AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

ISSN/0393-3016

INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA "ALL WEATHER"

Sul calcolo della superficie orizzontale equivalente di un involucro edilizio ai fini degli effetti termici della radiazione solare

LUCIANO TERRINONI

ENEA – Unità Tecnica Efficienza Energetica
Centro Ricerche Casaccia, Roma

RT/2013/4/ENEA

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA "ALL WEATHER"

Sul calcolo della superficie orizzontale equivalente di un involucro edilizio ai fini degli effetti termici della radiazione solare

LUCIANO TERRINONI

ENEA – Unità Tecnica Efficienza Energetica
Centro Ricerche Casaccia, Roma

RT/2013/4/ENEA

I Rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina
http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/rapporti-tecnici

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia.

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA “ALL WEATHER”

Sul calcolo della superficie orizzontale equivalente di un involucro edilizio ai fini degli effetti termici della radiazione solare

LUCIANO TERRINONI

Sommario
In report precedenti era stato definito l’Indice di Severità Climatica “All Weather” e ne era stata provata l’efficacia nel suddividere il territorio nazionale in zone climatiche estive e invernali ai fini del fabbisogno energetico per la climatizzazione degli edifici. Le grandezze climatiche d’interesse per la climatizzazione, radiazione solare, temperatura e umidità dell’aria esterna, erano state interpretate, nel modello proposto, come le tre componenti di un *vettore climatico*, mentre gli edifici erano univocamente definiti, dal punto di vista energetico, da un *vettore edificio* le cui tre componenti erano legate, rispettivamente, alla trasmittanza delle superfici dell’involucro, al numero di ricambi d’aria orari dell’aria esterna e alla superficie dell’involucro soggetta a radiazione solare e alle sue caratteristiche radianti. Quest’ultima componente definiva una *superficie orizzontale equivalente* dell’involucro dell’edificio ai fini della radiazione solare vista, in inverno, come apporto gratuito di energia e, in estate, come ulteriore carico termico del volume da climatizzare. Nel presente report si circostanziano le assunzioni fatte, nel modello proposto, per quest’ultimo parametro e se ne fornisce la giustificazione teorica.

Parole chiave: edilizia, efficienza energetica, certificazione energetica, indice di severità climatica.

INDEX OF CLIMATIC SEVERITY "ALL WEATHER"

On the calculation of the horizontal equivalent surface of a building envelope in order to the thermal effects of the solar radiation

LUCIANO TERRINONI

Summary
In previous reports an Index of Climatic Severity "All Weather” had been defined and, also, had been proved its effectiveness in subdividing the national territory in summer and winter climatic zones to the ends of the energetic requirements for the air conditioning of the buildings. The climatic variables of interest for the air conditioning, solar radiation, temperature and humidity of the external air, had been interpreted, in the proposed model, like the three components of a climatic vector, while the buildings were unambiguously defined, from the energetic point of view, from a building vector whose three components were tied, respective, to the thermal transmittance of the buildings envelope, to the number of hourly external air change and to the building surface subject to solar radiation and to its radiating characteristics. This last component defined a horizontal equivalent surface of the building envelope in order to the solar heat gain, in winter, and to the additional cooling load in summer. In the present report it is given a detailed account of the made assumptions, in the proposed model, for this last parameter and it is supplied the theoretical justification.

Keywords: *buildings, energy performance, energy certification, index of climatic severity*

INDICE

INTRODUZIONE 7

INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA "ALL WEATHER ". 7

IL MODELLO PROPOSTO 7

ENERGIA SOLARE SU UNA SUPERFICIE 10

VALUTAZIONE DEL FATTORE D'INCLINAZIONE MEDIO DELLA RADIAZIONE GLOBALE $\overline{\overline{\Gamma}}_{\beta}$ NEL PERIODO DI CLIