior carico termico derivante dal diverso orientamento comporta quindi un maggior dispendio energetico ed ha un'incidenza maggiore nel caso di struttura isolata

E' importante sottolineare che i casi esaminati differiscono, in termini di massa, del 15% circa. Effetti diversi si potrebbero riscontrare nel caso in cui si confrontassero strutture caratterizzate da maggiori differenze in termini di massa e, quindi, di capacità termica, che, come noto, influenza l'entità e l'andamento temporale degli scambi termici.

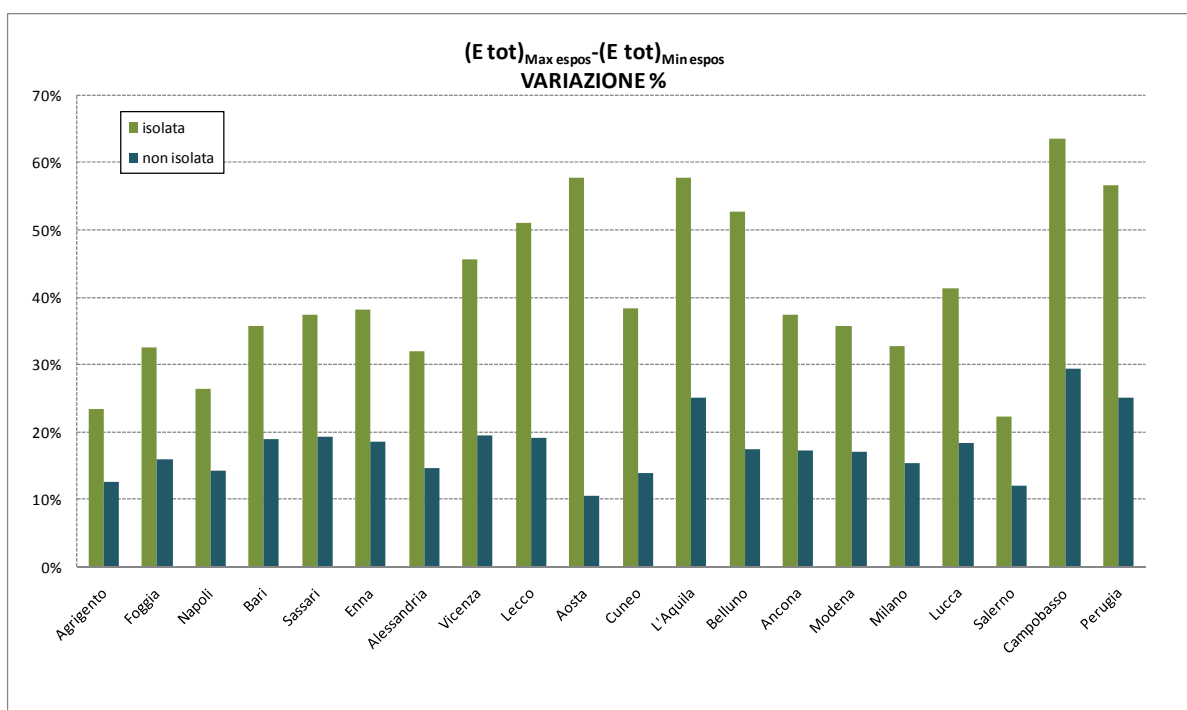
Si ritiene, tuttavia, che nell'ottica di confronto di edifici rappresentativi del panorama edilizio del territorio nazionale, i valori adottati siano congruenti.

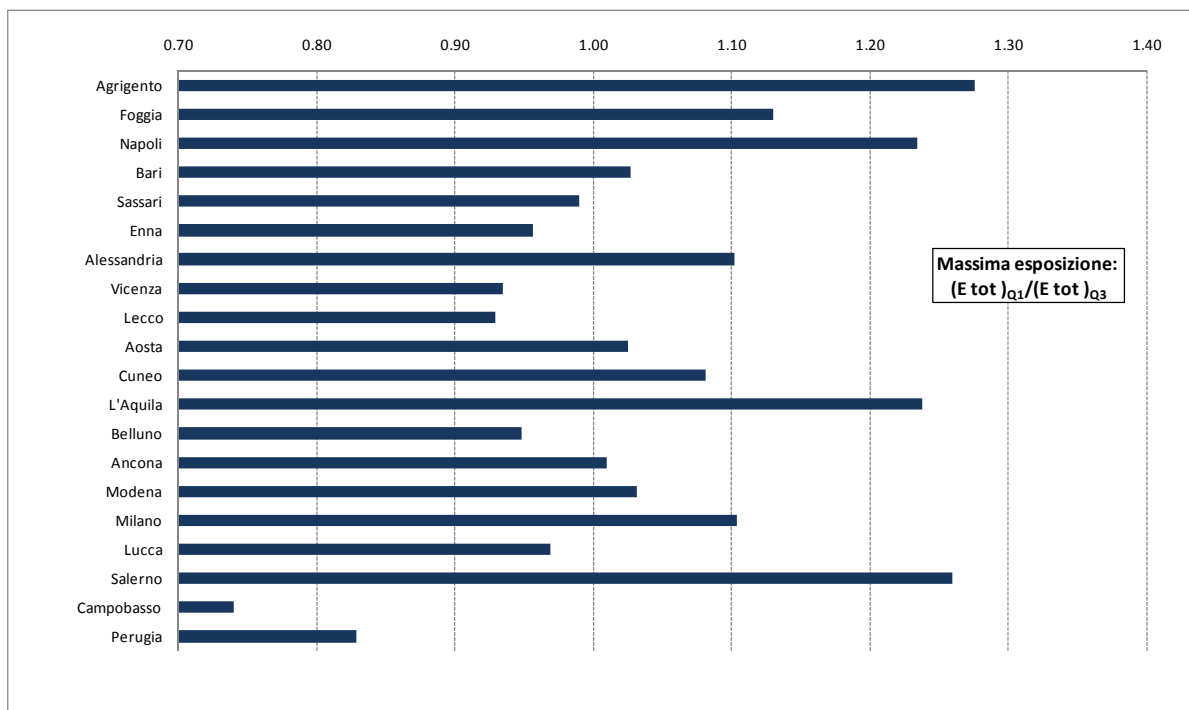
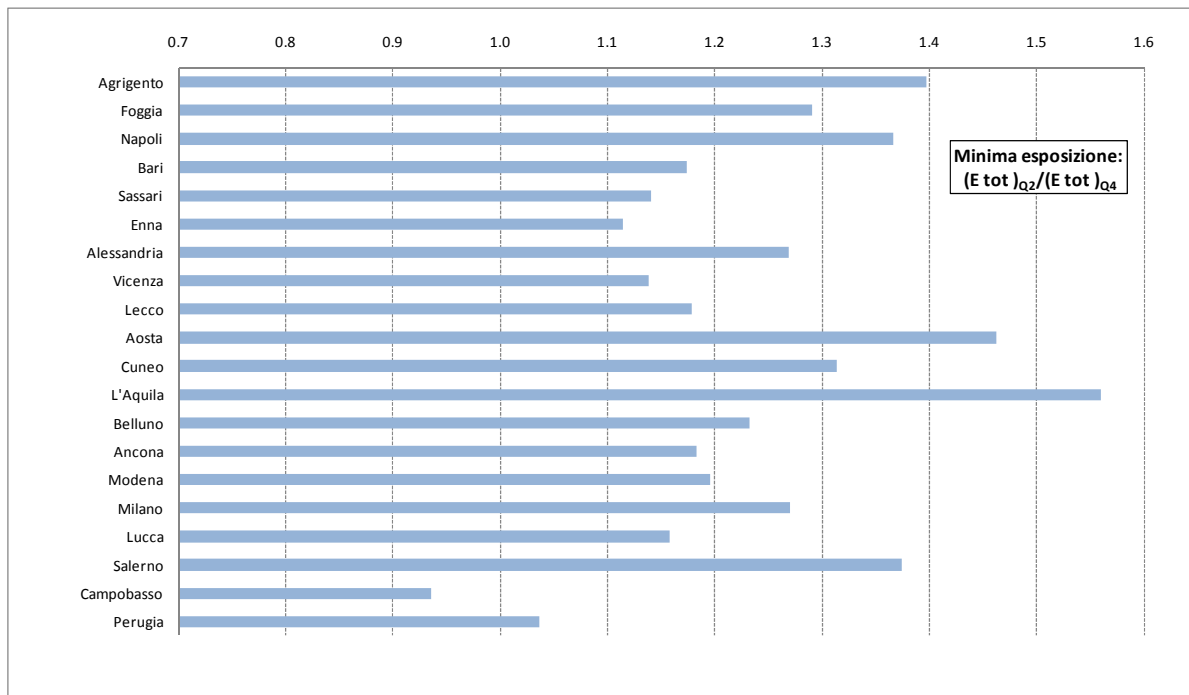
Nei grafici successivi sono riportati, per le singole località, i rapporti tra i valori massimi e i valori minimi dell'energia di raffrescamento nonché le relative variazioni percentuali al variare delle esposizioni e del tipo di isolamento.

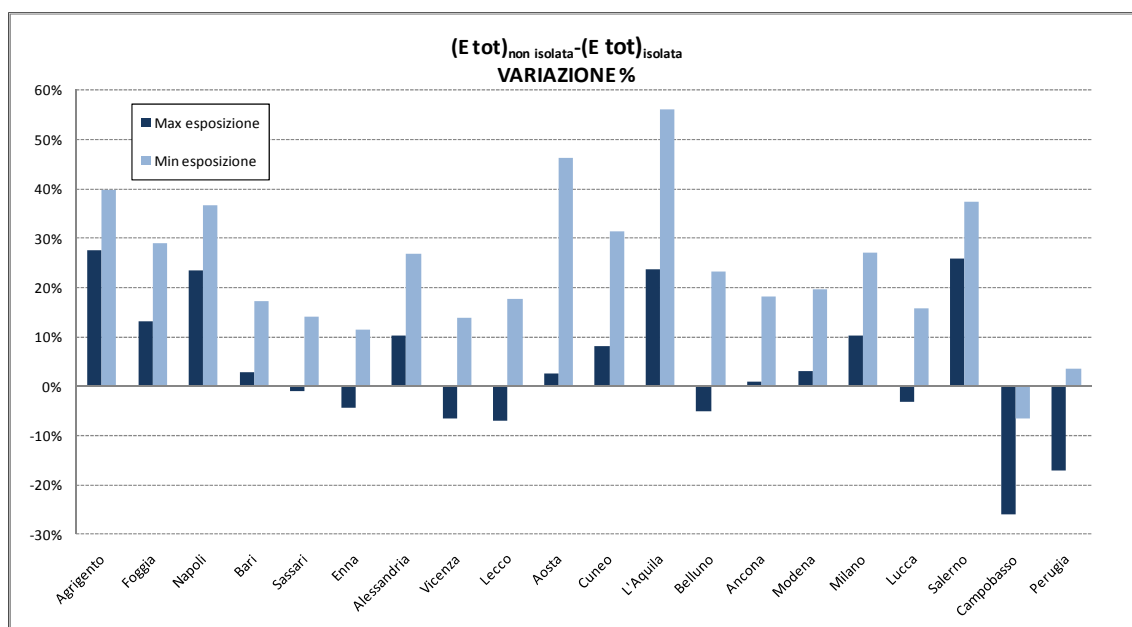




In quest'ultimo grafico si può notare che nel caso di edificio isolato, le variazioni percentuali medie della E totale, dovute alla differente esposizione, sono di circa il 40% contro il 18% dell'edificio non isolato; in entrambi i casi il valore di picco si ha per Campobasso (63% isolata; 30% non isolata).







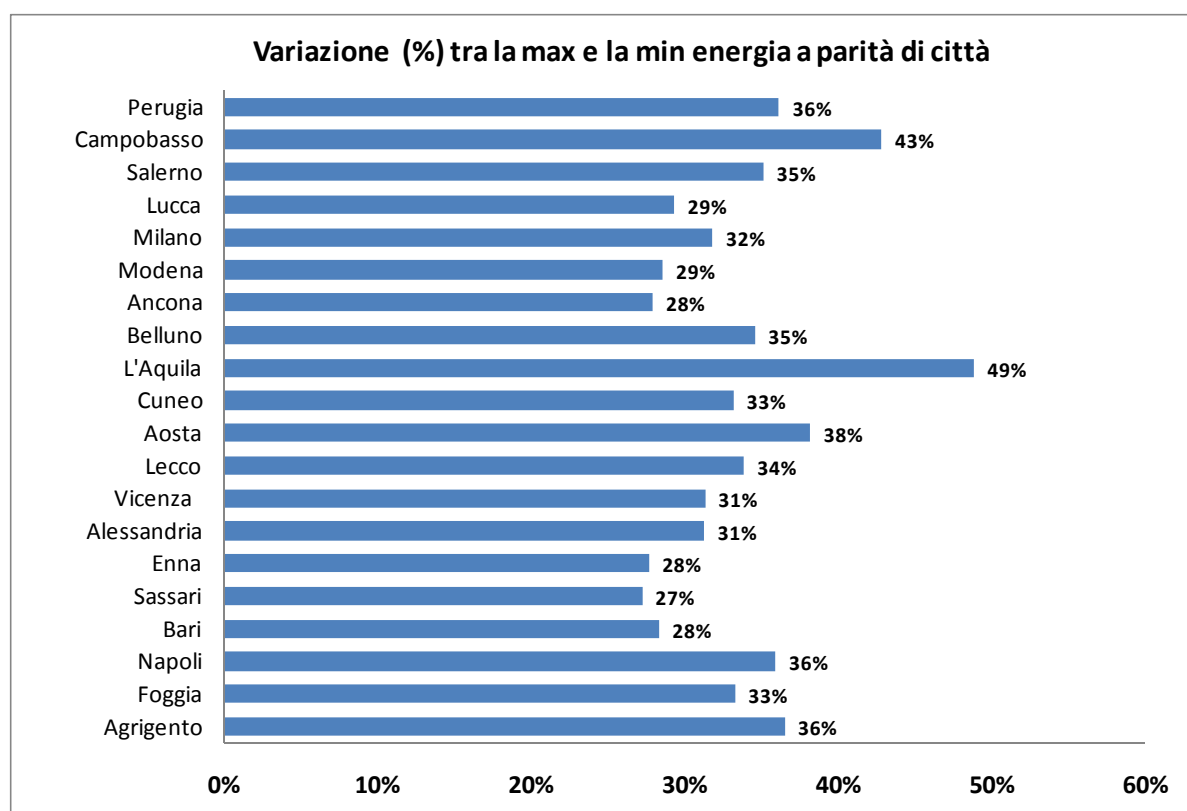
L'isolamento dell'edificio può comportare incrementi o decrementi dell'energia di raffrescamento in funzione della località analizzata; in alcune di queste si hanno situazioni opposte al variare dell'esposizione. Nella tabella seguente sono evidenziati i valori di massima (in nero) e minima (in rosso) energia specifica per le quattro configurazioni esaminate.

	Q1 (non iso max) kWh/m ³	Q2 (non iso min) kWh/m ³	Q3 (iso max) kWh/m ³	Q4 (iso min) kWh/m ³
Agrigento	17.83	15.83	13.98	11.33
Foggia	10.64	9.17	9.41	7.10
Napoli	14.43	12.63	11.69	9.25
Bari	9.59	8.06	9.33	6.87
Sassari	7.83	6.56	7.91	5.76
Enna	6.64	5.60	6.94	5.03
Alessandria	6.32	5.52	5.74	4.35
Vicenza	4.45	3.73	4.77	3.28
Lecco	2.93	2.46	3.15	2.09
Aosta	1.24	1.13	1.21	0.77
Cuneo	1.98	1.74	1.83	1.32
L'Aquila	3.34	2.67	2.70	1.71
Belluno	1.81	1.54	1.91	1.25
Ancona	7.45	6.36	7.38	5.38
Modena	6.79	5.80	6.59	4.86
Milano	7.70	6.67	6.97	5.25
Lucca	5.63	4.76	5.81	4.11
Salerno	13.63	12.16	10.82	8.85
Campobasso	2.76	2.14	3.74	2.28
Perugia	3.34	2.67	4.03	2.58

Nelle città particolarmente calde, l'incidenza dei carichi termici per trasmissione con l'aria esterna e per irraggiamento risultano entrambe rilevanti; la massima energia si ha in edifici non isolati e con massima esposizione (Q1). Nelle altre città, la configurazione che dà luogo a maggior spesa energetica risulta in diversi casi anche quella isolata e con massima esposizione (Q3); sembrerebbe, quindi, che l'isolamento delle strutture, in certi contesti abbia un effetto negativo, in quanto l'edificio non riesce a smaltire con l'esterno, nelle ore più fresche, i carichi termici accumulati.

La minore energia di raffrescamento corrisponde invece, con l'eccezione di Campobasso, allo edificio isolato con la minima esposizione, che risulta dunque la configurazione che maggiormente limita il dispendio energetico.

È interessante, a parità di località, e quindi di caratteristiche climatiche al contorno, valutare la differenza di energia richiesta in funzione della tipologia di edificio in esame.



In questo caso, tra le configurazioni di max e min si hanno differenze notevoli, che vanno dal 27% di Sassari al 49% di L'Aquila; appare quindi chiara, l'importanza delle caratteristiche dell'edificio, ai fini del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva.

E' importante considerare, comunque, che risulta difficoltoso trarre conclusioni di carattere generale, sulla configurazione dell'edificio (grado di isolamento e orientamento) più o meno conveniente in relazione al clima delle località in esame.

L'effetto combinato dei carichi termici, sensibili e latenti, e l'incidenza che questi possono assumere in relazione alle condizioni climatiche ed alla configurazione dell'edificio, può risultare talvolta non facilmente prevedibile ma richiede un'adeguata analisi del caso specifico.

ENERGIA NORMALIZZATA

Riprendiamo in esame, nelle tabelle seguenti, i risultati dei calcoli delle simulazioni TRNSYS 16 effettuati sui quattro casi considerati e le relative normalizzazioni impiegate.

Località		Q1 (NON ISOLATA ESPOSIZIONE MAX)				Q2 (NON ISOLATA ESPOSIZIONE MIN)			
		E_{sens} (kWh)	E_{lat} (kWh)	E_{totale} (kWh)	E_{totale}/VT (kW/m ³)	E_{sens} (kWh)	E_{lat} (kWh)	E_{totale} (kWh)	E_{totale}/VT (kW/m ³)
1	Agrigento	7607.9	425.1	8025.5	0.00406	6702.5	426.0	7121.9	0.00360
2	Foggia	4683.7	104.0	4787.8	0.00242	4014.0	111.7	4125.8	0.00209
3	Napoli	6424.0	68.5	6492.5	0.00329	5614.2	70.7	5684.9	0.00288
4	Bari	4149.0	165.6	4313.7	0.00218	3450.2	179.4	3629.2	0.00184
5	Sassari	3300.7	221.2	3522.2	0.00178	2712.3	241.4	2954.1	0.00149
6	Enna	2719.7	269.7	2989.5	0.00151	2225.6	295.1	2520.9	0.00128
7	Alessandria	2397.6	447.4	2845.4	0.00144	2015.0	467.3	2482.8	0.00126
8	Vicenza	1714.1	290.1	2004.7	0.00101	1369.0	308.2	1677.6	0.00085
9	Lecco	979.3	339.8	1319.1	0.00067	738.3	368.1	1106.5	0.00056
10	Aosta	225.0	334.3	559.6	0.00028	141.9	364.1	506.3	0.00026
11	Cuneo	493.8	395.5	889.4	0.00045	360.6	420.5	781.3	0.00040
12	L'Aquila	1386.9	116.7	1504.0	0.00076	1069.8	131.4	1201.6	0.00061
13	Belluno	488.3	325.1	813.7	0.00041	336.1	356.9	692.3	0.00035
14	Ancona	2972.4	380.5	3353.2	0.00170	2452.6	408.6	2861.7	0.00145
15	Modena	2687.3	369.2	3057.0	0.00155	2219.5	392.4	2612.2	0.00132
16	Milano	3070.7	393.1	3464.0	0.00175	2586.3	413.4	2999.8	0.00152
17	Lucca	2213.1	321.0	2534.4	0.00128	1795.4	346.0	2141.6	0.00108
18	Salerno	5782.5	351.2	6133.7	0.00310	5114.7	355.8	5470.5	0.00277
19	Campobasso	1174.5	69.0	1243.8	0.00063	884.1	77.6	961.9	0.00049
20	Perugia	1386.9	116.7	1504.0	0.00076	1069.8	131.4	1201.6	0.00061

L'energia sensibile cresce al crescere del carico termico indotto dalla esposizione con irraggiamento maggiore sulle superfici dell'edificio, mentre l'energia latente rimane praticamente costante.

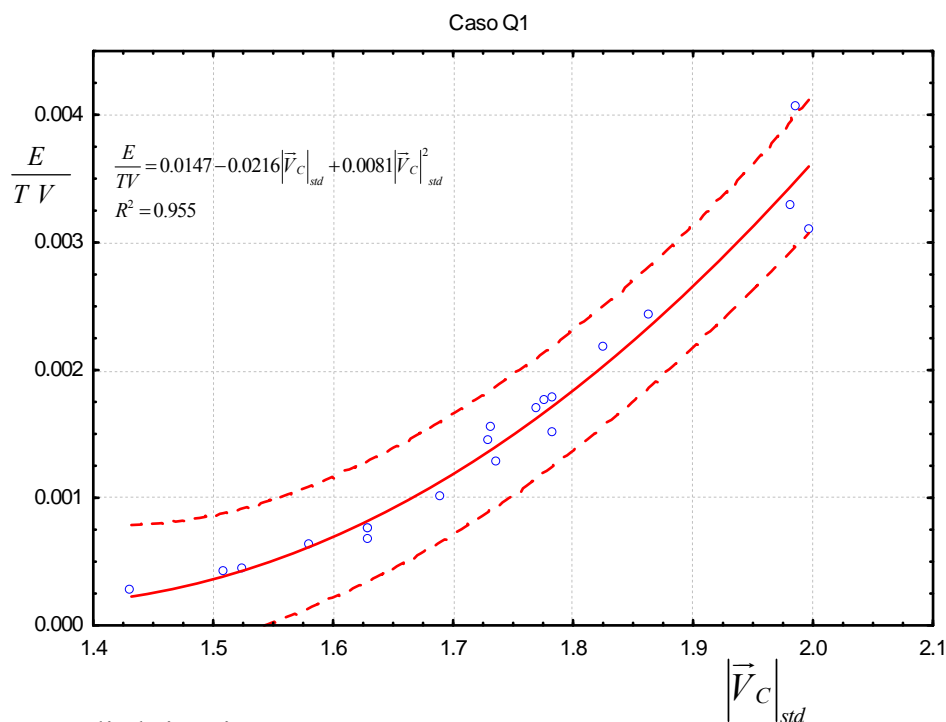
Località		Q3 (ISOLATA ESPOSIZIONE MAX)				Q4 (ISOLATA ESPOSIZIONE MIN)			
		E_{sens} (kWh)	E_{lat} (kWh)	E_{totale} (kWh)	E_{totale}/VT (kW/m ³)	E_{sens} (kWh)	E_{lat} (kWh)	E_{totale} (kWh)	E_{totale}/VT (kW/m ³)
1	Agrigento	5929.9	359.9	6289.9	0.00318	4731.4	367.0	5099.3	0.00258
2	Foggia	4175.6	59.8	4235.5	0.00214	3129.8	66.4	3196.4	0.00162
3	Napoli	5208.0	52.1	5260.1	0.00266	4109.5	53.1	4162.3	0.00211
4	Bari	4099.8	99.4	4199.2	0.00212	2985.6	107.3	3093.2	0.00157
5	Sassari	3445.4	113.4	3558.8	0.00180	2463.0	127.8	2591.2	0.00131
6	Enna	3005.0	120.1	3125.1	0.00158	2123.5	137.2	2261.9	0.00114
7	Alessandria	2300.4	282.1	2582.5	0.00131	1650.6	305.6	1956.5	0.00099
8	Vicenza	1974.7	170.6	2145.3	0.00109	1287.5	186.3	1474.1	0.00075
9	Lecco	1305.6	113.5	1419.1	0.00072	795.1	143.4	939.1	0.00048
10	Aosta	453.3	92.4	545.7	0.00028	216.0	129.8	346.2	0.00018
11	Cuneo	671.1	151.2	822.3	0.00042	407.2	187.0	594.8	0.00030
12	L'Aquila	1110.0	104.8	1214.9	0.00061	635.1	134.6	770.2	0.00039
13	Belluno	759.3	98.8	858.1	0.00043	426.6	134.6	561.8	0.00028
14	Ancona	3099.1	223.1	3322.2	0.00168	2174.7	243.4	2418.8	0.00122
15	Modena	2738.3	225.5	2963.7	0.00150	1938.5	246.2	2184.9	0.00111
16	Milano	2897.8	240.1	3137.9	0.00159	2098.9	264.0	2363.0	0.00120
17	Lucca	2457.3	159.0	2616.4	0.00132	1671.2	178.5	1850.3	0.00094
18	Salerno	4558.5	310.9	4869.4	0.00246	3669.4	313.1	3982.5	0.00202
19	Campobasso	1665.5	15.5	1681.0	0.00085	1004.6	23.5	1028.2	0.00052
20	Perugia	1786.0	28.9	1814.9	0.00092	1112.8	46.3	1159.5	0.00059

L'energia richiesta diminuisce al crescere dell'isolamento rispetto alla coppia di casi precedente. L'energia sensibile cresce al crescere del carico termico indotto dalla diversa esposizione; l'energia latente rimane praticamente costante.

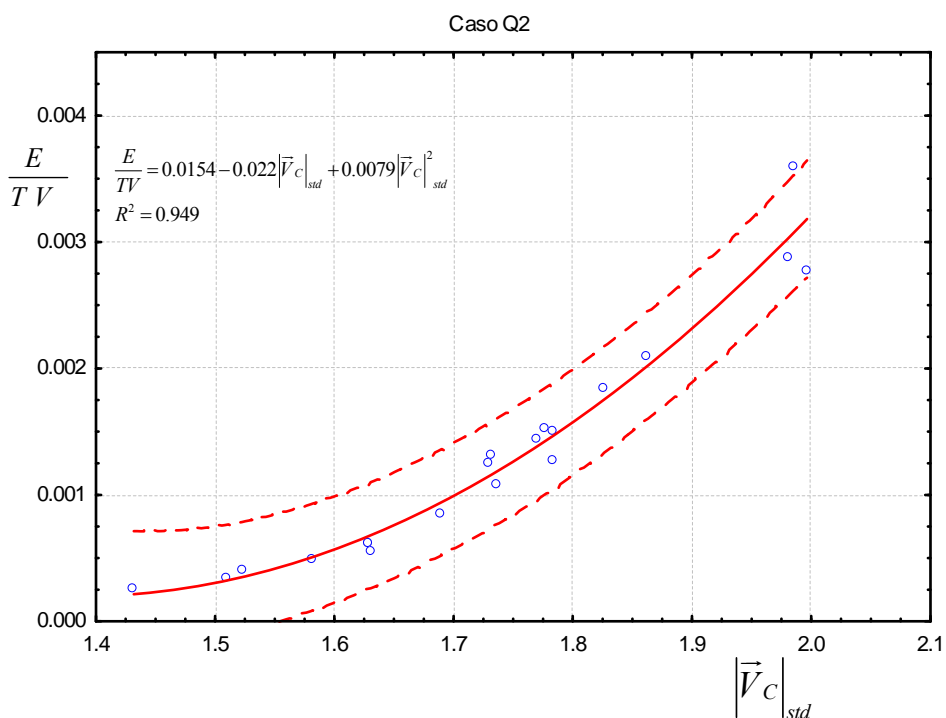
Nei grafici seguenti sono riportati le energie rapportate al tempo di osservazione T e al volume interno V dei singoli casi in funzione dei moduli dei vettori climatici locali ridotti standard delle varie località.

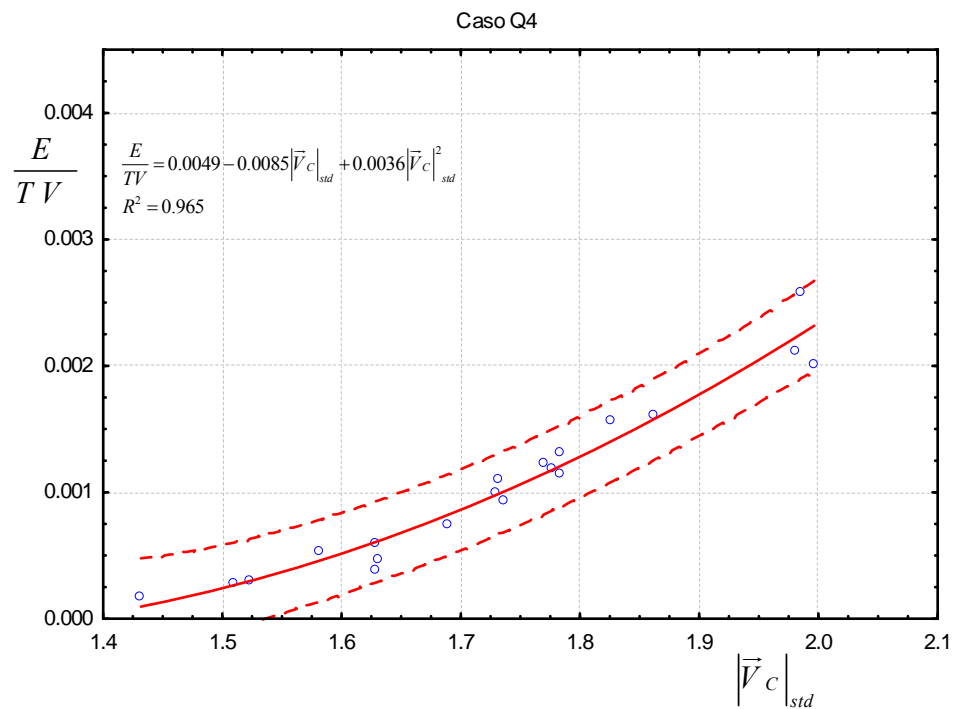
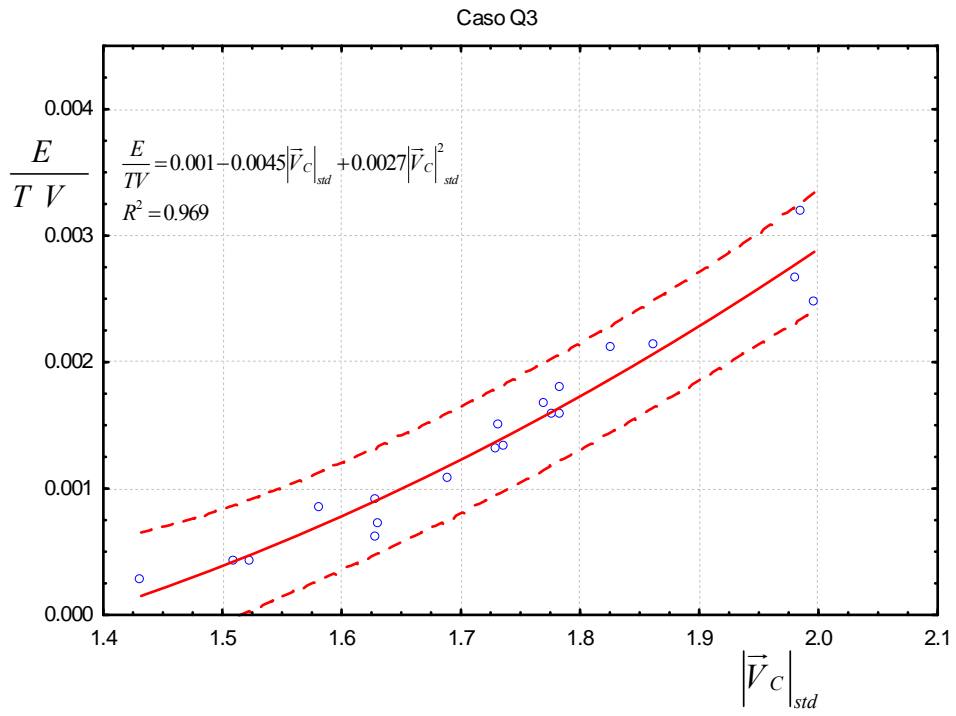
É riportato inoltre anche l'intervallo di previsione al 95% definito come la banda di previsione del valore di C in corrispondenza dei singoli valori del vettore climatico, pensato come variabile casuale distribuita in accordo alla distribuzione normale di Gauss, con il 95% di probabilità ($\pm 2\sigma$) [8].

Per il primo caso presentato si ha:

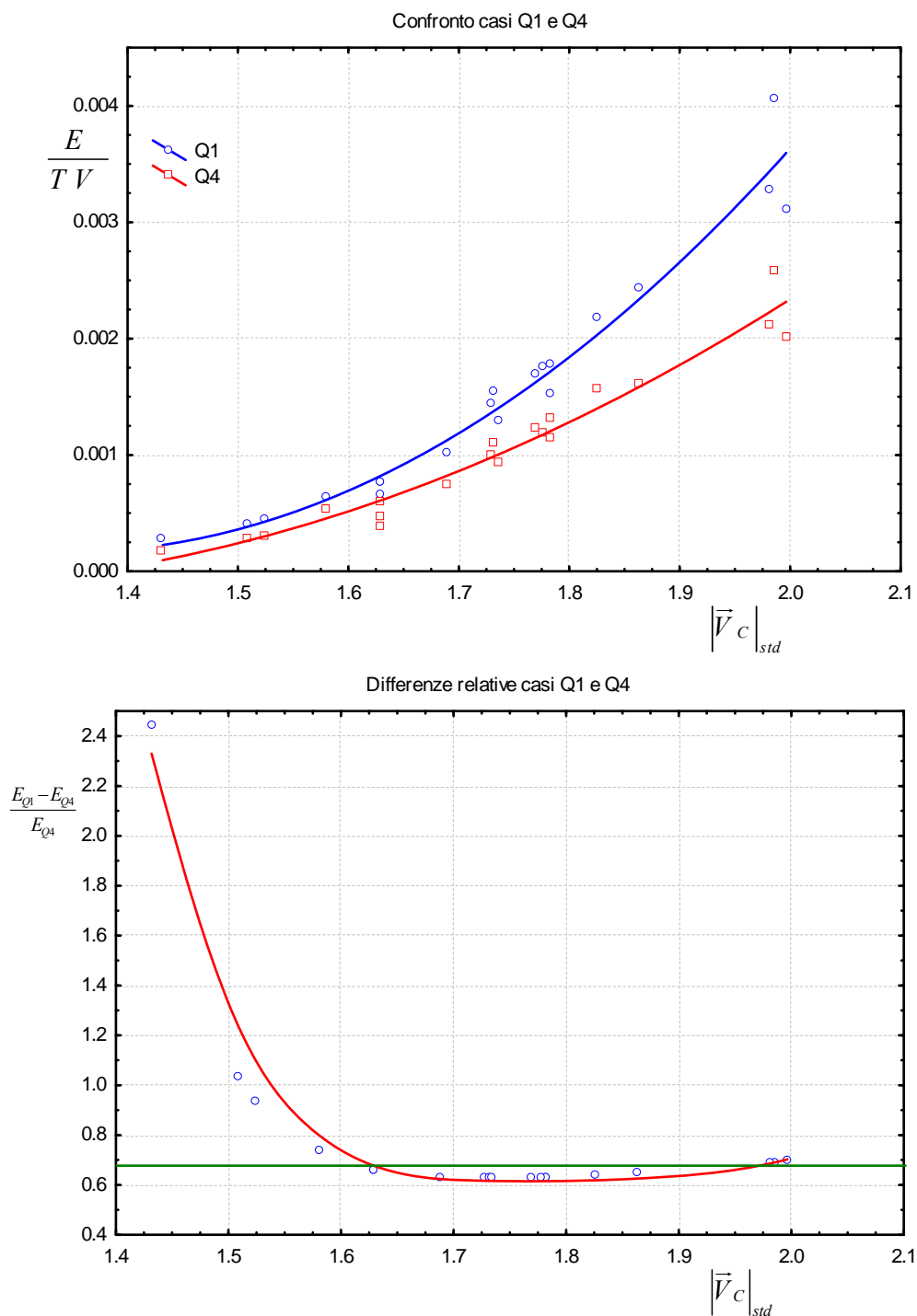


Analogamente, per gli altri casi:





Nel grafici seguenti sono riportati il confronto dei casi Q1 e Q4 e le loro differenze relative.



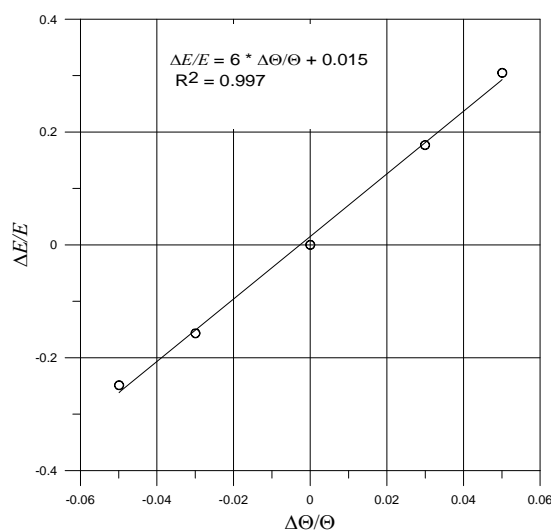
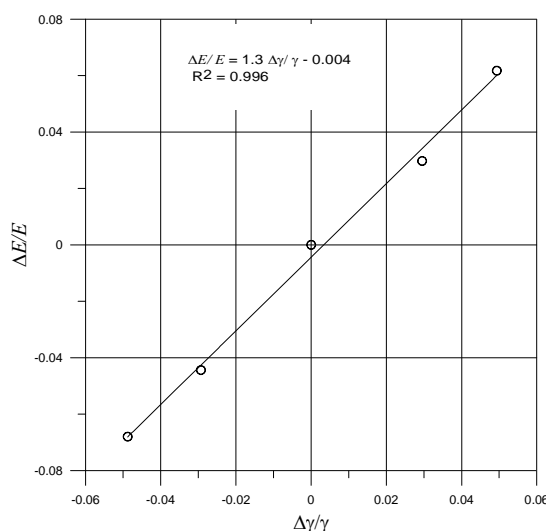
Per un ampio campo di valori del vettore climatico locale standard, le differenze tra il caso Q1 (non isolato/esposizione massima) e il caso Q4 (isolato/esposizione minima) si situano intorno al 70%. Per bassi valori del vettore climatico le differenze sono ancora superiori.

ANALISI DI SENSIBILITÀ

Per evidenziare la diversa influenza che ha la temperatura esterna rispetto all'irraggiamento sull'energia di climatizzazione si riportano i risultati, per una sola località e per il solo caso Q2, delle simulazioni effettuate assegnando piccole variazioni alla sola temperatura o al solo irraggiamento intorno ai valori pertinenti alla località stessa contraddistinti, nella tabella seguente, dal valore nullo della variazione di energia relativa.

Q2 (NON ISOLATA ESPOSIZIONE MIN)				
Località	E_{totale}	γ_e	$\frac{\Delta\gamma_e}{\gamma_e}$	$\frac{\Delta E}{E}$
Modena	2849.1	0.222	-0.049	-0.068
Modena	2921.3	0.227	-0.029	-0.044
Modena	3057.0	0.233	0.000	0.000
Modena	3245.7	0.240	0.030	0.030
Modena	3147.9	0.245	0.049	0.062

Q2 (NON ISOLATA ESPOSIZIONE MIN)				
Località	E_{totale}	Θ_e	$\frac{\Delta\Theta_e}{\Theta_e}$	$\frac{\Delta E}{E}$
Modena	2296.2	19.16	-0.050	-0.249
Modena	2577.4	19.56	-0.030	-0.157
Modena	3057.0	20.17	0.000	0.000
Modena	3597.4	20.77	0.030	0.177
Modena	3988.9	21.18	0.050	0.305



Si ha mediamente:

$$\frac{\Delta E}{E} \cong 6 \frac{\Delta\Theta_e}{\Theta_e} + 1.3 \frac{\Delta\gamma_e}{\gamma_e}$$

Questa espressione, in ottimo accordo con la stima effettuata precedentemente per C, conferma la maggior dipendenza della variazione dell'energia di climatizzazione dalla variazione della temperatura esterna rispetto a quella dell'irraggiamento.

LE ELABORAZIONI DEI RISULTATI

IL CRITERIO DI ELABORAZIONE DEI RISULTATI

Riprendiamo l'espressione dell'indice di severità climatica prima definito:

$$C = \frac{\dot{E}}{\cos(\alpha - \beta_{ref}) \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \frac{\sqrt{\Theta^2 + X^2 + Y^2} - k(\mu) \sqrt{(\Theta^2 + X^2 + Y^2)_{ref}}}{\sqrt{\Theta^2 + X^2 + Y^2}}$$

$$C = \left| \vec{V}_C \right| - k(\mu) \left| \vec{V}_{C,ref} \right|$$

Si tratta, manifestamente, di una relazione lineare tra C e $\left| \vec{V}_C \right|$ il cui termine *noto* è $-k(\mu) \left| \vec{V}_{C,ref} \right|$ e la cui pendenza (coefficiente angolare) è unitaria.

Questa relazione esprime il fatto seguente, oggetto di questo lavoro e alla base della definizione di C :

se si normalizza l'energia \dot{E} , energia di climatizzazione per unità di volume interno dell'edificio e per unità di tempo di osservazione, con le caratteristiche dell'edificio espresse dal modulo del vettore edificio $\left| \vec{V}_B \right|$ e dall'altra caratteristica dell'edificio espressa da $\cos(\alpha - \beta_{ref})$, tale fattore dipende linearmente dal vettore climatico locale del sito.

Si sceglie ancora di impiegare, nel seguito, il vettore climatico locale ridotto standard e quindi l'espressione di riferimento per C è:

$$C = \frac{\dot{E}}{\cos(\alpha' - \beta'_{ref}) \sqrt{[\Theta_* A]^2 + [X_* B]^2 + [Y_* C]^2}} =$$

$$\frac{\sqrt{\dot{\Theta}_e^2 + \dot{X}_e^2 + \dot{Y}_e^2} - \sqrt{(\dot{\Theta}^2 + \dot{X}^2 + \dot{Y}^2)_{ref}}}{\sqrt{(\dot{\Theta}^2 + \dot{X}^2 + \dot{Y}^2)_{ref}}} = \left| \vec{V}_C \right|_{std} - k(\mu) \left| \vec{V}_{C,ref} \right|_{std}$$

Per confrontare la rispondenza dei valori di energia di climatizzazione trovati tramite le simulazioni effettuate con tale *modello* è necessario operare una trasformazione di tali valori secondo la seguente procedura: si effettua la regressione lineare dei valori di $\dot{E} = \frac{E}{TV}$ contro

$\left| \vec{V}_C \right|_{std}$ e se ne determina pendenza e termine noto

$$\tilde{\mathcal{E}} = \frac{E}{TV} \cong a \left| \vec{V}_C \right|_{std} + b$$

$$\frac{\tilde{\mathcal{E}}}{a} = C \cong \left[\left| \vec{V}_C \right|_{std} + \frac{b}{a} \right]$$

è immediata allora l'identificazione

$$a \cong \frac{1}{\cos(\alpha' - \beta'_{ref}) \sqrt{[\Theta_* \mathcal{A}]^2 + [X_* \mathcal{B}]^2 + [Y_* \mathcal{C}]^2}}$$

$$\frac{b}{a} \cong -k(\mu) \left| \vec{V}_{C,ref} \right|_{std}$$

Si ottiene così la relazione di C in funzione del vettore climatico locale ridotto standard.

In tal modo si stimano direttamente dai risultati delle simulazioni i valori dei parametri di C proporzionali al vettore edificio e ai valori climatici di riferimento; il risultato finale è quello di avere una relazione per C indipendente da tali parametri e valida, teoricamente, per ogni tipo di edificio e per ogni esposizione.

Naturalmente questa relazione sarà corretta, a rigore, solo per quel range di $\left| \vec{V}_C \right|_{std}$ nel quale la regressione lineare ha un buon accordo con i risultati dei calcoli di $\tilde{\mathcal{E}}$.

Alla stessa conclusione si arriverebbe impiegando il concetto che ci ha portato a esprimere l'energia di climatizzazione come sviluppo in serie di potenze di Taylor della stessa: lo sviluppo in serie è da ritenere valido in un range intorno al punto di sviluppo, più o meno largo a seconda del grado di non linearità dell'espressione di partenza.

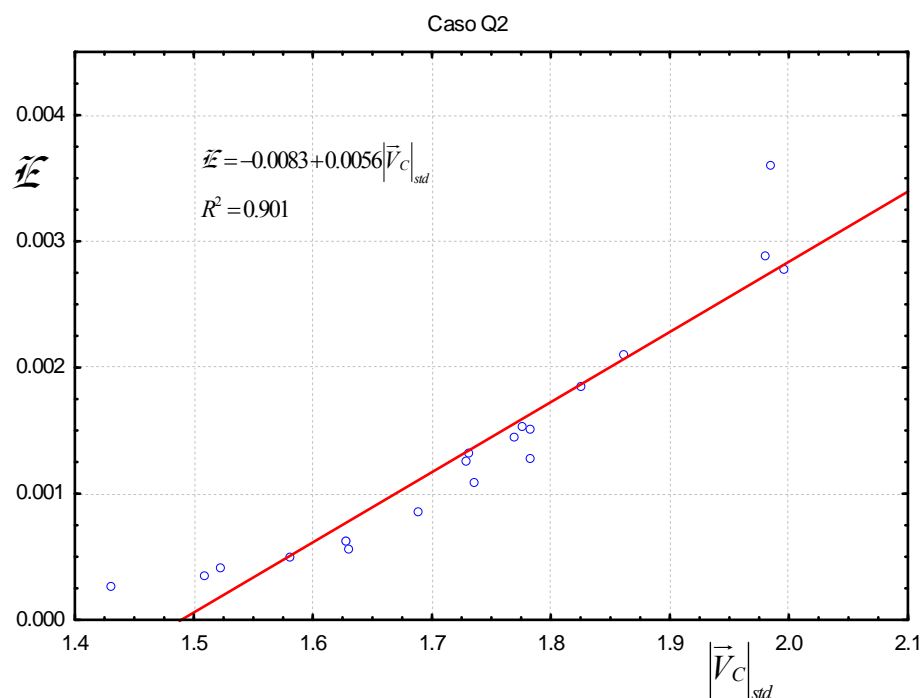
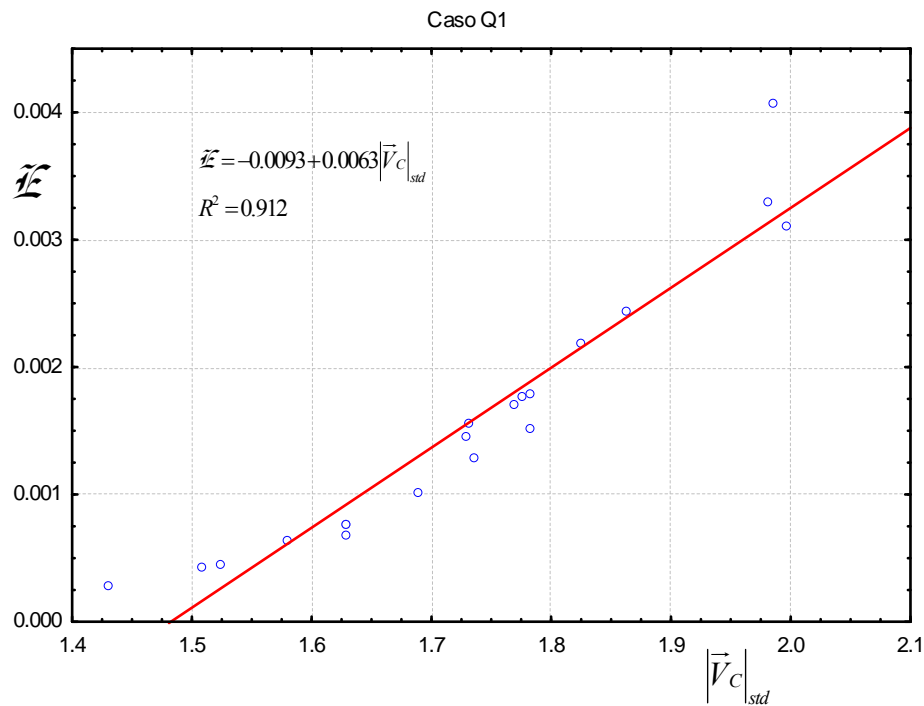
Nulla vieta, però, di considerare i parametri così determinati come una *ragionevole stima* anche al di fuori di tale range di linearità, o, al limite, di cambiare il punto di sviluppo, se necessario, in funzione del valore di $\left| \vec{V}_C \right|_{std}$.

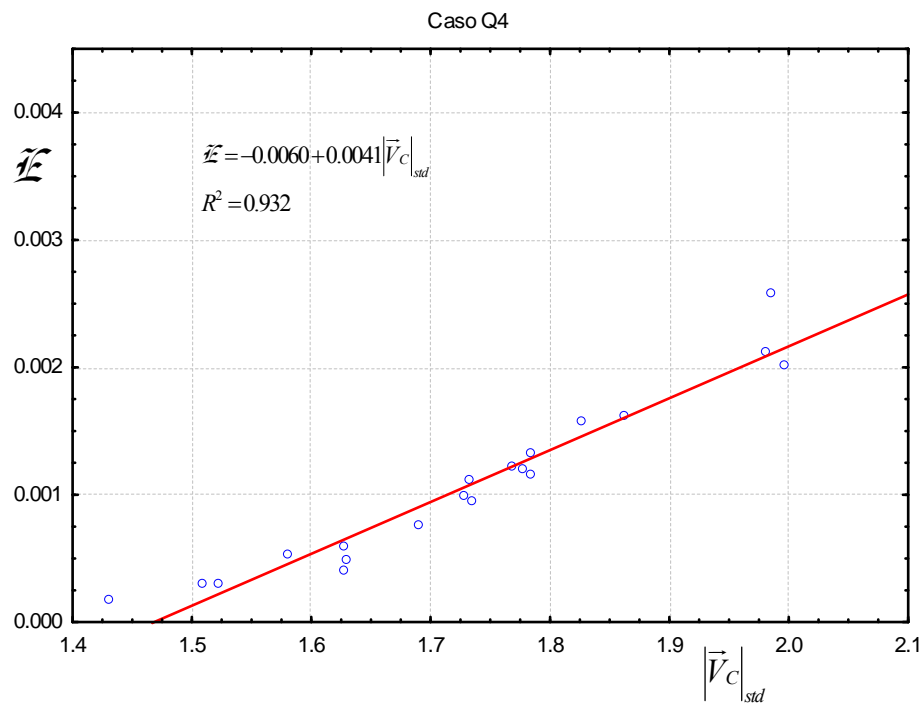
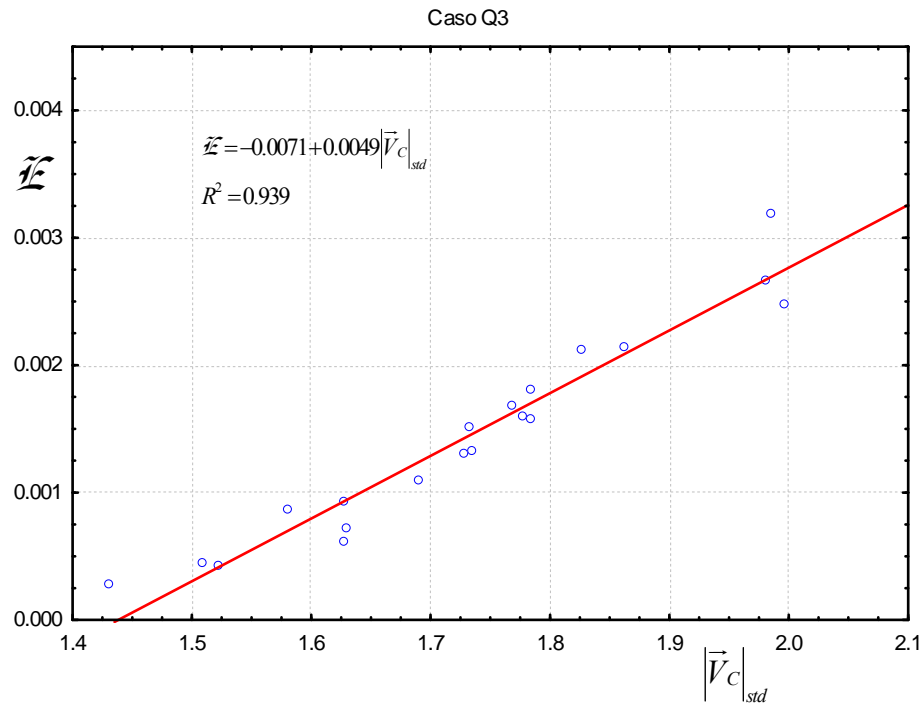
Se ciò è necessario, lo diranno i risultati ottenuti dal procedimento.

Seguendo la procedura delineata, operiamo le trasformazioni sopradette ai risultati ottenuti per i quattro casi considerati Q1, Q2, Q3 e Q4.

I RISULTATI ELABORATI

Nei grafici seguenti sono riportati le energie rapportate al tempo di osservazione T e al volume interno V dei singoli modelli/casi in funzione dei moduli dei vettori climatici locali ridotti standard delle varie località e le equazioni della relativa regressione lineare.





La tabella seguente riassume i risultati delle elaborazioni per le pendenze e le intercette delle regressioni lineari effettuate sull'intero *range* dei valori del modulo del vettore climatico locale ridotto standard:

<i>Caso</i>	a	b	$\frac{b}{a}$
Q1	0.0063	-0.0093	-1.476
Q2	0.0056	-0.0083	-1.482
Q3	0.0049	-0.0071	-1.449
Q4	0.0041	-0.0060	-1.463

Ricordando che è:

$$\frac{b}{a} \cong -k(\mu) \left| \vec{V}_{C,ref} \right|_{std}$$

si vede che, per i rapporti tra i $\frac{b}{a}$ dei casi generici i e j , vale la relazione

$$\frac{\frac{b_i}{a_i}}{\frac{b_j}{a_j}} = \frac{k(\mu_i)}{k(\mu_j)} \cong 1$$

Si osserva quanto affermato precedentemente, cioè che è, nella pratica, $k(\mu) \cong cost$.

Impiegando le relazione prima viste:

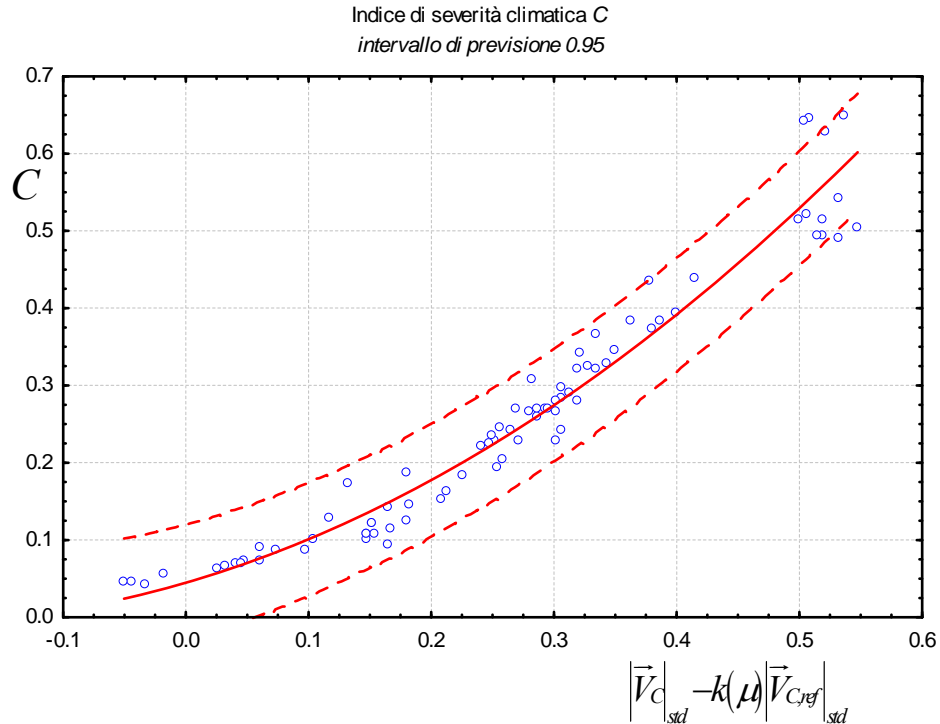
$$\begin{aligned} \tilde{\mathcal{L}} &= \frac{E}{TV} \cong a \left| \vec{V}_C \right|_{std} + b \\ \frac{\tilde{\mathcal{L}}}{a} &= C \cong \left[\left| \vec{V}_C \right|_{std} + \frac{b}{a} \right] \end{aligned}$$

si può ora valutare l'indice di severità climatica estivo.

LA VALUTAZIONE DELL'INDICE

Seguendo il procedimento illustrato, possiamo passare alla elaborazione finale per la determinazione dell'indice di severità climatica C .

Il grafico seguente ne riporta i risultati:



Il grafico riporta anche l'intervallo di previsione al 95% del quale ripetiamo ancora il significato: è la banda di previsione del valore di C , in corrispondenza dei singoli valori del vettore climatico, pensato come variabile casuale distribuita in accordo alla distribuzione normale di Gauss, con il 95% di probabilità ($\pm 2\sigma$).

L'equazione della curva di regressione è:

$$C = 0.0447 + 0.4605 \left[\left| \vec{V}_C \right|_{std} - k(\mu) \left| \vec{V}_{C,ref} \right|_{std} \right] + 1.0172 \left[\left| \vec{V}_C \right|_{std} - k(\mu) \left| \vec{V}_{C,ref} \right|_{std} \right]^2$$

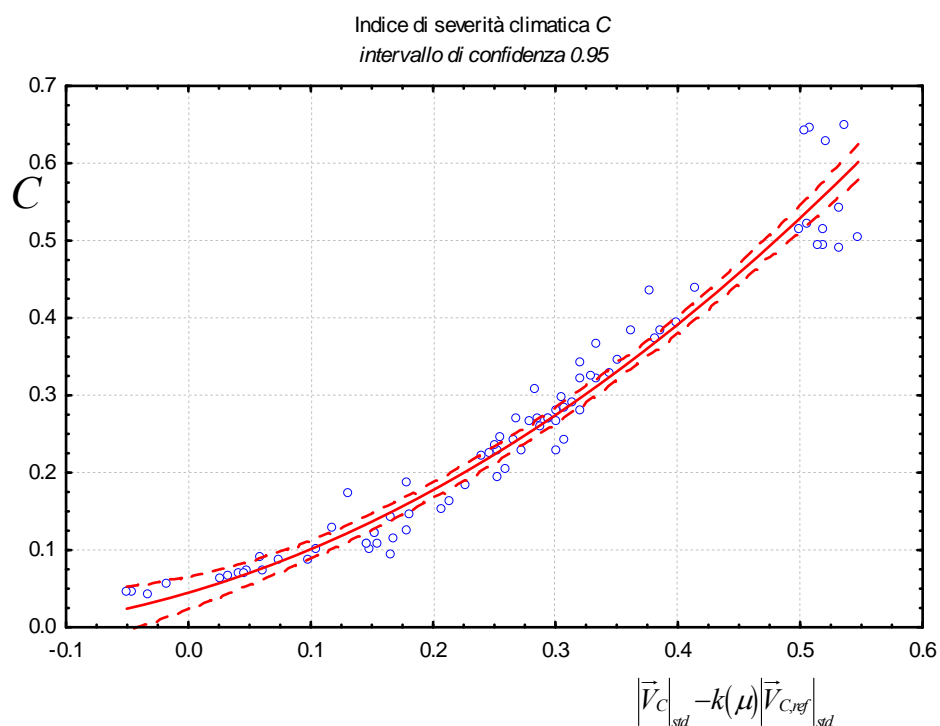
con un coefficiente di determinazione pari a 0.959.

Notiamo l'utilizzo di una equazione di regressione quadratica, apparentemente in contraddizione con la linearizzazione effettuata per valutare C : è possibile, però, come detto in precedenza, considerare i parametri determinati come una ragionevole stima anche al di fuori del range di linearità.

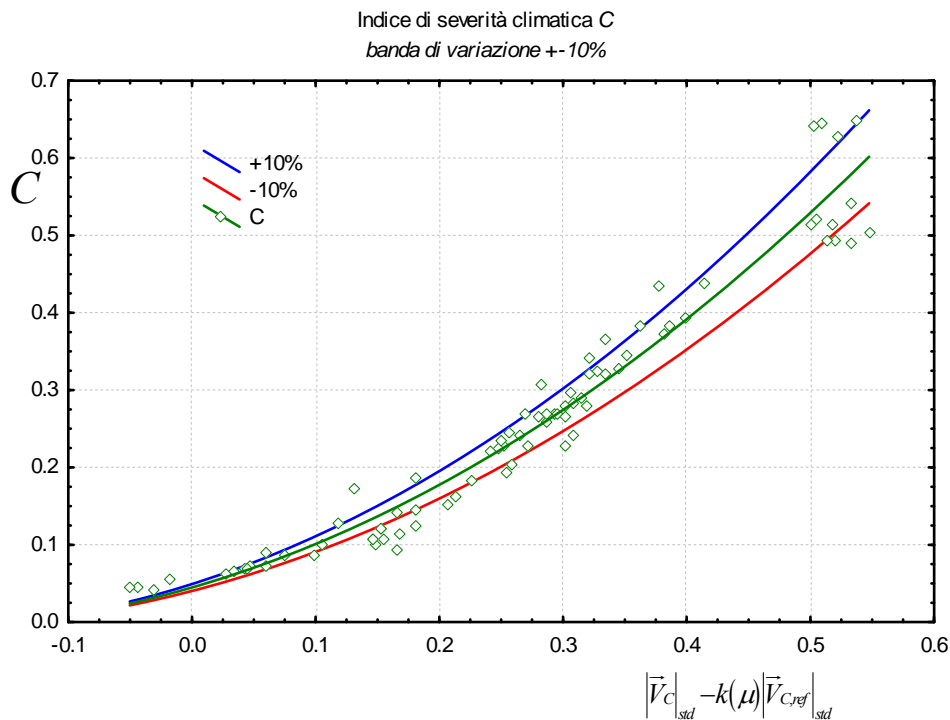
Oltre alla curva di regressione polinomiale di secondo grado, nel grafico successivo è riportato l'intervallo di confidenza al 95% della stessa:

la curva di *best-fit*, considerata come luogo dei punti dei valori medi di valori distribuiti secondo una distribuzione di probabilità corrispondente alla distribuzione *t di Student*, sarà compresa in detto intervallo con il 95% di probabilità.

Come si osserva la curva di regressione è compresa in una ristretta fascia di probabile variazione, è cioè statisticamente molto *stabile*.



Se tracciamo, sullo stesso grafico, le curve relative alla variazione di C del $\pm 10\%$ rispetto alla curva di regressione, sicuramente più *intuitive* dell'intervallo di previsione, si ha la situazione seguente.



La dispersione si è grandemente ridotta se la si confronta con gli scarti, precedentemente mostrati nel confronto tra i casi Q1 e Q4, che si hanno tra i valori dell'energia di climatizzazione prima del procedimento di normalizzazione impiegato.

Tutto ciò conforta il criterio di normalizzazione introdotto e che deriva dalle sole considerazioni fisico-matematiche.

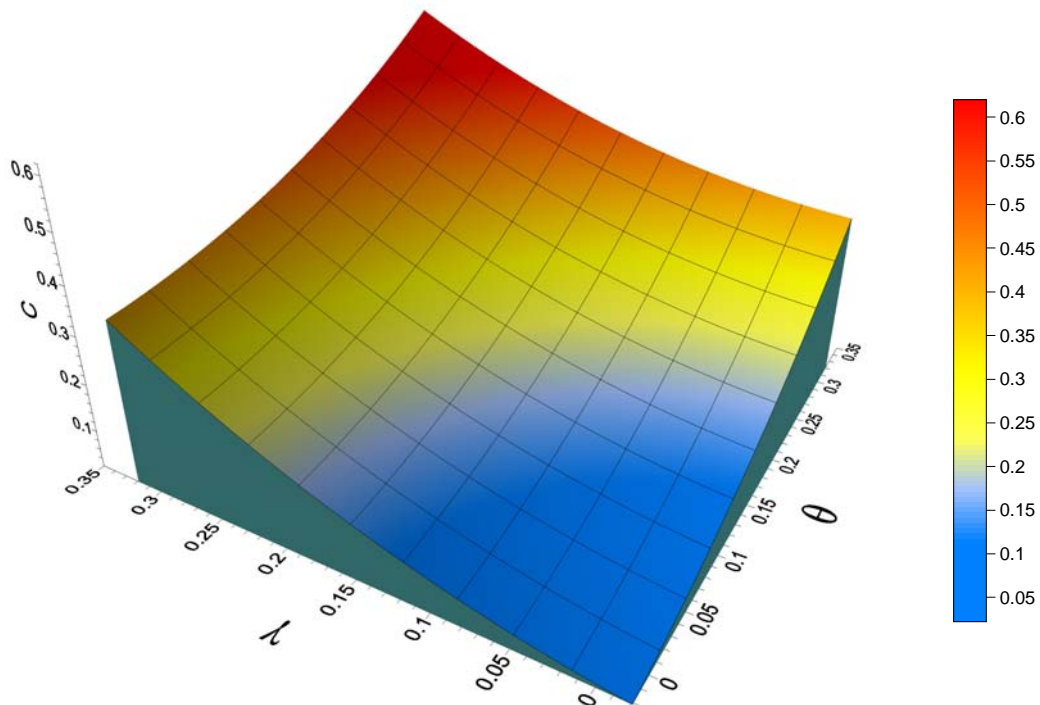
É possibile rappresentare l'indice di severità climatica C , sulla base della curva di regressione trovata, tramite la superficie di funzionamento dell'edificio [1].

In tal caso è necessario passare dalla rappresentazione vettoriale a quella cartesiana nello spazio tridimensionale $\{C, \theta, \gamma\}$ dove è:

$$\theta = \dot{\Theta}_{e, std} - \frac{k(\mu) \left| \vec{V}_{C, ref} \right|_{std}}{\sqrt{3}} \dot{\Theta}_{ref, std}$$

$$\gamma = \dot{\Upsilon}_{e, std} - \frac{k(\mu) \left| \vec{V}_{C, ref} \right|_{std}}{\sqrt{3}} \dot{\Upsilon}_{ref, std}$$

L'altra variabile χ , relativa all'umidità cumulata, compare in C ma non nel diagramma 3D per ovvie ragioni.



La superficie di regressione impiegata in questa rappresentazione è una superficie quadratica del secondo grado [1]:

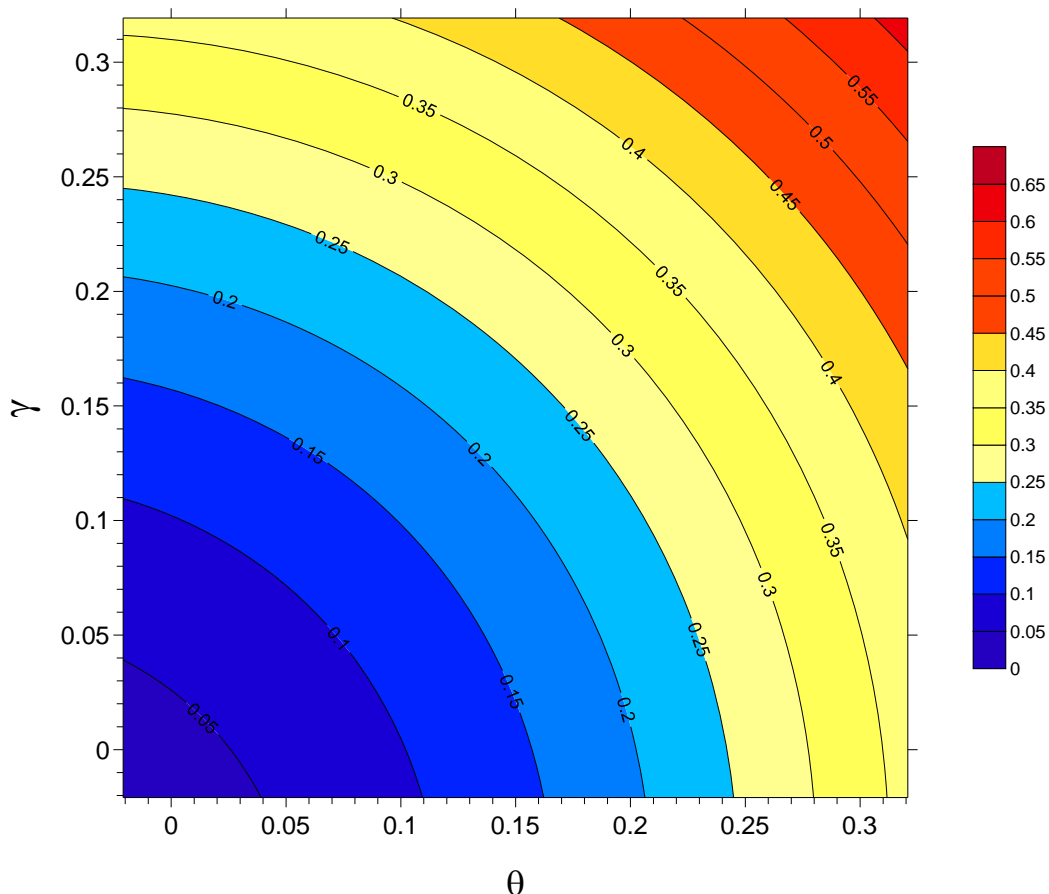
$$C(\theta, \gamma) = a + b\theta + c\gamma + d\theta^2 + e\theta\gamma + f\gamma^2$$

Questa rappresentazione è da ritenere valida, manifestamente, per le componenti θ e γ corrispondenti al vettore climatico locale ridotto *standard*, cioè, in altre parole, per

$$\tan \beta_{*\Gamma\Theta} - 10\% \leq \tan \beta_{\Gamma\Theta} \leq \tan \beta_{*\Gamma\Theta} + 10\%$$

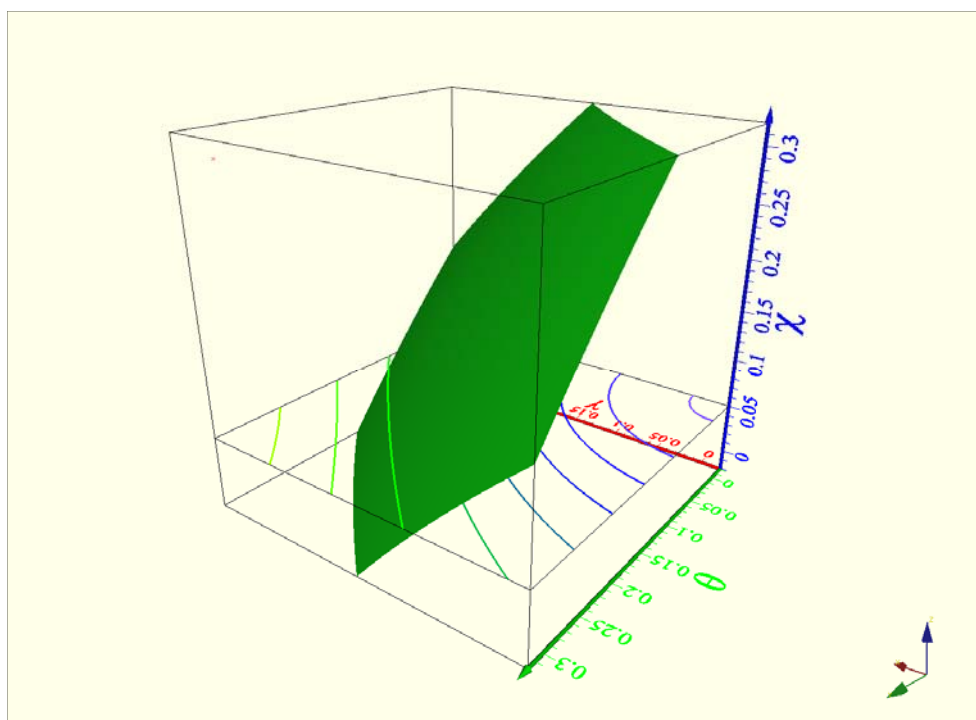
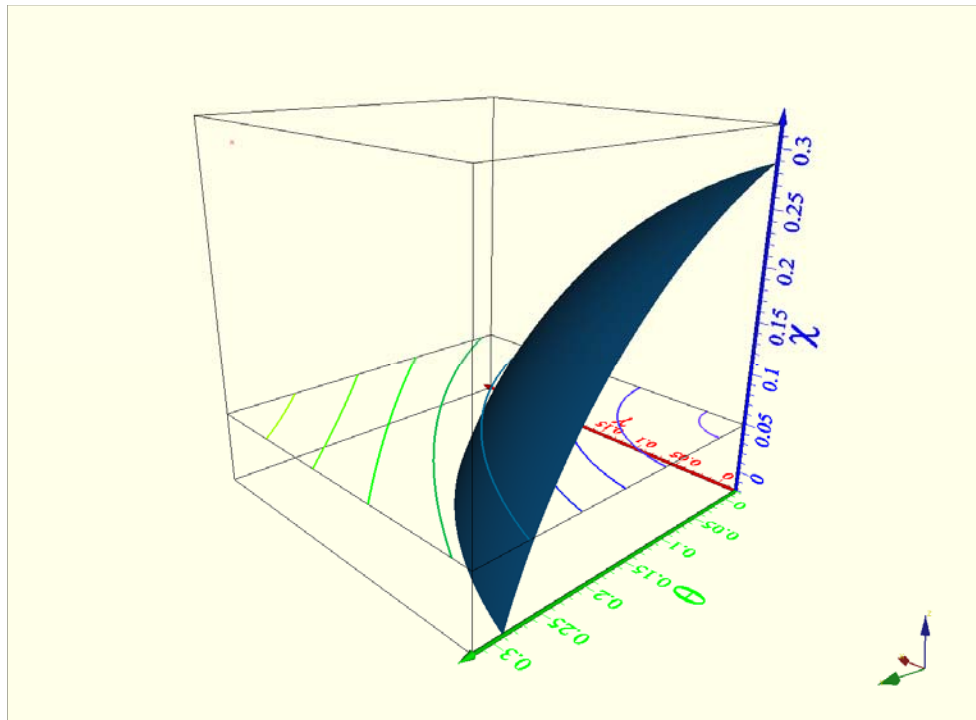
$$\tan \beta_{*X\Theta} - 5\% \leq \tan \beta_{X\Theta} \leq \tan \beta_{*X\Theta} + 5\%$$

La rappresentazione per curve di livello della superficie C è la seguente:



È tuttavia possibile una rappresentazione della *ipersuperficie* $C = C(\theta, \chi, \gamma)$, definita in un iperspazio 4D, tramite le *isosuperfici* di C in uno spazio 3D, cioè delle superfici aventi un valore costante di C .

Le figure seguenti rappresentano, a titolo d'esempio, due diverse isosuperfici di C insieme a una sezione a χ costante sulla quale sono tracciate le curve di livello sempre di C :



LA CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO

I PROBLEMI DELLA CLASSIFICAZIONE IN GENERALE

Per classificazione di una variabile continua, come la nostra C che esprime l'indice di severità climatica, si intende il procedimento di assegnazione dei valori della variabile continua ad una scala discreta costituita da classi contigue caratterizzate ciascuna da un valore nominale della variabile e da un campo di valori intorno a questo.

La perdita di informazione sul valore puntuale della variabile classificata derivante dal procedimento è, in genere, compensata da aspetti pratici positivi quali, per esempio, la rappresentazione sintetica di un fenomeno o la facilità di elaborazioni successive.

Il criterio di classificazione, la numerosità delle classi considerate, la loro estensione nei valori rappresentati (la dimensione delle classi), la progressione dei valori centrali delle classi devono essere tali da sottostare ad un criterio razionale che limiti la perdita di informazione. Il criterio deve altresì consentire l'assegnazione ad una classe specifica con modalità uniformi indipendentemente dal valore della variabile continua che si vuole classificare.

Come ampiamente discusso nel report [9] al quale si rimanda per i dettagli, la classificazione di una variabile continua ma la cui determinazione sia affetta in generale da "incertezza" sotto forma di variazioni intorno ad un valore medio o da errori probabili, pone altresì il problema di valutare quale sia il *grado di confidenza* della classificazione operata (la probabilità cioè di non sbagliare l'assegnazione di un certo valore della variabile, affetta, ripetiamo, da "incertezza" nella sua determinazione, ad una classe). Questo problema si amplifica, per esempio, per quei valori della variabile da classificare prossimi ai limiti delle classi.

Nel report [9] si arrivava alla conclusione seguente:

"...nelle condizioni anzidette le estensioni degli intervalli di classificazione (classi) si devono determinare sulla base della variazione attesa rispetto al valore più probabile (valor medio nell'intervallo) e devono essere, per avere un alto grado di confidenza, maggiori o al limite uguali al doppio del valore della deviazione standard della variabile ($\pm 2\sigma$)."

È questo un approccio contemporaneamente razionale e coerente del problema della classificazione di variabili affette da incertezza di qualsiasi natura.

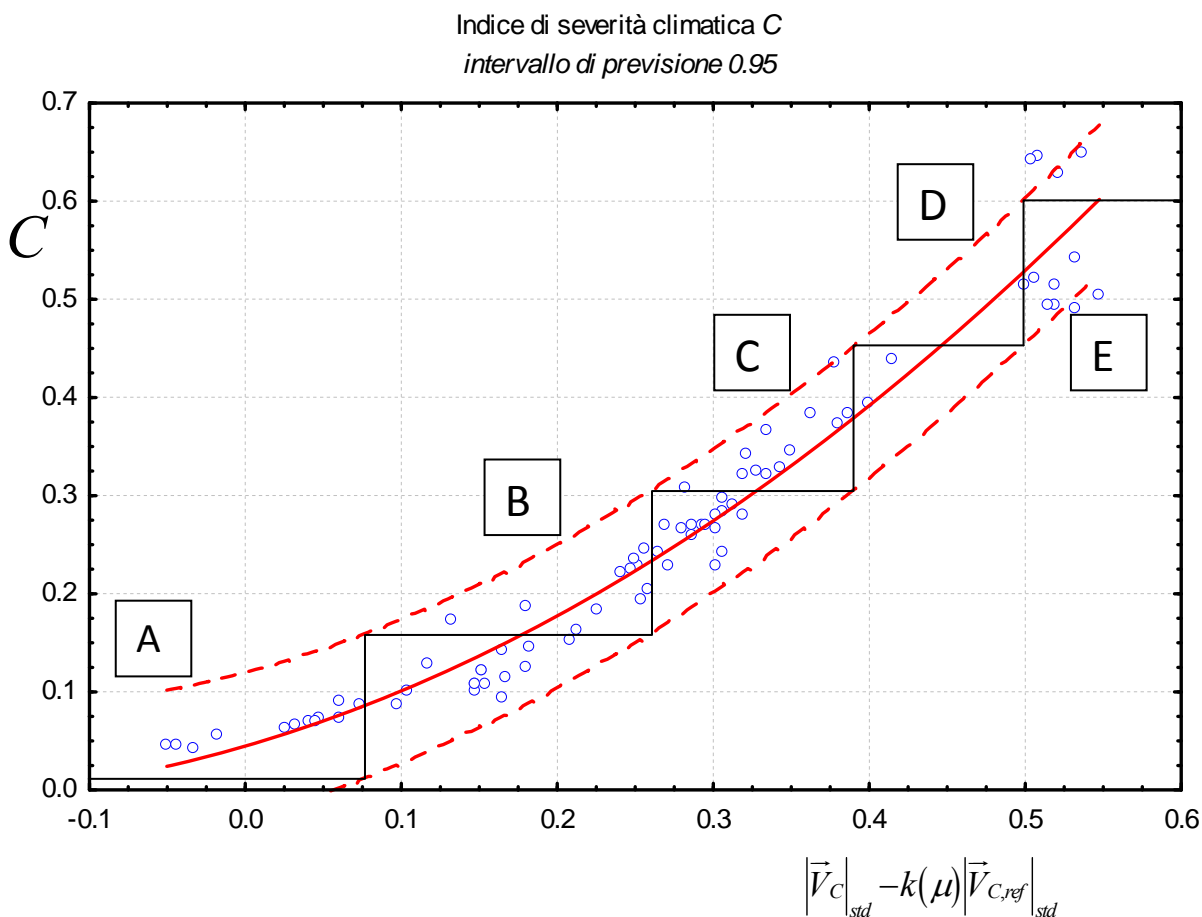
SCelta DEL CRITERIO DI CLASSIFICAZIONE

Consideriamo ora i risultati raggiunti per la determinazione dell'indice di severità climatica estivo e i possibili criteri di classificazione di tale variabile.

Criterion del 2σ

Riprendiamo il grafico che riporta i risultati delle valutazioni effettuate per la variabile C contro il modulo vettore climatico locale ridotto standard delle varie località considerate e l'intervallo di previsione al 95% ($\pm 2\sigma$).

Il primo criterio di suddivisione in classi della variabile C , e di conseguenza anche della variabile che rappresenta il vettore climatico, è illustrato nel grafico seguente.



Il criterio, manifestamente, richiede la scelta di una ascissa di partenza arbitraria. Il valore di 0.5 scelto è suggerito naturalmente dalla distribuzione dei dati che evidenzia un cluster di città più calde.

Le due classi estreme sono aperte e, al variare del valore della variabile classificata, i valori centrali delle classi chiuse sono ordinate secondo una progressione geometrica di ragione $\varphi \cong 1.5$: i rapporti tra i valori centrali sono, cioè, costanti e pari a φ .

Il grado di confidenza (la probabilità cioè di non sbagliare l'assegnazione di un certo valore della variabile ad una classe) sulla scala di classificazione è quindi costante e il criterio di classificazione è uniforme sulla scala stessa [9].

Critério del quantile

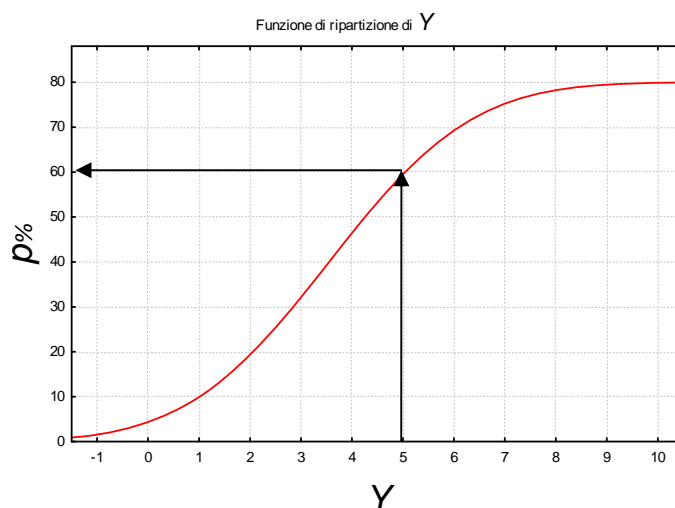
Definizione:

Il quantile di ordine α di una variabile casuale Y , avente funzione di ripartizione $F(Y)$, è quel valore di Y , detto Y_α , che lascia a sinistra la frazione α dei valori di Y .

In formule, indicando con p la probabilità (o la frequenza relativa) della variabile Y ,

$$Y_\alpha \rightarrow \text{quantile di ordine } \alpha : Y_\alpha \text{ t.c. } p(Y < Y_\alpha) = \alpha = F(Y_\alpha)$$

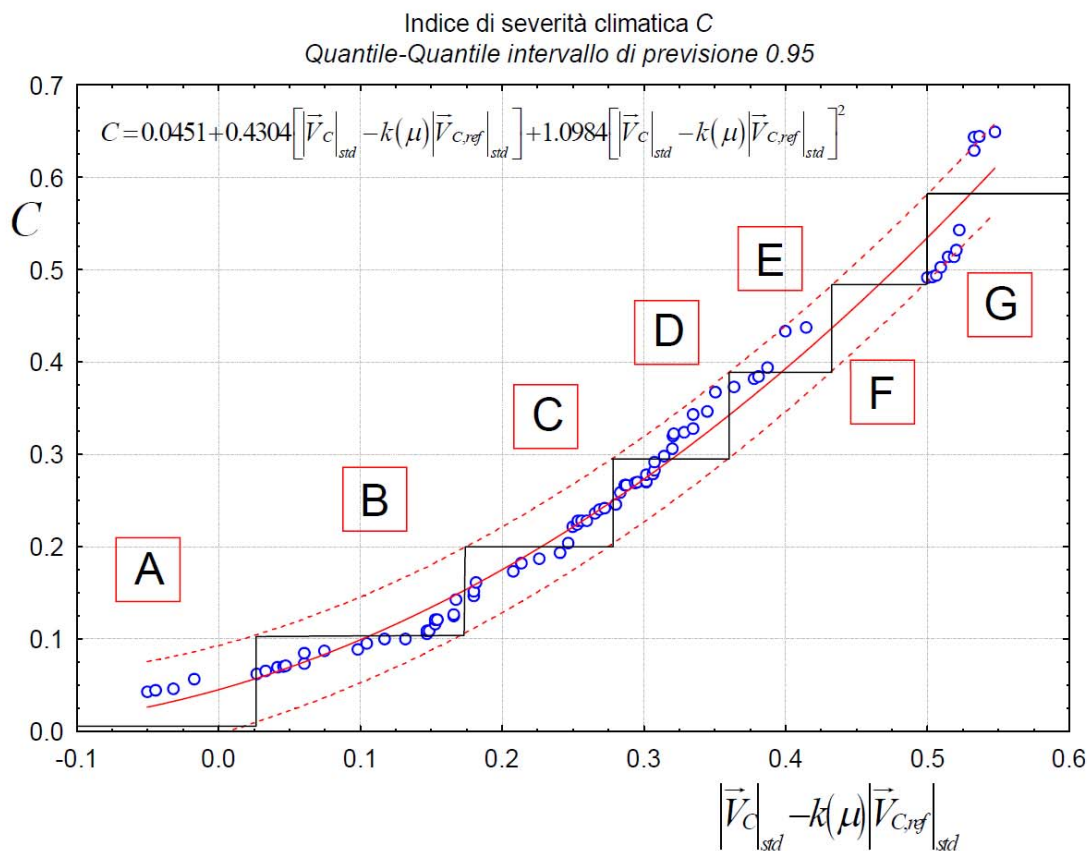
Riportiamo, per meglio illustrare il concetto, una generica funzione di ripartizione della variabile Y .



Il quantile di ordine 0.6 della variabile Y è pari a 5: la probabilità (o la frequenza relativa) di avere valori di Y inferiori a 5 è pari al 60%.

Chiarito il concetto, riportiamo il grafico del quantile della variabile C contro il quantile del vettore climatico mettendo in relazione i quantili corrispondenti.

È individuata nel grafico anche la curva di regressione dei due quantili: se la curva di regressione fosse stata una retta, la funzione di ripartizione statistica di C sarebbe stata identica a quella del vettore climatico; nel nostro caso la curva di regressione è quadratica per cui si può affermare che esiste una relazione stretta tra le due funzioni di ripartizione.



Ricordiamo che i quantili sono comunque valori delle variabili e, quindi, nel grafico si entra con il valore delle variabili originarie.

Sulla base dello stesso concetto di intervallo di previsione al 95%, possiamo operare la classificazione 2σ . È interessante notare che in questo caso i valori centrali delle classi sono ordinati secondo una *progressione aritmetica* di ragione $\varphi \cong 0.1$: le differenze tra i valori centrali sono, cioè, costanti e pari circa a φ .

Il numero delle classi possibili è qui superiore rispetto al più semplice criterio prima visto, in quanto la dispersione (2σ) dei quantili è inferiore rispetto a quella delle variabili originarie.

LA CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO ITALIANO SULLA BASE DELL'INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA ESTIVA

Attualmente sono disponibili i dati per formare il vettore climatico locale ridotto *standard* delle sole province italiane (Norma UNI 10349) e, di conseguenza, si è in grado di assegnare una classe a queste sole località.

L'estensione ad altre località è quindi subordinata alla sola disponibilità della temperatura cumulata nel periodo di osservazione scelto T , grandezza necessaria e sufficiente di formare il vettore climatico locale ridotto *standard*.

Il criterio di classificazione scelto è quello del quantile al $\pm 2\sigma$.

Le classi individuabili sono 7, contraddistinte dalle lettere da **A** a **G** in ordine crescente di severità climatica estiva.

I limiti delle classi, individuate tramite i valori estremi del vettore climatico locale ridotto *standard* e i relativi valori centrali dell'indice di severità climatica estivo C , sono i seguenti:

	CLASSE						
	A	B	C	D	E	F	G
<i>Range vettore climatico ridotto standard</i>	< 0.025	0.025÷0.175	0.175÷0.276	0.276÷0.358	0.358÷0.430	0.430÷0.500	≥ 0.500
<i>Valore centrale di C</i>	0.015	0.100	0.200	0.293	0.391	0.493	0.586

Nota:

- (1) Il modulo del vettore climatico ridotto *standard* è quello traslato $\left| \vec{V}_C \right|_{std} - k(\mu) \left| \vec{V}_{C,ref} \right|_{std}$ dove è stato impiegato il valore medio rilevato per $-k(\mu) \left| \vec{V}_{C,ref} \right|_{std} = -1.468$
- (2) Le classi sono intervalli aperti a destra $[V_{ci}, V_{cj})$ con l'estremo destro, cioè, non appartenente all'intervallo medesimo.

La situazione che ne risulta per le province è illustrata nelle tabelle successive.

Classe climatica estiva - Province (Norma UNI 10349)

n	Provincia	Vettore climatico locale ridotto standard	Classe
1	AGRIGENTO	0.519	G
2	ALESSANDRIA	0.263	C
3	ANCONA	0.303	D
4	AOSTA	-0.034	A
5	ASCOLI PICENO	0.300	D
6	L'AQUILA	0.092	B
7	AREZZO	0.210	C
8	ASTI	0.218	C
9	AVELLINO	0.184	C
10	BARI	0.360	E
11	BERGAMO	0.237	C
12	BELLUNO	0.043	B
13	BENEVENTO	0.327	D
14	BOLOGNA	0.357	D
15	BRINDISI	0.357	D
16	BRESCIA	0.275	C
17	BOLZANO	0.176	C
18	CAGLIARI	0.436	F
19	CAMPOBASSO	0.114	B
20	CASERTA	0.463	F
21	CHIETI	0.312	D
22	CALTANISSETTA	0.367	E
23	CUNEO	0.058	B
24	COMO	0.215	C
25	CREMONA	0.255	C
26	COSENZA	0.422	E
27	CATANIA	0.501	G
28	CATANZARO	0.336	D
29	ENNA	0.182	C
30	FERRARA	0.251	C
31	FOGGIA	0.397	E
32	FIRENZE	0.313	D
33	FORLI'	0.340	D
34	FROSINONE	0.068	B
35	GENOVA	0.353	D
36	GORIZIA	0.139	B
37	GROSSETO	0.287	D
38	IMPERIA	0.339	D
39	ISERNIA	0.169	B
40	CROTONE	0.452	F
41	LECCO	0.165	B
42	LODI	0.273	C
43	LECCE	0.452	F
44	LIVORNO	0.318	D
45	LATINA	0.284	D
46	LUCCA	0.269	C
47	MACERATA	0.210	C
48	MESSINA	0.507	G
49	MILANO	0.312	D
50	MANTOVA	0.268	C
51	MODENA	0.266	C

n	Provincia	Vettore climatico locale ridotto standard	Classe
52	MASSA	0.256	C
53	MATERA	0.453	F
54	NAPOLI	0.516	G
55	NOVARA	0.241	C
56	NUORO	0.255	C
57	ORISTANO	0.332	D
58	PALERMO	0.447	F
59	PIACENZA	0.167	B
60	PADOVA	0.228	C
61	PESCARA	0.387	E
62	PERUGIA	0.163	B
63	PISA	0.269	C
64	PORDENONE	0.076	B
65	PRATO	0.351	D
66	PARMA	0.292	D
67	PESARO URBINO	0.194	C
68	PISTOIA	0.274	C
69	PAVIA	0.211	C
70	POTENZA	0.090	B
71	RAVENNA	0.205	C
72	REGGIO CALABRIA	0.466	F
73	REGGIO EMILIA	0.217	C
74	RAGUSA	0.461	F
75	RIETI	0.095	B
76	ROMA	0.408	E
77	RIMINI	0.210	C
78	ROVIGO	0.279	D
79	SALERNO	0.530	G
80	SIENA	0.235	C
81	SONDRIO	0.115	B
82	LA SPEZIA	0.270	C
83	SIRACUSA	0.480	F
84	SASSARI	0.317	D
85	SAVONA	0.360	E
86	TARANTO	0.436	F
87	TERAMO	0.255	C
88	TRENTO	0.463	F
89	TORINO	0.185	C
90	TRAPANI	0.486	F
91	TERNI	0.325	D
92	TRIESTE	0.296	D
93	TREVISO	0.241	C
94	UDINE	0.230	C
95	VARESE	-0.047	A
96	VERBANIA	0.192	C
97	VERCELLI	0.209	C
98	VENEZIA	0.254	C
99	VICENZA	0.224	C
100	VERONA	0.267	C
101	VITERBO	0.289	D

Classe climatica estiva- Province (Norma UNI 10349) e Regioni

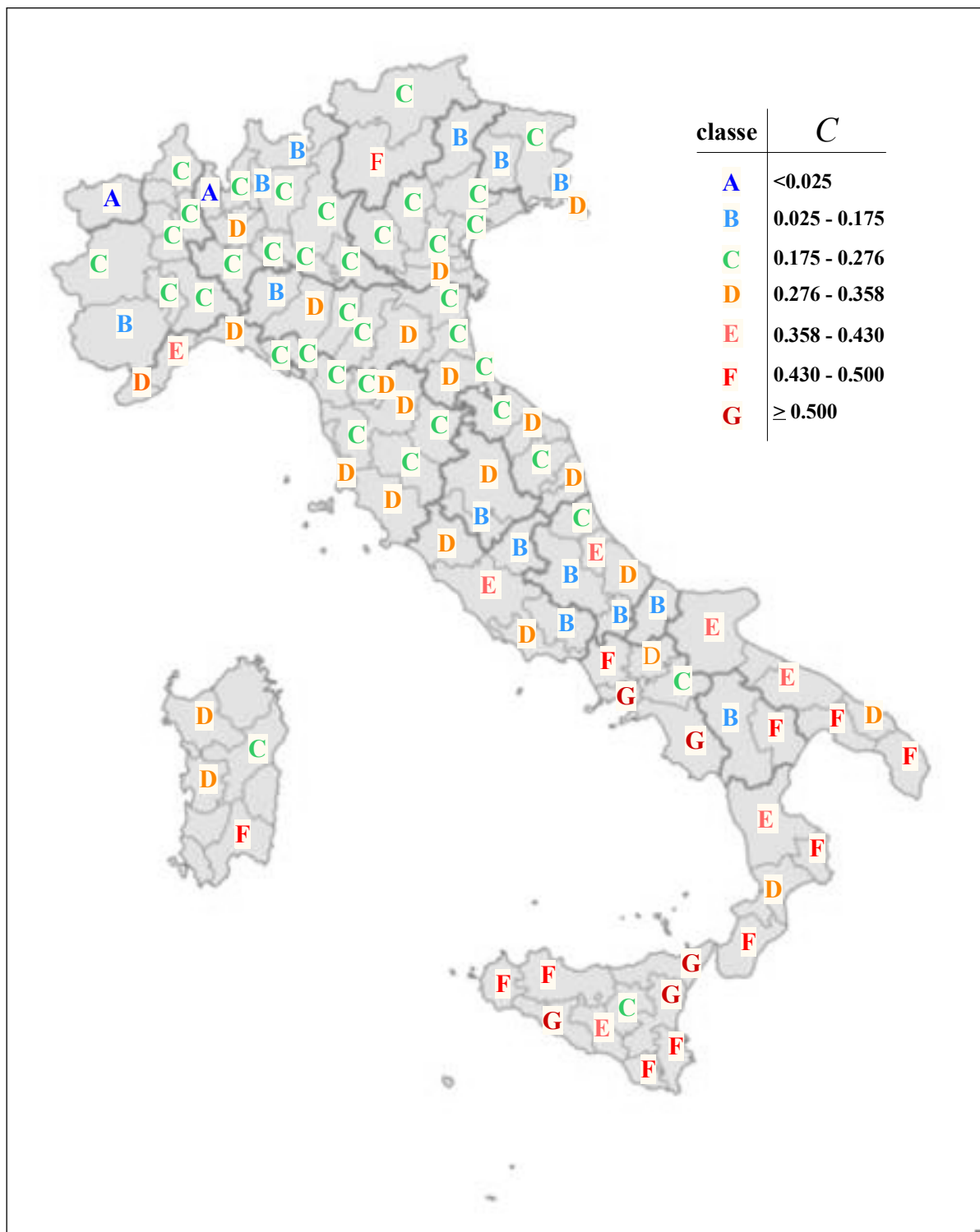
Classe	Provincia	Regione
A	VARESE	Lombardia
A	AOSTA	Valle d'Aosta
B	L'AQUILA	Abruzzo
B	POTENZA	Basilicata
B	GORIZIA	Friuli Venezia Giulia
B	PORDENONE	Friuli Venezia Giulia
B	FROSINONE	Lazio
B	RIETI	Lazio
B	LECCO	Lombardia
B	PIACENZA	Emilia-Romagna
B	SONDRIO	Lombardia
B	CAMPOBASSO	Molise
B	ISERNIA	Molise
B	CUNEO	Piemonte
B	PERUGIA	Umbria
B	BELLUNO	Veneto
C	TERAMO	Abruzzo
C	AVELLINO	Campania
C	FERRARA	Emilia-Romagna
C	MODENA	Emilia-Romagna
C	RAVENNA	Emilia-Romagna
C	REGGIO EMILIA	Emilia-Romagna
C	RIMINI	Emilia-Romagna
C	UDINE	Friuli Venezia Giulia
C	LA SPEZIA	Liguria
C	BERGAMO	Lombardia
C	BRESCIA	Lombardia
C	COMO	Lombardia
C	CREMONA	Lombardia
C	LODI	Lombardia
C	MANTOVA	Lombardia
C	PAVIA	Lombardia
C	MACERATA	Marche
C	PESARO URBINO	Marche
C	ALESSANDRIA	Piemonte
C	ASTI	Piemonte
C	NOVARA	Piemonte
C	TORINO	Piemonte
C	VERBANIA	Piemonte
C	VERCELLI	Piemonte
C	NUORO	Sardegna
C	ENNA	Sicilia
C	BOLZANO	Trentino Alto - Adige
C	AREZZO	Toscana
C	LUCCA	Toscana
C	MASSA	Toscana
C	PISA	Toscana
C	PISTOIA	Toscana
C	SIENA	Toscana
C	PADOVA	Veneto
C	TREVISO	Veneto

Classe	Provincia	Regione
C	VENEZIA	Veneto
C	VICENZA	Veneto
C	VERONA	Veneto
D	CHIETI	Abruzzo
D	CATANZARO	Calabria
D	BENEVENTO	Campania
D	BOLOGNA	Emilia-Romagna
D	FORLI'	Emilia-Romagna
D	PARMA	Emilia-Romagna
D	TRIESTE	Friuli Venezia Giulia
D	LATINA	Lazio
D	VITERBO	Lazio
D	GENOVA	Liguria
D	IMPERIA	Liguria
D	MILANO	Lombardia
D	ANCONA	Marche
D	ASCOLI PICENO	Marche
D	BRINDISI	Puglia
D	ORISTANO	Sardegna
D	SASSARI	Sardegna
D	FIRENZE	Toscana
D	GROSSETO	Toscana
D	LIVORNO	Toscana
D	PRATO	Toscana
D	TERNI	Umbria
D	ROVIGO	Veneto
E	PESCARA	Abruzzo
E	COSENZA	Calabria
E	ROMA	Lazio
E	SAVONA	Liguria
E	BARI	Puglia
E	FOGGIA	Puglia
E	CALTANISSETTA	Sicilia
F	MATERA	Basilicata
F	CROTONE	Calabria
F	REGGIO CALABRIA	Calabria
F	CASERTA	Campania
F	LECCE	Puglia
F	TARANTO	Puglia
F	CAGLIARI	Sardegna
F	PALERMO	Sicilia
F	RAGUSA	Sicilia
F	SIRACUSA	Sicilia
F	TRAPANI	Sicilia
F	TRENTO	Trentino Alto - Adige
G	NAPOLI	Campania
G	SALERNO	Campania
G	AGRIGENTO	Sicilia
G	CATANIA	Sicilia
G	MESSINA	Sicilia

Classe climatica estiva - tabella riassuntiva

CLASSE REGIONE	A	B	C	D	E	F	G
Abruzzo		L'AQUILA	TERAMO	CHIETI	PESCARA		
Basilicata		POTENZA				MATERA	
Calabria				CATANZARO	COSENZA	CROTONE	
						REGGIO CALABRIA	
Campania			AVELLINO	BENEVENTO		CASERTA	NAPOLI
							SALERNO
Emilia-Romagna		PIACENZA	FERRARA	BOLOGNA			
			MODENA	FORLI'			
			RAVENNA	PARMA			
			REGGIO EMILIA				
			RIMINI				
Friuli Venezia Giulia		GORIZIA	UDINE	TRIESTE			
		PORDENONE					
Lazio		FROSINONE		LATINA	ROMA		
		RIETI		VITERBO			
Liguria			LA SPEZIA	GENOVA	SAVONA		
				IMPERIA			
Lombardia	VARESE	LECCO	BERGAMO	MILANO			
		SONDRIO	BRESCIA				
			COMO				
			CREMONA				
			LODI				
			MANTOVA				
			PAVIA				
Marche			MACERATA	ANCONA			
			PESARO URBINO	ASCOLI PICENO			
Molise		CAMPOBASSO					
		ISERNIA					
Piemonte		CUNEO	ALESSANDRIA				
			ASTI				
			NOVARA				
			TORINO				
			VERBANIA				
			VERCELLI				
Puglia				BRINDISI	BARI	LECCE	
					FOGGIA	TARANTO	
Sardegna			NUORO	ORISTANO		CAGLIARI	
				SASSARI			
Sicilia			ENNA		CALTANISSETTA	PALERMO	AGRIGENTO
						RAGUSA	CATANIA
						SIRACUSA	MESSINA
						TRAPANI	
Toscana			AREZZO	FIRENZE			
			LUCCA	GROSSETO			
			MASSA	LIVORNO			
			PISA	PRATO			
			PISTOIA				
			SIENA				
Trentino -Alto Adige			BOLZANO			TRENTO	
Umbria		PERUGIA		TERNI			
Valle d'Aosta	AOSTA						
Veneto		BELLUNO	PADOVA	ROVIGO			
			TREVISO				
			VENEZIA				
			VERONA				
			VICENZA				
n. totale città	2	14	38	23	7	12	5

Classe climatica estiva – Mappa dei Capoluoghi di provincia (Norma UNI 10349)



OSSERVAZIONI FINALI E SVILUPPI FUTURI

L'indice di severità climatica C definisce una *scala relativa* con la quale è possibile misurare l'energia richiesta per la climatizzazione estiva normalizzata con le caratteristiche dell'edificio tramite il vettore $\left| \vec{V}_B \right|$.

È immediato il confronto con l'indice *attualmente* in uso per la climatizzazione invernale, i gradi-giorno invernali GGI, che, come noto, non considera né l'effetto dell'irraggiamento né quello dell'umidità dell'aria.

Seguendo infatti le notazioni adottate in questo report e in [1.2], si può scrivere:

$$\frac{E_T}{V \left[U_{eq} \frac{S}{V} + \rho n c_p \pm \delta \frac{M_{eq}}{V} \right]} = GGI$$

$$\frac{E_T}{V \mathcal{A}} = GGI$$

Il modulo del vettore caratteristico dell'edificio $\left| \vec{V}_B \right|$ si riduce, in questo caso, alla sola componente \mathcal{A} .

I gradi-giorno invernali rappresentano, anch'essi, l'energia di climatizzazione invernale normalizzata con la caratteristica dell'edificio generalmente dominante in inverno, la trasmittanza equivalente dell'involucro, e ne stabiliscono una scala relativa.

Il solo valore di GGI non è però sufficiente per definire un *valore limite* per l'energia di climatizzazione invernale, o meglio del rapporto $\frac{E_T}{V}$ in quanto, manifestamente, tale rapporto dipende anche dalla caratteristica \mathcal{A} .

Ricordiamo che V è il volume *interno* dell'edificio e compare nella formulazione in quanto connesso con il numero n di ricambi di aria. Osserviamo, incidentalmente, che lo stesso rapporto $\frac{S}{V}$ compare solo in quanto c'è il ricambio d'aria e non è quindi collegato a nessuna caratteristica dell'involucro in quanto è connesso alla sola destinazione d'uso dell'edificio.

Per definire dei valori limite dell'energia, o meglio del rapporto $\frac{E_T}{V}$ e non quello per unità di superficie in pianta dell'edificio $\frac{E_T}{S_{pianta}}$ che è privo di significato fisico, è quindi necessario

prefissare dei valori per il modulo del vettore edificio $|\vec{V}_B|$ e del rapporto $\frac{S}{V}$ in connessione con n .

Tale processo è stato presumibilmente seguito nel determinare gli attuali limiti di legge per la climatizzazione invernale, anche se si notano, nei risultati, alcune delle incoerenze anzidette.

Analogo procedimento dovrà essere seguito per determinare i valori limite di $\frac{E_T}{V}$ per la climatizzazione estiva: si dovranno scegliere degli edifici rappresentativi del parco edilizio nazionale, sia del terziario che del residenziale, determinarne i moduli del vettore edificio $|\vec{V}_B|$, i rapporti $\frac{S}{V}$ e le destinazioni d'uso (n) e valutare i relativi rapporti limite $\frac{E_T}{V}$ in relazione all'indice di severità climatica estivo C .

La classificazione riposa sui dati climatici dei siti considerati: se le misure delle variabili climatiche non sono congruenti tra di loro o se i dati sono interpolati in maniera non corretta (correlazioni spazio-temporali su parti del territorio non omogenee dal punto di vista climatico), congruente non può essere la relativa classificazione. Di qui la necessità di un aggiornamento corretto di questi dati.

Altro sviluppo necessario e conseguente del presente lavoro deriva dal fatto che la formulazione dell'indice di severità climatica C è *simmetrica* rispetto al tipo di climatizzazione in quanto valida sia per il caso estivo che per quello invernale.

Appare quindi opportuno procedere alla classificazione del territorio nazionale, sulla base di C , anche per il periodo di climatizzazione invernale, mettendo riparo alle deficienze del sistema degli attuali gradi-giorno invernali GGI con particolare riferimento a quelle località dove l'apporto gratuito dovuto all'irraggiamento solare è importante .

Allo scopo di migliorare i pur già sufficientemente accurati risultati della classificazione operata, appare opportuno, ancora, meglio definire le componenti del vettore edificio introdotto, in particolare la componente \mathcal{C} che lega l'irraggiamento sul piano orizzontale con la superficie esposta equivalente dell'edificio $\frac{\hat{S}_R}{V}$ e investigare un maggiore *range* del fattore μ .

Il risultato atteso e quello di avvicinare, più di quanto attualmente fatto, l'espressione dell'indice di severità *pratico* a quello *teorico* che richiederebbe, come segnalato, la completa separazione delle variabili climatiche da quelle caratteristiche dell'edificio.

Tutto questo, naturalmente, a spese di una maggiore complessità del procedimento.

CONCLUSIONI

Nel lavoro sono state richiamate [1,2] le proprietà che dovrebbero essere possedute da un indice di severità climatica che, tenendo conto sia delle variabili climatiche macroscopiche (temperatura e umidità dell'aria, irraggiamento) di un sito sia delle caratteristiche costruttive di un edificio, fosse utile per la classificazione del territorio ai fini della regolamentazione dei consumi energetici per la climatizzazione dell'edificio stesso.

A fronte di un'impossibilità teorica di costruzione di un indice siffatto, si è individuata e proposta una possibile soluzione ingegneristica al problema definendo un corrispondente indice pratico utile allo scopo.

È stata quindi sviluppata la struttura di questo indice pratico di severità climatica, individuandone altresì i limiti e i modi per ottenerlo, ed è stato possibile uniformare il trattamento del periodo estivo rispetto a quello invernale.

Si è proseguito il lavoro, impostato in [1,2], con una prima fase applicativa realizzata con un *esperimento numerico* che ha previsto l'impiego di un codice di calcolo dinamico, applicato ad alcuni edifici tipici del parco edilizio nazionale, per la stima dell'energia di climatizzazione estiva in condizioni di trasmittanza, massa e orientamento diverse.

La procedura per la determinazione dell'indice di severità climatica estiva è stata quindi applicata su un campione di 20 località scelte per coprire la popolazione di 101 località (capoluoghi di provincia) delle quali c'era la disponibilità di dati climatici riconosciuti dalla normativa vigente. È stato dimostrato che il campione scelto era statisticamente rappresentativo e, anzi, con maggior varianza rispetto a quello della popolazione.

I risultati dell'esperimento numerico sono stati utilizzati per classificare le 101 località sulla base dell'indice di severità climatica estivo.

Questa prima fase applicativa ha suggerito il proseguimento del lavoro estendendo la procedura anche al caso invernale oltre che alcuni sviluppi dal punto di vista metodologico.

BIBLIOGRAFIA

- [1] "Un approccio razionale alla definizione delle zone climatiche di un territorio per la regolamentazione dei consumi energetici derivanti dalla climatizzazione degli edifici" Luciano Terrinoni - ENEA RT/2008/20/TER
- [2] "Definizione delle zone climatiche di un territorio per la regolamentazione dei consumi energetici derivanti dalla climatizzazione degli edifici: dai gradi giorno invernali agli indici di severità climatica "ALL WEATHER"" Domenico Iatauro, Luciano Terrinoni - Proceedings Energy Management Conference - AIGE- Parma 2009
- [3] "Similitude et dimension en mécanique" L.Sédov - Editions MIR 1972
- [4] "Fundamental principles of heat transfer" Stephen Whitaker - Pergamon Press 1977
- [5] "Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis " L. Kaufman e P.J. Rousseeuw -John Wiley and Sons 1990
- [6] "Introductory Econometrics: a modern approach" J.Wooldridge - South Western Educational Publishing 2005
- [7] "Econometric Analysis," W.H. Greene - Prentice Hall 2002
- [8] "Applied regression analysis" N.R. Smith - John Wiley & Sons 1981
- [9] "Applicazione di un criterio razionale per la classificazione degli edifici nella certificazione energetica in edilizia" Luciano Terrinoni - ENEA RT/2006/587TER

RIFERIMENTI

- [a] Norma UNI 10349 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici" (1994)
- [b] Norma UNI EN ISO 13790 "Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento" (2008)
- [c] Norma UNI TS 11300-1 "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale" (2008)
- [d] Archivio climatico DBT Enea (<http://clisun.casaccia.enea.it>)


```

4300 7600 12100 18300 23100 24100 26000 22000 16000 10500 5500 4100
51 51 61 75 85 114 123 126 124 95 72 52
6.3 7.1 9.9 13.4 17.0 21.8 24.4 24.1 21.3 16.5 12.1 7.8
15Modena 44.38
4400 7000 11800 17200 21600 24000 25000 20300 15100 10000 5300 4100
35 39 51 69 87 115 125 124 110 79 58 40
1.4 3.5 8.6 13.3 17.2 21.8 24.3 23.8 20.1 14.0 8.1 3.1
16Milano 45.27

3800 6700 11600 16500 20000 22200 24000 19400 14000 8400 4400 3300
36 40 58 72 82 115 108 126 120 88 59 41
1.7 4.2 9.2 14.0 17.9 22.5 25.1 24.1 20.4 14.0 7.9 3.1
17Lucca 43.59

5300 7900 12300 16700 20300 22700 24700 20500 15800 10700 5800 4400
48 50 56 69 86 111 122 123 114 86 67 52
6.1 7.2 10.1 13.3 17.1 21.2 23.8 23.6 20.9 15.8 10.9 7.3
18Salerno 40.40
6000 8200 11900 15700 19700 22800 23800 20700 15500 11100 6900 5300
47 51 55 69 95 130 124 136 112 86 69 58
10.4 11.3 13.5 16.5 20.1 23.9 26.5 26.6 24.1 19.9 15.7 12.2
19Campobasso 41.33
6200 9500 13500 18700 23500 25300 26500 23100 17400 12000 7300 5600
41 36 38 48 76 80 90 102 92 62 54 42
3.7 4.8 7.3 11.1 14.8 19.6 22.5 22.2 18.9 13.5 9.0 5.0
20Perugia 43.06

5500 7900 12300 16600 21400 23600 25500 21500 16100 11400 6300 4600
36 46 32 56 73 78 88 86 106 78 66 46
4.0 5.0 8.1 11.5 15.4 20.1 23.1 22.7 19.6 14.1 9.4 5.5

```

Comments (Those lines are ignored by Type54)

This file shows an example of data that must be provided to Type 54 for 329 locations in the US.

File format:

```

line 1: NLOC
line 2: LOCATION 1          LATITUDE
line 3: I1 I2 I3 ... I12
line 4: w1*10000 w2*10000 w3*10000 ... w12*10000
line 5: TEMP1 TEMP2 TEMP3 ... TEMP12
line 6: LOCATION 2          LATITUDE
line 7: I1 I2 I3 ... I12
line 8: w1*10000 w2*10000 w3*10000 ... w12*10000
line 9: TEMP1 TEMP2 TEMP3 ... TEMP12

```

Etc.

where:

- NLOC - the number of locations in the data base
- LOCATION - is the name of the location, maximum of 32 characters (pad with spaces if less than 32 characters)
- LATITUDE - between -90.0 and 90.0, number must start in column 33
- I1-I12 - monthly average daily global horizontal solar radiation (kJ/m2 per day) - Free format (real number)
- w1-w12 - monthly average humidity ratio times 10000 (kg water/kg air) - Free format (real number)
- TEMP1-TEMP12 - monthly average temperature (°C) - Free format (real number)

From one to as many locations as desired can be entered into the data file. If locations are added to the end of wdata.dat; the first line, which contains NLOC, must be changed.

b) TRNSYS INPUT FILE (DECK) GENERATO DA TRNSYSSTUDIO

- descrizione componenti utilizzate per la simulazione
- Collegamenti tra le componenti
- File di esempio riferito ad una simulazione specifica (orientamento West)

```

VERSION 16
*****
*** TRNSYS input file (deck) generated by TrnsysStudio
*** on Wednesday, December 09, 2009 at 11:15
*** from TrnsysStudio project: C:\Program Files
(x86)\Trnsys16\MyProjects\indiciSeverita\ALLWEATHERIndex\AllWeather_Aa01W.TPF
***
*** If you edit this file, use the File/Import TRNSYS Input File function in
*** TrnsysStudio to update the project.
***
*** If you have problems, questions or suggestions please contact your local
*** TRNSYS distributor or mailto:iisibat@cstb.fr
*** Units
*****
*** Control cards
*****
* START, STOP and STEP
CONSTANTS 3
START=0
STOP=8760
STEP=1
* User defined CONSTANTS

SIMULATION      START  STOP   STEP   ! Start time      End time  Time step
TOLERANCES 0.001 0.001   ! Integration      Convergence
LIMITS 30 30 30   ! Max iterations   Max warnings  Trace limit
DFQ 1           ! TRNSYS numerical integration solver method
WIDTH 80        ! TRNSYS output file width, number of characters
LIST            ! NOLIST statement
               ! MAP statement
SOLVER 0 1 1    ! Solver statement  Minimum relaxation factor  Maximum relaxation factor
NAN_CHECK 0     ! Nan DEBUG statement
OVERWRITE_CHECK 0 ! Overwrite DEBUG statement
EQSOLVER 0      ! EQUATION SOLVER statement

* Model "TYPE54a" (Type 54)
*

UNIT 2 TYPE 54   TYPE54a
*$UNIT_NAME TYPE54a
*$MODEL .\Physical Phenomena\Weather Generators\Default Random Number Seeds\TYPE54a.tmf
*$POSITION 70 284
*$LAYER Weather - Data Files #
*$# NOTE: If a solar radiation processor (Type16) is connected to Type 54, it should be set to use Solar Time
PARAMETERS 19
1           ! 1 Weather file units
30          ! 2 Logical unit
1           ! 3 City number
2           ! 4 Temperature model
1           ! 5 Hourly radiation correction
1           ! 6 Use default seeds
4.5         ! 7 Average January windspeed
4.5         ! 8 Average February windspeed
4.5         ! 9 Average March windspeed
4.5         ! 10 Average April windspeed
4.5         ! 11 Average May windspeed
4.5         ! 12 Average June windspeed
4.5         ! 13 Average July windspeed
4.5         ! 14 Average August windspeed

```

```
4.5          ! 15 Average September windspeed
4.5          ! 16 Average October windspeed
4.5          ! 17 Average November windspeed
4.5          ! 18 Average December windspeed
230         ! 19 Altitude
```

```
*** External files
```

```
ASSIGN "Type54-WeatherGenerator_enea(CR).dat" 30
```

```
*!? Which file contains the monthly average weather data? |1000
```

```
*-----
```

```
* Model "Type16c" (Type 16)
```

```
*
```

```
UNIT 9 TYPE 16    Type16c
```

```
*$UNIT_NAME Type16c
```

```
*$MODEL .\Physical Phenomena\Radiation Processors\Total Horiz Temp and Humidity Known (Mode=2)\Type16c.tmf
```

```
*$POSITION 159 178
```

```
*$SLAYER Weather - Data Files #
```

```
PARAMETERS 9
```

```
2          ! 1 Horiz. radiation mode
```

```
1          ! 2 Tracking mode
```

```
4          ! 3 Tilted surface mode
```

```
1          ! 4 Starting day
```

```
37.18     ! 5 Latitude
```

```
4871.0    ! 6 Solar constant
```

```
-1.4      ! 7 Shift in solar time
```

```
2         ! 8 Not used
```

```
-1        ! 9 Solar time?
```

```
INPUTS 14
```

```
2,7       ! TYPE54a:Global horizontal radiation ->Radiation on horizontal
```

```
2,4       ! TYPE54a:Dry bulb temperature ->Ambient temperature
```

```
2,6       ! TYPE54a:Percent relative humidity ->Relative humidity
```

```
2,99      ! TYPE54a:Time of last read ->Time of last data read
```

```
2,100     ! TYPE54a:Time of next read ->Time of next data read
```

```
0,0       ! [unconnected] Ground reflectance
```

```
0,0       ! [unconnected] Slope of surface-1
```

```
0,0       ! [unconnected] Azimuth of surface-1
```

```
0,0       ! [unconnected] Slope of surface-2
```

```
0,0       ! [unconnected] Azimuth of surface-2
```

```
0,0       ! [unconnected] Slope of surface-3
```

```
0,0       ! [unconnected] Azimuth of surface-3
```

```
0,0       ! [unconnected] Slope of surface-4
```

```
0,0       ! [unconnected] Azimuth of surface-4
```

```
*** INITIAL INPUT VALUES
```

```
0.0 20.0 50 0.0 1.0 0.2 90 90 90 180 90 270 90 0
```

```
*-----
```

```
* Model "TYPE33e" (Type 33)
```

```
*
```

```
UNIT 6 TYPE 33    TYPE33e
```

```
*$UNIT_NAME TYPE33e
```

```
*$MODEL .\Physical Phenomena\Thermodynamic Properties\Psiychrometrics\Dry Bulb and Relative Humidity Known\TYPE33e.tmf
```

```
*$POSITION 216 508
```

```
*$SLAYER Main #
```

```
PARAMETERS 3
```

```
2          ! 1 Psychrometrics mode
```

```
1          ! 2 Wet bulb mode
```

```
2          ! 3 Error mode
```

```
INPUTS 3
```

```
2,4       ! TYPE54a:Dry bulb temperature ->Dry bulb temp.
```

```
2,6       ! TYPE54a:Percent relative humidity ->Percent relative humidity
```

```
0,0       ! [unconnected] Pressure
```

```
*** INITIAL INPUT VALUES
```

```
22.0 60.0 1
```

```
*-----
```

```
* Model "TYPE69b" (Type 69)
```

```
*
```

```
UNIT 4 TYPE 69    TYPE69b
*$UNIT_NAME TYPE69b
*$MODEL .\Physical Phenomena\Sky Temperature\calculate cloudiness factor\TYPE69b.tmf
*$POSITION 376 417
*$SLAYER Main #
PARAMETERS 2
0                ! 1 mode for cloudiness factor
230             ! 2 height over sea level
INPUTS 4
2,4            ! TYPE54a:Dry bulb temperature ->Ambient temperature
6,8            ! TYPE33e:Dew point temperature. ->Dew point temperature at ambient conditions
9,5            ! Type16c:Beam radiation on horizontal ->Beam radiation on the horizontal
9,6            ! Type16c:Horizontal diffuse radiation ->Diffuse radiation on the horizontal
*** INITIAL INPUT VALUES
0 20 0 0
*-----

* Model "TYPE14h_AG" (Type 14)
*

UNIT 11 TYPE 14    TYPE14h_AG
*$UNIT_NAME TYPE14h_AG
*$MODEL .\Utility\Forcing Functions\General\TYPE14h.tmf
*$POSITION 443 591
*$SLAYER Main #
PARAMETERS 20
0                ! 1 Initial value of time
10.4            ! 2 Initial value of function
2160            ! 3 Time at point-1
10.4            ! 4 Value at point -1
2161            ! 5 Time at point-2
10.8            ! 6 Value at point -2
2880            ! 7 Time at point-3
10.8            ! 8 Value at point -3
2881            ! 9 Time at point-4
12.7            ! 10 Value at point -4
6552            ! 11 Time at point-5
12.7            ! 12 Value at point -5
6553            ! 13 Time at point-6
15.6            ! 14 Value at point -6
7296            ! 15 Time at point-7
15.6            ! 16 Value at point -7
7297            ! 17 Time at point-8
19.4            ! 18 Value at point -8
8760            ! 19 Time at point-9
19.4            ! 20 Value at point -9
* Model "Type56a" (Type 56)
*

UNIT 5 TYPE 56    Type56a
*$UNIT_NAME Type56a
*$MODEL .\Loads and Structures\Multi-Zone Building\With Standard Output Files\Type56a.tmf
*$POSITION 732 324
*$SLAYER Main #
*$#
PARAMETERS 6
31              ! 1 Logical unit for building description file (.bui)
0               ! 2 Star network calculation switch
0.50            ! 3 Weighting factor for operative temperature
32             ! 4 Logical unit for monthly summary
33             ! 5 Logical unit for hourly temperatures
34             ! 6 Logical unit for hourly loads
INPUTS 21
2,4            ! TYPE54a:Dry bulb temperature -> 1- TAMB (AMBIENT TEMPERATURE)
2,6            ! TYPE54a:Percent relative humidity -> 2- ARELHUM (RELATIVE AMBIENT HUMIDITY)
4,1            ! TYPE69b:Fictive sky temperature -> 3- TSKY (FIKTIVE SKY TEMPERATURE)
9,12           ! Type16c:Total radiation on surface 2 -> 4- ITNORTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION NORTH)
9,22           ! Type16c:Total radiation on surface 4 -> 5- ITSOUTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH)
```

```

9,17      ! Type16c:Total radiation on surface 3 -> 6- ITEAST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION EAST)
9,7       ! Type16c:Total radiation on surface 1 -> 7- ITWEST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION WEST)
9,4       ! Type16c:Total horizontal radiation -> 8- ITHORIZONTAL (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION
HORIZONTAL)
9,13      ! Type16c:Beam radiation on surface 2 -> 9- IBNORTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION
NORTH)
9,23      ! Type16c:Beam radiation on surface 4 -> 10- IBSOUTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION
SOUTH)
9,18      ! Type16c:Beam radiation on surface 3 -> 11- IBEAST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION
EAST)
9,8       ! Type16c:Beam radiation on surface 1 -> 12- IBWEST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION
WEST)
9,5       ! Type16c:Beam radiation on horizontal -> 13- IBHORIZONTAL (INCIDENT BEAM RADIATION FOR
ORIENTATION HORIZONTAL)
9,15      ! Type16c:Incidence angle of surface 2 -> 14- AINORTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION
NORTH)
9,25      ! Type16c:Incidence angle of surface 4 -> 15- AISOUTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION
SOUTH)
9,20      ! Type16c:Incidence angle of surface 3 -> 16- AIEAST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION EAST)
9,10      ! Type16c:Incidence angle for surface 1 -> 17- AIWEST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION WEST)
9,2       ! Type16c:Solar zenith angle -> 18- AIHORIZONTAL (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION HORIZONTAL)
11,1      ! TYPE14h_AG:Average value of function -> 19- TS (INPUT)
12,2      ! TYPE14h_Heating:Instantaneous value of function over the timestep -> 20- HEAT_POWER (INPUT)
13,2      ! TYPE14h_Cooling:Instantaneous value of function over the timestep -> 21- COOL_POWER (INPUT)
*** INITIAL INPUT VALUES
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
*** External files
ASSIGN "AaProva.bui" 31
*!/? Building description file (*.bui) |1000
ASSIGN "Bldg-Monthly.out" 32
*!/? Monthly Summary File |1000
ASSIGN "Bldg-HourlyTemp.out" 33
*!/? Hourly Temperatures |1000
ASSIGN "Bldg-HourlyLoads.out" 34
*!/? Hourly Loads |1000
*-----
* Model "Type65a" (Type 65)
*

UNIT 8 TYPE 65      Type65a
*$UNIT_NAME Type65a
*$MODEL .\Output\Online Plotter\Online Plotter With File\TRNSYS-Supplied Units\Type65a.tmf
*$POSITION 986 564
*$LAYER Main #
PARAMETERS 12
4              ! 1 Nb. of left-axis variables
2              ! 2 Nb. of right-axis variables
10             ! 3 Left axis minimum
30             ! 4 Left axis maximum
-50000         ! 5 Right axis minimum
50000         ! 6 Right axis maximum
12             ! 7 Number of plots per simulation
12             ! 8 X-axis gridpoints
0              ! 9 Shut off Online w/o removing
36             ! 10 Logical Unit for output file
2              ! 11 Output file units
0              ! 12 Output file delimiter

INPUTS 6
2,4           ! TYPE54a:Dry bulb temperature ->Left axis variable-1
5,1           ! Type56a: 1- (air temperature of zone) TAIR 1 ->Left axis variable-2
5,2           ! Type56a: 2- (relativ humidity of zone...) RELHUM 1 ->Left axis variable-3
9,4           ! Type16c:Total horizontal radiation ->Left axis variable-4
5,5           ! Type56a: 5- (sens. energy demand of z...) QSENS 1 ->Right axis variable-1
5,7           ! Type56a: 7- (lat. energy demand of zo...) QLATD 1 ->Right axis variable-2
*** INITIAL INPUT VALUES
Tout Tzone URint RAdHor Qsens Qlatd
LABELS 3
"Temperatures"

```

```
"Heat transfer rates"
"Graph 1"
*** External files
ASSIGN "C:\Program Files (x86)\Trnsys16\MyProjects\indiciSeverita\ALLWEATHERIndex\AllWeather_Aa01000plotter.xls" 36
*|? What file should the online print to? |1000
*-----

* Model "Type25a_Qdem" (Type 25)
*

UNIT 10 TYPE 25   Type25a_Qdem
*$UNIT_NAME Type25a_Qdem
*$MODEL .\Output\Printer\TRNSYS-Supplied Units\Type25a.tmf
*$POSITION 971 711
*$LAYER Main #
PARAMETERS 10
1           ! 1 Printing interval
0           ! 2 Start time
8760        ! 3 Stop time
37          ! 4 Logical unit
2           ! 5 Units printing mode
0           ! 6 Relative or absolute start time
-1          ! 7 Overwrite or Append
-1          ! 8 Print header
0           ! 9 Delimiter
1           ! 10 Print labels
INPUTS 18
2,4         ! TYPE54a:Dry bulb temperature ->Input to be printed-1
5,1         ! Type56a: 1- (air temperature of zone) TAIR 1 ->Input to be printed-2
6,1         ! TYPE33e:Humidity ratio ->Input to be printed-3
5,4         ! Type56a: 4- (absolute air humidity) ABSHUM 1 ->Input to be printed-4
6,6         ! TYPE33e:Percent relative humidity ->Input to be printed-5
5,2         ! Type56a: 2- (relativ humidity of zone...) RELHUM 1 ->Input to be printed-6
9,4         ! Type16c:Total horizontal radiation ->Input to be printed-7
9,5         ! Type16c:Beam radiation on horizontal ->Input to be printed-8
9,7         ! Type16c:Total radiation on surface 1 ->Input to be printed-9
9,8         ! Type16c:Beam radiation on surface 1 ->Input to be printed-10
9,12        ! Type16c:Total radiation on surface 2 ->Input to be printed-11
9,13        ! Type16c:Beam radiation on surface 2 ->Input to be printed-12
9,17        ! Type16c:Total radiation on surface 3 ->Input to be printed-13
9,18        ! Type16c:Beam radiation on surface 3 ->Input to be printed-14
9,22        ! Type16c:Total radiation on surface 4 ->Input to be printed-15
9,23        ! Type16c:Beam radiation on surface 4 ->Input to be printed-16
5,5         ! Type56a: 5- (sens. energy demand of z...) QSENS 1 ->Input to be printed-17
5,7         ! Type56a: 7- (lat. energy demand of zo...) QLATD 1 ->Input to be printed-18
*** INITIAL INPUT VALUES
Tout Tzone ExHumRatio33 IntAbsHum URout33 URint TotHorRad BeamRadHor
TotRad_1 BeamRad_1 TotRad_2 BeamRad_2 TotRad_3 BeamRad_3 TotRad_4 BeamRad_4
Qsens QlatD
*** External files
ASSIGN "C:\Program Files (x86)\Trnsys16\MyProjects\indiciSeverita\ALLWEATHERIndex\AllWeather_Aa01W.xls" 37
*|? Output File for printed results |1000
*-----

* Model "TYPE14h_Heating" (Type 14)
*

UNIT 12 TYPE 14   TYPE14h_Heating
*$UNIT_NAME TYPE14h_Heating
*$MODEL .\Utility\Forcing Functions\General\TYPE14h.tmf
*$POSITION 577 84
*$LAYER Main #
PARAMETERS 12
0           ! 1 Initial value of time
1           ! 2 Initial value of function
2520        ! 3 Time at point-1
1           ! 4 Value at point -1
2521        ! 5 Time at point-2
0           ! 6 Value at point -2
```



```
6888          ! 7 Time at point-3
0             ! 8 Value at point -3
6889          ! 9 Time at point-4
1             ! 10 Value at point -4
8760          ! 11 Time at point-5
1             ! 12 Value at point -5
*-----
```

```
* Model "TYPE14h_Cooling" (Type 14)
*
```

```
UNIT 13 TYPE 14   TYPE14h_Cooling
*$UNIT_NAME TYPE14h_Cooling
*$MODEL .\Utility\Forcing Functions\General\TYPE14h.tmf
*$POSITION 817 110
*$SLAYER Main #
PARAMETERS 12
0             ! 1 Initial value of time
0             ! 2 Initial value of function
2880          ! 3 Time at point-1
0             ! 4 Value at point -1
2881          ! 5 Time at point-2
1             ! 6 Value at point -2
6552          ! 7 Time at point-3
1             ! 8 Value at point -3
6553          ! 9 Time at point-4
0             ! 10 Value at point -4
8760          ! 11 Time at point-5
0             ! 12 Value at point -5
*-----
```

END

c) FILE DATI INPUT TRNBUILD, DESCRIZIONE EDIFICIO NON ISOLATO: CASI Q1 - Q2

```
* TRNBuild 1.0.78
* BUILDING DESCRIPTIONS FILE TRNSYS
* FOR BUILDING: C:\Program Files (x86)\Trnsys16\MyProjects\indiciSeverita\ALLWEATHERIndex\Will1 floor NONiso.inf
* GET BY WORKING WITH TRNBuild 1.0 for Windows
* Comments
```

```
*-----
*#C----- TYPES ----- *
*#C
*#C-----LAYERS ----- *
*#C
*#C----- INPUTS ----- *
*#C
*#C-----SCHEDULES ----- *
*#C
*#C----- WALLS ----- *
*#C
*#C----- WINDOWS ----- *
*#C
*#C----- GAINS ----- *
*#C
*#C----- COMFORT----- *
*#C
*#C----- INFILTRATION ----- *
*#C
*#C----- VENTILATION ----- *
*#C
*#C----- HEATING ----- *
*#C
*#C----- ORIENTATIONS ----- *
*#C
*#C----- ZONES ----- *
*#C
*#C----- BUILDING ----- *
*#C
```



```

*#C ----- GEOSURF ----- *
*#C
*#C ----- OUTPUTS ----- *
*#C
*-----
* Project
*-----
*+++ PROJECT
*+++ TITLE=UNDEFINED
*+++ DESCRIPTION=UNDEFINED
*+++ CREATED=UNDEFINED
*+++ ADDRESS=UNDEFINED
*+++ CITY=UNDEFINED
*+++ SWITCH=UNDEFINED
*-----
* Properties
*-----
PROPERTIES
DENSITY=1.204 : CAPACITY=1.012 : HVAPOR=2454.0 : SIGMA=2.041e-007 : RTEMP=293.15
*-- alpha calculation -----
KFLOORUP=7.2 : EFLOORUP=0.31 : KFLOORDOWN=3.888 : EFLOORDOWN=0.31
KCEILUP=7.2 : ECEILUP=0.31 : KCEILDOWN=3.888 : ECEILDOWN=0.31
KVERTICAL=5.76 : EVERTICAL=0.3
*
TYPES
*-----
* Layers
*-----
LAYER INTONACO_GESSO
CONDUCTIVITY= 1.26 : CAPACITY= 1.09 : DENSITY= 1200
LAYER LATEROCEMENTO
CONDUCTIVITY= 1.69 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 1200
LAYER MEMBRANABITUME
CONDUCTIVITY= 0.612 : CAPACITY= 0.92 : DENSITY= 1200
LAYER SOLETTA_CEM
CONDUCTIVITY= 4.18 : CAPACITY= 0.88 : DENSITY= 2000
LAYER PIASTRELLE
CONDUCTIVITY= 3.6 : CAPACITY= 0.8 : DENSITY= 2300
LAYER INTONACO_CALCEM
CONDUCTIVITY= 3.24 : CAPACITY= 0.91 : DENSITY= 1800
LAYER MATTONI_SEMPIENI
CONDUCTIVITY= 1.58 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 1070
*-----
* Inputs
*-----
INPUTS TS HEAT_POWER COOL_POWER
*-----
* Schedules
*-----
* Walls
*-----
WALL ROOF_NONISOLAT
LAYERS = INTONACO_CALCEM LATEROCEMENTO MEMBRANABITUME SOLETTA_CEM PIASTRELLE
THICKNESS= 0.015 0.14 0.004 0.04 0.01
ABS-FRONT= 0.3 : ABS-BACK= 0.6
HFRONT = 11 : HBACK= 64
WALL GROUND_NONISOL
LAYERS = PIASTRELLE SOLETTA_CEM LATEROCEMENTO MEMBRANABITUME
THICKNESS= 0.01 0.06 0.14 0.004
ABS-FRONT= 0.6 : ABS-BACK= 0.6
HFRONT = 11 : HBACK= 64
WALL NONISOLATO
LAYERS = INTONACO_GESSO MATTONI_SEMPIENI INTONACO_CALCEM
THICKNESS= 0.015 0.14 0.02
ABS-FRONT= 0.3 : ABS-BACK= 0.6
HFRONT = 11 : HBACK= 64
*-----
* Windows

```

```

*-----
WINDOW NON_ISOLATO
WINID=13901 : HINSIDE=11 : HOUTSIDE=64 : SLOPE=90 : SPACID=0 : WWID=0 : WHEIG=0 : FFRAME=0.2 : UFRAME=8.17 :
ABSFRAME=0.6 : RISHADE=0 : RESHADE=0 : REFLISHADE=0 : REFLOSHADE=0 : CCISHADE=0.5
*-----
* Default Gains
*-----
* Other Gains
*-----
* Comfort
*-----
* Infiltration
*-----
INFILTRATION LEAKY
AIRCHANGE=0.3
*-----
* Ventilation
*-----
* Cooling
*-----
COOLING COOL1
ON=26
POWER=INPUT 1e+006*COOL_POWER
HUMIDITY=60
*-----
* Heating
*-----
* Zones
*-----
ZONES ZONE_A1
*-----
* Orientations
*-----
ORIENTATIONS NORTH SOUTH EAST WEST HORIZONT
*
BUILDING
*
* Zone ZONE_A1 / Airnode ZONE_A1
*-----Z
ZONE ZONE_A1
AIRNODE ZONE_A1
WALL =NONISOLATO : SURF= 1 : AREA= 21 : EXTERNAL : ORI=NORTH : FSKY=0.5
WINDOW=NON_ISOLATO : SURF= 2 : AREA= 9 : EXTERNAL : ORI=NORTH : FSKY=0.5
WALL =NONISOLATO : SURF= 3 : AREA= 27 : EXTERNAL : ORI=SOUTH : FSKY=0.5
WINDOW=NON_ISOLATO : SURF= 4 : AREA= 3 : EXTERNAL : ORI=SOUTH : FSKY=0.5
WALL =NONISOLATO : SURF= 5 : AREA= 40.5 : EXTERNAL : ORI=EAST : FSKY=0.5
WINDOW=NON_ISOLATO : SURF= 6 : AREA= 4.5 : EXTERNAL : ORI=EAST : FSKY=0.5
WALL =NONISOLATO : SURF= 7 : AREA= 31.5 : EXTERNAL : ORI=WEST : FSKY=0.5
WINDOW=NON_ISOLATO : SURF= 8 : AREA= 13.5 : EXTERNAL : ORI=WEST : FSKY=0.5
WALL =GROUND_NONISOL : SURF= 9 : AREA= 150 : BOUNDARY=INPUT 1*TS
WALL =ROOF_NONISOLAT : SURF= 10 : AREA= 150 : EXTERNAL : ORI=HORIZONT : FSKY=1
REGIME
INFILTRATION=LEAKY
COOLING =COOL1
CAPACITANCE = 540 : VOLUME= 450 : TINITIAL= 26 : PHINITIAL= 50 : WCAPR= 1
*-----
* Outputs
*-----
OUTPUTS
TRANSFER : TIMEBASE=1.000
AIRNODES = ZONE_A1
NTYPES = 1 : TAIR - air temperature of zone
= 9 : RELHUM - relativ humidity of zone air
= 18 : SURF = 9, : TSO - outside surface temperature
= 29 : ABSHUM - absolute humidity of zone air
= 2 : QSENS - sensible energy demand of zone, heating(-), cooling(+)
= 4 : QINF - sensible infiltration energy gain of zone
= 10 : QLATD - latent energy demand of zone, humidification(-), dehumidification (+)
= 30 : QHEAT - sensible heating demand of zone (positive values)

```

- = 31 : QCOOL - sensible cooling demand of zone (positive values)
- = 27 : QUA - static UA-transmission losses of zone (UA*dT using the u-values given in the .INF file)
- = 78 : QRHEAT - radiative energy rate of sensible heating demand of zone

*-----
 * E n d
 *-----
 END

EXTENSION_WINPOOL_START
 WINDOW 4.1 DOE-2 Data File : Multi Band Calculation
 Unit System : SI
 Name : TRNSYS 15 WINDOW LIB
 Desc : Waermeschutzglas,Ar, 1.4 71/59
 Window ID : 2001
 Tilt : 90.0
 Glazings : 2
 Frame : 11 2.270
 Spacer : 1 Class1 2.330 -0.010 0.138
 Total Height: 1219.2 mm
 Total Width : 914.4 mm
 Glass Height: 1079.5 mm
 Glass Width : 774.7 mm
 Mullion : None
 Gap Thick Cond dCond Vis dVis Dens dDens Pr dPr
 1 Argon 16.0 0.01620 5.000 2.110 6.300 1.780 -0.0060 0.680 0.00066
 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Angle 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 Hemis
 Tsol 0.426 0.428 0.422 0.413 0.402 0.380 0.333 0.244 0.113 0.000 0.354
 Abs1 0.118 0.118 0.120 0.123 0.129 0.135 0.142 0.149 0.149 0.000 0.132
 Abs2 0.190 0.192 0.198 0.201 0.200 0.199 0.199 0.185 0.117 0.000 0.191
 Abs3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Abs4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Abs5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Abs6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Rfsol 0.266 0.262 0.260 0.262 0.269 0.286 0.326 0.422 0.621 1.000 0.314
 Rbsol 0.215 0.209 0.207 0.210 0.219 0.237 0.272 0.356 0.560 0.999 0.260
 Tvis 0.706 0.710 0.701 0.688 0.670 0.635 0.556 0.403 0.188 0.000 0.590
 Rfvis 0.121 0.115 0.114 0.118 0.132 0.163 0.228 0.376 0.649 1.000 0.203
 Rbvis 0.103 0.096 0.093 0.096 0.108 0.132 0.179 0.286 0.520 0.999 0.162
 SHGC 0.589 0.593 0.591 0.586 0.574 0.551 0.505 0.405 0.218 0.000 0.518
 SC: 0.55
 Layer ID# 9052 9065 0 0 0 0
 Tir 0.000 0.000 0 0 0 0
 Emis F 0.840 0.140 0 0 0 0
 Emis B 0.840 0.840 0 0 0 0
 Thickness(mm) 4.0 4.0 0 0 0 0
 Cond(W/m2-C) 225.0 225.0 0 0 0 0
 Spectral File None None None None None None
 Overall and Center of Glass Ig U-values (W/m2-C)
 Outdoor Temperature -17.8 C 15.6 C 26.7 C 37.8 C
 Solar WdSpd hcout hrouit hin
 (W/m2) (m/s) (W/m2-C)
 0 0.00 12.25 3.25 7.62 1.54 1.54 1.31 1.31 1.35 1.35 1.47 1.47
 0 6.71 25.47 3.21 7.64 1.62 1.62 1.36 1.36 1.40 1.40 1.53 1.53
 783 0.00 12.25 3.39 7.99 1.69 1.69 1.54 1.54 1.51 1.51 1.54 1.54
 783 6.71 25.47 3.30 7.81 1.79 1.79 1.63 1.63 1.58 1.58 1.59 1.59
 Window 5.2 v5.2.17 DOE-2 Data File : Multi Band Calculation
 Unit System : SI
 Name : TRNSYS 16 WIN LIB
 Desc : Triple, chiaro, 4/8/4/8/4
 Window ID : 13923
 Tilt : 90.0
 Glazings : 3
 Frame : 1 Al no break 10.790
 Spacer : 1 Class1 2.330 -0.010 0.138
 Total Height: 1500.0 mm

Total Width : 1200.0 mm
 Glass Height: 1385.7 mm
 Glass Width : 1085.7 mm
 Mullion : None

Gap	Thick	Cond	dCond	Vis	dVis	Dens	dDens	Pr	dPr
1 Air	8.0	0.02407	7.760	1.722	4.940	1.292	-0.0046	0.720	-0.0002
2 Air	8.0	0.02407	7.760	1.722	4.940	1.292	-0.0046	0.720	-0.0002
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Angle 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 Hemis
 Tsol 0.580 0.580 0.577 0.568 0.550 0.513 0.438 0.301 0.112 0.000 0.475
 Abs1 0.101 0.101 0.103 0.106 0.110 0.117 0.126 0.138 0.143 0.000 0.115
 Abs2 0.081 0.081 0.082 0.084 0.087 0.090 0.092 0.090 0.075 0.000 0.086
 Abs3 0.063 0.063 0.064 0.065 0.067 0.066 0.063 0.052 0.031 0.000 0.061
 Abs4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Abs5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Abs6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Rfsol 0.174 0.174 0.174 0.176 0.186 0.214 0.281 0.419 0.638 1.000 0.253
 Rbsol 0.174 0.174 0.174 0.176 0.186 0.214 0.281 0.419 0.638 1.000 0.253
 Tvis 0.742 0.742 0.740 0.735 0.719 0.681 0.593 0.425 0.187 0.000 0.628
 Rfvis 0.199 0.199 0.200 0.203 0.216 0.252 0.336 0.502 0.741 1.000 0.297
 Rbvis 0.199 0.199 0.200 0.203 0.216 0.252 0.336 0.502 0.741 1.000 0.297
 SHGC 0.678 0.678 0.676 0.669 0.654 0.620 0.544 0.400 0.191 0.000 0.575
 SC: 0.79

Layer ID#	23902	23902	23902	0	0	0
Tir	0.000	0.000	0.000	0	0	0
Emis F	0.840	0.840	0.840	0	0	0
Emis B	0.840	0.840	0.840	0	0	0
Thickness(mm)	4.0	4.0	4.0	0	0	0
Cond(W/m2-K)	250.0	250.0	250.0	0	0	0
Spectral File	None	None	None	None	None	None

Overall and Center of Glass Ig U-values (W/m2-K)
 Outdoor Temperature -17.8 C 15.6 C 26.7 C 37.8 C
 Solar WdSpd hcout hrout hin
 (W/m2) (m/s) (W/m2-K)
 0 0.00 19.76 3.24 3.38 2.01 2.01 2.19 2.19 2.26 2.26 2.32 2.32
 0 6.71 19.76 3.24 3.38 2.01 2.01 2.19 2.19 2.26 2.26 2.32 2.32
 783 0.00 19.66 3.34 3.18 2.01 2.01 2.19 2.19 2.26 2.26 2.32 2.32
 783 6.71 19.66 3.34 3.18 2.01 2.01 2.19 2.19 2.26 2.26 2.32 2.32
 Window 5.2 v5.2.17 DOE-2 Data File : Multi Band Calculation
 Unit System : SI
 Name : TRNSYS 16 WIN LIB
 Desc : Doble, claro, 6/12/6
 Window ID : 13912
 Tilt : 90.0
 Glazings : 2
 Frame : 1 Al no break 10.790
 Spacer : 1 Class1 2.330 -0.010 0.138
 Total Height: 1500.0 mm
 Total Width : 1200.0 mm
 Glass Height: 1385.7 mm
 Glass Width : 1085.7 mm
 Mullion : None

Gap	Thick	Cond	dCond	Vis	dVis	Dens	dDens	Pr	dPr
1 Air	12.0	0.02407	7.760	1.722	4.940	1.292	-0.0046	0.720	-0.0002
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Angle 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 Hemis
 Tsol 0.627 0.627 0.623 0.615 0.599 0.568 0.504 0.377 0.170 0.000 0.529
 Abs1 0.139 0.139 0.141 0.145 0.151 0.159 0.168 0.180 0.182 0.000 0.156
 Abs2 0.104 0.104 0.105 0.107 0.110 0.111 0.109 0.098 0.070 0.000 0.104
 Abs3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Abs4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Abs5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Abs6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Rfsol 0.130 0.130 0.130 0.132 0.139 0.162 0.218 0.344 0.578 1.000 0.200

```

Rbsol 0.130 0.130 0.130 0.132 0.139 0.162 0.218 0.344 0.578 1.000 0.200
Tvis 0.797 0.797 0.795 0.791 0.778 0.747 0.674 0.520 0.260 0.000 0.694
Rfvis 0.144 0.144 0.144 0.147 0.157 0.185 0.255 0.407 0.667 1.000 0.230
Rbvis 0.144 0.144 0.144 0.147 0.157 0.185 0.255 0.407 0.667 1.000 0.230
SHGC 0.722 0.722 0.720 0.714 0.701 0.672 0.609 0.478 0.253 0.000 0.629
SC: 0.83
Layer ID#      23903  23903   0   0   0   0
Tir           0.000  0.000   0   0   0   0
Emis F        0.840  0.840   0   0   0   0
Emis B        0.840  0.840   0   0   0   0
Thickness(mm) 6.0   6.0   0   0   0   0
Cond(W/m2-K)  )166.7 166.7   0   0   0   0
Spectral File   None    None    None    None    None    None
Overall and Center of Glass Ig U-values (W/m2-K)
Outdoor Temperature      -17.8 C   15.6 C   26.7 C   37.8 C
Solar WdSpd hcout hrouit hin
(W/m2) (m/s) (W/m2-K)
0      0.00 19.74 3.26 3.47 2.73 2.73 2.92 2.92 3.00 3.00 3.08 3.08
0      6.71 19.74 3.26 3.47 2.73 2.73 2.92 2.92 3.00 3.00 3.08 3.08
783    0.00 19.64 3.37 3.28 2.73 2.73 2.92 2.92 3.00 3.00 3.08 3.08
783    6.71 19.64 3.37 3.28 2.73 2.73 2.92 2.92 3.00 3.00 3.08 3.08
Window 5.2 v5.2.17 DOE-2 Data File : Multi Band Calculation
Unit System : SI
Name       : TRNSYS 16 WIN LIB
Desc      : Simple, chiaro, 6 mm
Window ID  : 13903
Tilt      : 90.0
Glazings  : 1
Frame     : 1 Al no break      10.790
Spacer   : 1 Class1          2.330 -0.010 0.138
Total Height: 1500.0 mm
Total Width : 1200.0 mm
Glass Height: 1385.7 mm
Glass Width : 1085.7 mm
Mullion   : None
Gap       Thick Cond dCond Vis dVis Dens dDens Pr dPr
1         0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
2         0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
3         0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
4         0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
5         0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
Angle    0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 Hemis
Tsol 0.789 0.789 0.787 0.781 0.771 0.749 0.702 0.595 0.358 0.000 0.709
Abs1 0.131 0.131 0.133 0.137 0.141 0.147 0.152 0.155 0.147 0.000 0.142
Abs2 0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
Abs3 0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
Abs4 0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
Abs5 0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
Abs6 0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
Rfsol 0.080 0.080 0.080 0.082 0.087 0.103 0.145 0.250 0.494 1.000 0.138
Rbsol 0.080 0.080 0.080 0.082 0.087 0.103 0.145 0.250 0.494 1.000 0.138
Tvis 0.890 0.890 0.889 0.886 0.879 0.859 0.811 0.695 0.432 0.000 0.812
Rfvis 0.080 0.080 0.080 0.082 0.088 0.106 0.152 0.268 0.530 1.000 0.144
Rbvis 0.080 0.080 0.080 0.082 0.088 0.106 0.152 0.268 0.530 1.000 0.144
SHGC 0.837 0.837 0.836 0.832 0.823 0.804 0.758 0.652 0.413 0.000 0.762
SC: 0.94
Layer ID#      23903   0   0   0   0   0
Tir           0.000   0   0   0   0   0
Emis F        0.840   0   0   0   0   0
Emis B        0.840   0   0   0   0   0
Thickness(mm) 6.0   0   0   0   0   0
Cond(W/m2-K)  )166.7   0   0   0   0   0
Spectral File   None    None    None    None    None    None
Overall and Center of Glass Ig U-values (W/m2-K)
Outdoor Temperature      -17.8 C   15.6 C   26.7 C   37.8 C
Solar WdSpd hcout hrouit hin
(W/m2) (m/s) (W/m2-K)
0      0.00 19.64 3.36 3.80 5.74 5.74 5.73 5.73 5.73 5.73
0      6.71 19.64 3.36 3.80 5.74 5.74 5.73 5.73 5.73 5.73

```

783 0.00 19.58 3.42 3.73 5.74 5.74 5.73 5.73 5.73 5.73 5.73 5.73
 783 6.71 19.58 3.42 3.73 5.74 5.74 5.73 5.73 5.73 5.73 5.73 5.73

Window 5.2 v5.2.17 DOE-2 Data File : Multi Band Calculation

Unit System : SI

Name : TRNSYS 16 WIN LIB

Desc : Simple, chiaro, 2 mm

Window ID : 13901

Tilt : 90.0

Glazings : 1

Frame : 1 Al no break 10.790

Spacer : 1 Class1 2.330 -0.010 0.138

Total Height: 1500.0 mm

Total Width : 1200.0 mm

Glass Height: 1385.7 mm

Glass Width : 1085.7 mm

Mullion : None

Gap	Thick	Cond	dCond	Vis	dVis	Dens	dDens	Pr	dPr
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

***** WALL TRANSFERFUNCTION CALCULATIONS *****

----- WALL TYPE ROOF_NONISOLAT -----

THERMAL CONDUCTANCE, U= 9.40265 kJ/h m2K; k-Wert= 1.80874 W/m2K

```

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS
K      A      B      C      D
0      8.8753390E+01  1.9161093E-02  6.1420994E+01  1.0000000E+00
1      -1.3403920E+02  9.4994205E-01  -9.0974387E+01  -8.0420346E-01
2      5.2908107E+01  1.6845125E+00  3.6377525E+01  1.2569301E-01
3      -4.7019210E+00  3.3070679E-01  -3.9158135E+00  -3.3957560E-03
4      7.0727756E-02  6.6588110E-03  8.2803931E-02  6.7874487E-06
5      -1.1150599E-04  7.9207280E-06  -1.3275661E-04
SUM    2.9909892E+00  2.9909892E+00  2.9909892E+00  3.1810058E-01
    
```

----- WALL TYPE GROUND_NONISOL -----

THERMAL CONDUCTANCE, U= 9.38896 kJ/h m2K; k-Wert= 1.80692 W/m2K

```

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS
K      A      B      C      D
0      4.0851318E+01  1.1593922E-02  9.3833032E+01  1.0000000E+00
1      -5.9418506E+01  6.9499946E-01  -1.4650234E+02  -9.1988113E-01
2      2.3693587E+01  1.4424919E+00  6.1824085E+01  1.9307515E-01
3      -2.6798245E+00  3.4307244E-01  -6.8164418E+00  -6.8403821E-03
4      5.4405685E-02  8.7365806E-03  1.6283214E-01  1.3178810E-05
5      -7.2012258E-05  1.4064615E-05  -2.6089631E-04
6      3.9387788E-09  7.7883339E-10  1.3160944E-08
SUM    2.5009083E+00  2.5009083E+00  2.5009083E+00  2.6636682E-01
    
```

----- WALL TYPE NONISOLATO -----

THERMAL CONDUCTANCE, U= 9.37337 kJ/h m2K; k-Wert= 1.80484 W/m2K

```

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS
K      A      B      C      D
0      6.3231756E+01  1.0036830E-01  4.4565517E+01  1.0000000E+00
1      -8.5170692E+01  1.9398120E+00  -5.5349391E+01  -6.4152363E-01
2      2.7340792E+01  1.6907496E+00  1.5384577E+01  5.3252348E-02
3      -1.5510177E+00  1.2529727E-01  -7.4668239E-01  -2.7233183E-04
4      5.8960151E-03  5.0682222E-04  2.7136088E-03  3.5410745E-08
5      -5.5378323E-07  5.0312671E-08  -2.7653902E-07
SUM    3.8567340E+00  3.8567340E+00  3.8567340E+00  4.1145643E-01
***** REQUIRED INPUTS *****
    
```

*InpNR Label UNIT INPUT DESCRIPTION

- * 1 TAMB C AMBIENT TEMPERATURE
- * 2 ARELHUM % RELATIVE AMBIENT HUMIDITY
- * 3 TSKY C FIKTIVE SKY TEMPERATURE
- * 4 ITNORTH kJ/hr.m^2 INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION NORTH
- * 5 ITSOUTH kJ/hr.m^2 INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH
- * 6 ITEAST kJ/hr.m^2 INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION EAST
- * 7 ITWEST kJ/hr.m^2 INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION WEST
- * 8 ITHORIZONT kJ/hr.m^2 INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONT
- * 9 IBNORTH kJ/hr.m^2 INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION NORTH
- * 10 IBSOUTH kJ/hr.m^2 INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH
- * 11 IBEAST kJ/hr.m^2 INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION EAST
- * 12 IBWEST kJ/hr.m^2 INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION WEST
- * 13 IBHORIZONT kJ/hr.m^2 INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONT
- * 14 AINORTH degrees ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION NORTH
- * 15 AISOUTH degrees ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION SOUTH
- * 16 AIEAST degrees ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION EAST
- * 17 AIWEST degrees ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION WEST
- * 18 AIHORIZONT degrees ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION HORIZONT
- * 19 TS any INPUT
- * 20 HEAT_POWER any INPUT
- * 21 COOL_POWER any INPUT

***** DESIRED OUTPUTS *****

*OutNr	Label	Unit	ZNr	Zone	Surface	OUTPUT DESCRIPTION
* 1	TAIR	1 C	1	ZONE_A1		air temperature of zone
* 2	RELHUM	1 %	1	ZONE_A1		relativ humidity of zone air
* 3	TSO	9 C	1	ZONE_A1	9	outside surface temperature ->WALL=GROUND_NONISOL:KNOWN BOUNDARY
* 4	ABSHUM	1 kg/kg	1	ZONE_A1		absolute air humidity
* 5	QSENS	1 kJ/hr	1	ZONE_A1		sens. energy demand of zone, heating(-), cooling(+)
* 6	QINF	1 kJ/hr	1	ZONE_A1		sens. infiltration energy gain of zone
* 7	QLATD	1 kJ/hr	1	ZONE_A1		lat. energy demand of zone, humidif.(-), dehumidif.(+)
* 8	QHEAT	1 kJ/hr	1	ZONE_A1		heating demand
* 9	QCOOL	1 kJ/hr	1	ZONE_A1		cooling demand
* 10	QUA	1 kJ/hr	1	ZONE_A1		UA-transmission losses
* 11	QRHEAT	1 kJ/hr	1	ZONE_A1		radiative part of sens. heating demand of zone

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***

WALL ROOF_NONISOLAT	k-Wert=	1.809 W/m2K
WALL GROUND_NONISOL	k-Wert=	1.807 W/m2K
WALL NONISOLATO	k-Wert=	1.805 W/m2K

d) FILE DATI INPUT TRNBUILD, DESCRIZIONE EDIFICIO ISOLATO: CASI Q3 - Q4

```

* TRNBuild 1.0.78
* BUILDING DESCRIPTIONS FILE TRNSYS
* FOR BUILDING: C:\Program Files (x86)\Trnsys16\MyProjects\indiciSeverita\ALLWEATHERIndex\Vill1floor ISO.inf
* GET BY WORKING WITH TRNBuild 1.0 for Windows
*****
*****
*-----
*-----
* Comments
*-----
*-----
*#C----- TYPES ----- *
*#C
*#C-----LAYERS ----- *
*#C
*#C----- INPUTS ----- *
*#C
*#C-----SCHEDULES ----- *
*#C
*#C----- WALLS ----- *
*#C
*#C----- WINDOWS ----- *
*#C
*#C----- GAINS ----- *
*#C
*#C----- COMFORT----- *
*#C
*#C----- INFILTRATION ----- *
*#C
*#C----- VENTILATION ----- *
*#C
*#C----- HEATING ----- *
*#C
*#C----- ORIENTATIONS ----- *
*#C
*#C----- ZONES ----- *
*#C
*#C----- BUILDING ----- *
*#C
*#C----- GEOSURF ----- *
*#C
*#C----- OUTPUTS ----- *
*#C
*-----
* Project
*-----
*+++ PROJECT
*+++ TITLE=UNDEFINED
*+++ DESCRIPTION=UNDEFINED
*+++ CREATED=UNDEFINED
*+++ ADDRESS=UNDEFINED
*+++ CITY=UNDEFINED
*+++ SWITCH=UNDEFINED
*-----
* Properties
*-----
*-----
PROPERTIES
DENSITY=1.204 : CAPACITY=1.012 : HVAPOR=2454.0 : SIGMA=2.041e-007 : RTEMP=293.15
*--- alpha calculation -----
KFLOORUP=7.2 : EFLOORUP=0.31 : KFLOORDOWN=3.888 : EFLOORDOWN=0.31
KCEILUP=7.2 : ECEILUP=0.31 : KCEILDOWN=3.888 : ECEILDOWN=0.31
KVERTICAL=5.76 : EVERTICAL=0.3

```

*

TYPES

*

* Layers

*

LAYER BLOCCHILATERIZIO

CONDUCTIVITY= 1.044 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 900

LAYER INTONACO_CALCEM

CONDUCTIVITY= 3.24 : CAPACITY= 0.91 : DENSITY= 1800

LAYER INTONACO_GESSO

CONDUCTIVITY= 1.26 : CAPACITY= 1.09 : DENSITY= 1200

LAYER POLISTIRENE

CONDUCTIVITY= 0.144 : CAPACITY= 1.34 : DENSITY= 25

LAYER PIASTRELLE

CONDUCTIVITY= 3.6 : CAPACITY= 0.8 : DENSITY= 2300

LAYER SOLETTA_CEM

CONDUCTIVITY= 4.18 : CAPACITY= 0.88 : DENSITY= 2000

LAYER MASSETTO_LIGHT

CONDUCTIVITY= 0.54 : CAPACITY= 1.38 : DENSITY= 400

LAYER LATEROCEMENTO

CONDUCTIVITY= 1.69 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 1200

LAYER MEMBRANABITUME

CONDUCTIVITY= 0.612 : CAPACITY= 0.92 : DENSITY= 1200

*

* Inputs

*

INPUTS TS HEAT_POWER COOL_POWER

*

* Schedules

*

* Walls

*

WALL BENEISOLATO

LAYERS = INTONACO_GESSO BLOCCHILATERIZIO POLISTIRENE INTONACO_CALCEM

THICKNESS=0.015 0.25 0.056 0.02

ABS-FRONT=0.3 : ABS-BACK=0.6

HFRONT = 11 : HBACK= 64

WALL GROUND_BENEISOL

LAYERS = PIASTRELLE SOLETTA_CEM MASSETTO_LIGHT LATEROCEMENTO POLISTIRENE MEMBRANABITUME

THICKNESS=0.01 0.06 0.16 0.06 0.004

ABS-FRONT=0.6 : ABS-BACK=0.6

HFRONT = 11 : HBACK= 64

WALL ROOF_BENEISOLAT

LAYERS = INTONACO_GESSO LATEROCEMENTO MASSETTO_LIGHT POLISTIRENE MEMBRANABITUME SOLETTA_CEM

PIASTRELLE

THICKNESS=0.015 0.16 0.05 0.06 0.004 0.04 0.01

ABS-FRONT=0.3 : ABS-BACK=0.6

HFRONT = 11 : HBACK= 64

*

* Windows

*

WINDOW BENE_ISOLATO

WINID=13923 : HINSIDE=11 : HOUTSIDE=64 : SLOPE=90 : SPACID=0 : WWID=0 : WHEIG=0 : FFRAME=0.2 : UFRAME=8.17 :

ABSFRAME=0.6 : RISHADE=0 : RESHADE=0 : REFLISHADE=0 : REFLOSHADE=0 : CCISHADE=0

*

* Default Gains

*

* Other Gains

```

*-----
* Comfort
*-----
* Infiltration
*-----
INFILTRATION LEAKY
AIRCHANGE=0.3
*-----
* Ventilation
*-----
* Cooling
*-----
COOLING COOL1
ON=26
POWER=INPUT 1e+006*COOL_POWER
HUMIDITY=60
*-----
* Heating
*-----
* Zones
*-----
ZONES ZONE_A1
*-----
* Orientations
*-----
ORIENTATIONS NORTH SOUTH EAST WEST HORIZONT
*
BUILDING
**-----
* Zone ZONE_A1 / Airnode ZONE_A1
*-----
ZONE ZONE_A1
AIRNODE ZONE_A1
WALL =BENEISOLATO : SURF= 1 : AREA= 21 : EXTERNAL : ORI=NORTH : FSKY=0.5
WINDOW=BENE_ISOLATO : SURF= 2 : AREA= 9 : EXTERNAL : ORI=NORTH : FSKY=0.5
WALL =BENEISOLATO : SURF= 3 : AREA= 27 : EXTERNAL : ORI=SOUTH : FSKY=0.5
WINDOW=BENE_ISOLATO : SURF= 4 : AREA= 3 : EXTERNAL : ORI=SOUTH : FSKY=0.5
WALL =BENEISOLATO : SURF= 5 : AREA= 40.5 : EXTERNAL : ORI=EAST : FSKY=0.5
WINDOW=BENE_ISOLATO : SURF= 6 : AREA= 4.5 : EXTERNAL : ORI=EAST : FSKY=0.5
WALL =BENEISOLATO : SURF= 7 : AREA= 31.5 : EXTERNAL : ORI=WEST : FSKY=0.5
WINDOW=BENE_ISOLATO : SURF= 8 : AREA= 13.5 : EXTERNAL : ORI=WEST : FSKY=0.5
WALL =GROUND_BENEISOL : SURF= 9 : AREA= 150 : BOUNDARY=INPUT 1*TS
WALL =ROOF_BENEISOLAT : SURF= 10 : AREA= 150 : EXTERNAL : ORI=HORIZONT : FSKY=1
REGIME
INFILTRATION= LEAKY
COOLING = COOL1
CAPACITANCE = 540 : VOLUME= 450 : TINITIAL= 26 : PHINITIAL= 50 : WCAPR= 1
*-----
* Outputs
*-----
OUTPUTS
TRANSFER : TIMEBASE=1.000
AIRNODES = ZONE_A1
NTYPES = 1 : TAIR - air temperature of zone

```

- = 9 : RELHUM - relativ humidity of zone air
- = 18 : SURF = 9, : TSO - outside surface temperature
- = 29 : ABSHUM - absolute humidity of zone air
- = 2 : QSENS - sensible energy demand of zone, heating(-), cooling(+)
- = 4 : QINF - sensible infiltration energy gain of zone
- = 10 : QLATD - latent energy demand of zone, humidification(-), dehumidification (+)
- = 30 : QHEAT - sensible heating demand of zone (positive values)
- = 31 : QCOOL - sensible cooling demand of zone (positive values)
- = 27 : QUA - static UA-transmission losses of zone (UA*dT using the u-values given in the .INF file)
- = 78 : QRHEAT - radiative energy rate of sensible heating demand of zone

*-----
 * E n d
 *-----

END

_EXTENSION_WINPOOL_START_
 WINDOW 4.1 DOE-2 Data File : Multi Band Calculation
 Unit System : SI
 Name : TRNSYS 15 WINDOW LIB
 Desc : Waermeschutzglas,Ar, 1.4 71/59
 Window ID : 2001
 Tilt : 90.0
 Glazings : 2
 Frame : 11 2.270
 Spacer : 1 Class1 2.330 -0.010 0.138
 Total Height: 1219.2 mm
 Total Width : 914.4 mm
 Glass Height: 1079.5 mm
 Glass Width : 774.7 mm
 Mullion : None
 Gap Thick Cond dCond Vis dVis Dens dDens Pr dPr
 1 Argon 16.0 0.01620 5.000 2.110 6.300 1.780 -0.0060 0.680 0.00066
 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Angle 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 Hemis
 Tsol 0.426 0.428 0.422 0.413 0.402 0.380 0.333 0.244 0.113 0.000 0.354
 Abs1 0.118 0.118 0.120 0.123 0.129 0.135 0.142 0.149 0.149 0.000 0.132
 Abs2 0.190 0.192 0.198 0.201 0.200 0.199 0.199 0.185 0.117 0.000 0.191
 Abs3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Abs4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Abs5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Abs6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 Rfsol 0.266 0.262 0.260 0.262 0.269 0.286 0.326 0.422 0.621 1.000 0.314
 Rbsol 0.215 0.209 0.207 0.210 0.219 0.237 0.272 0.356 0.560 0.999 0.260
 Tvis 0.706 0.710 0.701 0.688 0.670 0.635 0.556 0.403 0.188 0.000 0.590
 Rfvis 0.121 0.115 0.114 0.118 0.132 0.163 0.228 0.376 0.649 1.000 0.203
 Rbvis 0.103 0.096 0.093 0.096 0.108 0.132 0.179 0.286 0.520 0.999 0.162
 SHGC 0.589 0.593 0.591 0.586 0.574 0.551 0.505 0.405 0.218 0.000 0.518
 SC: 0.55
 Layer ID# 9052 9065 0 0 0 0
 Tir 0.000 0.000 0 0 0 0
 Emis F 0.840 0.140 0 0 0 0
 Emis B 0.840 0.840 0 0 0 0
 Thickness(mm) 4.0 4.0 0 0 0 0
 Cond(W/m2-C) 225.0 225.0 0 0 0 0
 Spectral File None None None None None None
 Overall and Center of Glass Ig U-values (W/m2-C)
 Outdoor Temperature -17.8 C 15.6 C 26.7 C 37.8 C
 Solar WdSpd hcout hrouit hin
 (W/m2) (m/s) (W/m2-C)
 0 0.00 12.25 3.25 7.62 1.54 1.54 1.31 1.31 1.35 1.35 1.47 1.47
 0 6.71 25.47 3.21 7.64 1.62 1.62 1.36 1.36 1.40 1.40 1.53 1.53
 783 0.00 12.25 3.39 7.99 1.69 1.69 1.54 1.54 1.51 1.51 1.54 1.54
 783 6.71 25.47 3.30 7.81 1.79 1.79 1.63 1.63 1.58 1.58 1.59 1.59
 Window 5.2 v5.2.17 DOE-2 Data File : Multi Band Calculation

Unit System : SI

Name : TRNSYS 16 WIN LIB

Desc : Simple, chiaro, 2 mm

Window ID : 13901

Tilt : 90.0

Glazings : 1

Frame : 1 Al no break 10.790

Spacer : 1 Class1 2.330 -0.010 0.138

Total Height: 1500.0 mm

Total Width: 1200.0 mm

Glass Height: 1385.7 mm

Glass Width: 1085.7 mm

Mullion : None

Gap	Thick	Cond	dCond	Vis	dVis	Dens	dDens	Pr	dPr
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Angle	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Hemis
Tsol	0.869	0.869	0.868	0.865	0.857	0.837	0.789	0.674	0.416	0.000	0.791
Abs1	0.050	0.050	0.051	0.053	0.055	0.057	0.060	0.062	0.062	0.000	0.056
Abs2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abs3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abs4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abs5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abs6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Rfsol	0.080	0.080	0.080	0.082	0.088	0.105	0.151	0.264	0.522	1.000	0.143
Rbsol	0.080	0.080	0.080	0.082	0.088	0.105	0.151	0.264	0.522	1.000	0.143
Tvis	0.910	0.910	0.909	0.907	0.900	0.882	0.834	0.716	0.448	0.000	0.833
Rfvis	0.080	0.080	0.080	0.082	0.089	0.107	0.154	0.272	0.539	1.000	0.146
Rbvis	0.080	0.080	0.080	0.082	0.089	0.107	0.154	0.272	0.539	1.000	0.146
SHGC	0.888	0.888	0.887	0.884	0.877	0.858	0.811	0.697	0.439	0.000	0.811

SC: 0.99

Layer ID#	23901	0	0	0	0	0
Tir	0.000	0	0	0	0	0
Emis F	0.840	0	0	0	0	0
Emis B	0.840	0	0	0	0	0
Thickness(mm)	2.0	0	0	0	0	0
Cond(W/m2-K)	500.0	0	0	0	0	0
Spectral File	None	None	None	None	None	None

Overall and Center of Glass Ig U-values (W/m2-K)

Outdoor Temperature	-17.8 C	15.6 C	26.7 C	37.8 C							
Solar WdSpd	hcout	hrout	hin								
(W/m2)	(m/s)	(W/m2-K)									
0	0.00	19.64	3.36	3.82	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87
0	6.71	19.64	3.36	3.82	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87
783	0.00	19.61	3.39	3.79	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87
783	6.71	19.61	3.39	3.79	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87

Window 5.2 v5.2.17 DOE-2 Data File : Multi Band Calculation

Unit System : SI

Name : TRNSYS 16 WIN LIB

Desc : Triple, chiaro, 4/8/4/8/4

Window ID : 13923

Tilt : 90.0

Glazings : 3

Frame : 1 Al no break 10.790

Spacer : 1 Class1 2.330 -0.010 0.138

Total Height: 1500.0 mm

Total Width: 1200.0 mm

Glass Height: 1385.7 mm

Glass Width: 1085.7 mm

Mullion : None

Gap	Thick	Cond	dCond	Vis	dVis	Dens	dDens	Pr	dPr
1 Air	8.0	0.02407	7.760	1.722	4.940	1.292	-0.0046	0.720	-0.0002
2 Air	8.0	0.02407	7.760	1.722	4.940	1.292	-0.0046	0.720	-0.0002
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

```

Angle 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 Hemis
Tsol 0.580 0.580 0.577 0.568 0.550 0.513 0.438 0.301 0.112 0.000 0.475
Abs1 0.101 0.101 0.103 0.106 0.110 0.117 0.126 0.138 0.143 0.000 0.115
Abs2 0.081 0.081 0.082 0.084 0.087 0.090 0.092 0.090 0.075 0.000 0.086
Abs3 0.063 0.063 0.064 0.065 0.067 0.066 0.063 0.052 0.031 0.000 0.061
Abs4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Abs5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Abs6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Rfsol 0.174 0.174 0.174 0.176 0.186 0.214 0.281 0.419 0.638 1.000 0.253
Rbsol 0.174 0.174 0.174 0.176 0.186 0.214 0.281 0.419 0.638 1.000 0.253
Tvis 0.742 0.742 0.740 0.735 0.719 0.681 0.593 0.425 0.187 0.000 0.628
Rfvis 0.199 0.199 0.200 0.203 0.216 0.252 0.336 0.502 0.741 1.000 0.297
Rbvis 0.199 0.199 0.200 0.203 0.216 0.252 0.336 0.502 0.741 1.000 0.297
SHGC 0.678 0.678 0.676 0.669 0.654 0.620 0.544 0.400 0.191 0.000 0.575
SC: 0.79
Layer ID#      23902 23902 23902    0    0    0
  Tir          0.000 0.000 0.000    0    0    0
  Emis F       0.840 0.840 0.840    0    0    0
  Emis B       0.840 0.840 0.840    0    0    0
  Thickness(mm) 4.0  4.0  4.0    0    0    0
  Cond(W/m2-K) 250.0 250.0 250.0    0    0    0
  Spectral File  None   None   None   None   None   None
  Overall and Center of Glass Ig U-values (W/m2-K)
  Outdoor Temperature      -17.8 C   15.6 C   26.7 C   37.8 C
  Solar WdSpd hcout hrout hin
(W/m2) (m/s) (W/m2-K)
0      0.00 19.76 3.24 3.38 2.01 2.01 2.19 2.19 2.26 2.26 2.32 2.32
0      6.71 19.76 3.24 3.38 2.01 2.01 2.19 2.19 2.26 2.26 2.32 2.32
783    0.00 19.66 3.34 3.18 2.01 2.01 2.19 2.19 2.26 2.26 2.32 2.32
783    6.71 19.66 3.34 3.18 2.01 2.01 2.19 2.19 2.26 2.26 2.32 2.32
*** END OF LIBRARY ***
*****
*WinID Description          Design    U-Value g-value T-sol Rf-sol T-vis
*****
2001 Waermeschutzglas,Ar, 1.4 71/59      4/16/4      1.4 0.589 0.426 0.266 0.706
13901 Simple, claro, 2 mm                2          5.87 0.888 0.869 0.08 0.91
13923 Triple, claro, 4/8/4/4            4/8/4/4      2.26 0.678 0.58 0.174 0.742
_EXTENSION_WINPOOL_END_

```

**** WALL TRANSFERFUNCTION CALCULATIONS ****

----- WALL TYPE BENEISOLATO -----

THERMAL CONDUCTANCE, U= 1.54696 kJ/h m2K; k-Wert= 0.40046 W/m2K

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	3.5320756E+01	7.1428765E-09	3.9957000E+01	1.0000000E+00
1	-1.0218698E+02	1.4878542E-04	-1.0447790E+02	-1.9581210E+00
2	1.0843390E+02	4.3119691E-03	9.7602474E+01	1.2416881E+00
3	-5.1067262E+01	1.2662222E-02	-3.9139639E+01	-2.8800393E-01
4	1.0220063E+01	7.2124393E-03	6.4371300E+00	2.1131160E-02
5	-7.0712115E-01	9.0624704E-04	-3.5870198E-01	-3.6314054E-04
6	1.1948766E-02	2.3463528E-05	4.9095774E-03	1.0195181E-06
7	-3.3287502E-05	1.0614075E-07	-1.1280943E-05	
8	1.0890106E-08	7.0421064E-11	3.1976094E-09	
SUM	2.5265240E-02	2.5265240E-02	2.5265240E-02	1.6332211E-02

----- WALL TYPE GROUND_BENEISOL -----

THERMAL CONDUCTANCE, U= 1.54770 kJ/h m2K; k-Wert= 0.40064 W/m2K

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	7.3052860E+00	9.2566239E-09	9.2768867E+01	1.0000000E+00
1	-1.9532015E+01	1.3457441E-04	-2.4807713E+02	-1.9760871E+00
2	1.9453679E+01	3.5872115E-03	2.3448190E+02	1.2917683E+00
3	-8.9435797E+00	1.0162811E-02	-9.3122505E+01	-3.3207810E-01
4	1.8904020E+00	5.7046640E-03	1.4861874E+01	3.0277169E-02
5	-1.5721410E-01	7.1454889E-04	-9.1025868E-01	-7.5193026E-04
6	3.7747959E-03	1.8205203E-05	1.7621676E-02	2.2101411E-06
7	-1.1012791E-05	7.5300414E-08	-4.8402015E-05	
SUM	2.0322098E-02	2.0322100E-02	2.0322091E-02	1.3130518E-02

----- WALL TYPE ROOF_BENEISOLAT -----

THERMAL CONDUCTANCE, U= 1.57549 kJ/h m2K; k-Wert= 0.40733 W/m2K

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	8.3460550E+01	5.9426842E-08	4.6087995E+01	1.0000000E+00
1	-2.1868216E+02	5.4946188E-04	-1.0742248E+02	-1.7483153E+00
2	2.0205193E+02	1.2255478E-02	8.7952147E+01	9.8692220E-01
3	-7.8060413E+01	3.0088291E-02	-3.1159777E+01	-2.1970694E-01
4	1.1856267E+01	1.4737749E-02	4.9189302E+00	1.9226563E-02
5	-5.7618542E-01	1.6131937E-03	-3.2371200E-01	-5.0168402E-04
6	9.3222594E-03	3.5685482E-05	6.1880200E-03	1.4993658E-06
7	-2.5800748E-05	1.2409432E-07	-1.4707328E-05	
SUM	5.9280035E-02	5.9280043E-02	5.9280039E-02	3.7626329E-02

***** REQUIRED INPUTS *****

- *InpNR Label UNIT INPUT DESCRIPTION
- * 1 TAMB C AMBIENT TEMPERATURE
 - * 2 ARELHUM % RELATIVE AMBIENT HUMIDITY
 - * 3 TSKY C FIKTIVE SKY TEMPERATURE
 - * 4 ITNORTH kJ/hr.m^2 INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION NORTH
 - * 5 ITSOUTH kJ/hr.m^2 INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH
 - * 6 ITEAST kJ/hr.m^2 INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION EAST
 - * 7 ITWEST kJ/hr.m^2 INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION WEST
 - * 8 ITHORIZONT kJ/hr.m^2 INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONT
 - * 9 IBNORTH kJ/hr.m^2 INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION NORTH
 - * 10 IBSOUTH kJ/hr.m^2 INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH
 - * 11 IBEAST kJ/hr.m^2 INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION EAST
 - * 12 IBWEST kJ/hr.m^2 INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION WEST
 - * 13 IBHORIZONT kJ/hr.m^2 INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONT
 - * 14 AINORTH degrees ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION NORTH
 - * 15 AISOUTH degrees ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION SOUTH
 - * 16 AIEAST degrees ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION EAST
 - * 17 AIWEST degrees ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION WEST
 - * 18 AIHORIZONT degrees ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION HORIZONT
 - * 19 TS any INPUT
 - * 20 HEAT_POWER any INPUT
 - * 21 COOL_POWER any INPUT

***** DESIRED OUTPUTS *****

- *OutNr Label Unit ZNr Zone Surface OUTPUT DESCRIPTION
- * 1 TAIR 1 C 1 ZONE_A1 air temperature of zone

* 2 RELHUM 1 % 1 ZONE_A1 relativ humidity of zone air
* 3 TSO 9 C 1 ZONE_A1 9 outside surface temperature ->WALL=GROUND_BENEISOL:KNOWN BOUNDARY
* 4 ABSHUM 1 kg/kg 1 ZONE_A1 absolute air humidity
* 5 QSENS 1 kJ/hr 1 ZONE_A1 sens. energy demand of zone, heating(-), cooling(+)
* 6 QINF 1 kJ/hr 1 ZONE_A1 sens. infiltration energy gain of zone
* 7 QLATD 1 kJ/hr 1 ZONE_A1 lat. energy demand of zone, humidif.(-), dehumidif.(+)
* 8 QHEAT 1 kJ/hr 1 ZONE_A1 heating demand
* 9 QCOOL 1 kJ/hr 1 ZONE_A1 cooling demand
* 10 QUA 1 kJ/hr 1 ZONE_A1 UA-transmission losses
* 11 QRHEAT 1 kJ/hr 1 ZONE_A1 radiative part of sens. heating demand of zone

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***

WALL_BENEISOLATO k-Wert= 0.400 W/m2K
WALL_GROUND_BENEISOL k-Wert= 0.401 W/m2K
WALL_ROOF_BENEISOLAT k-Wert= 0.407 W/m2K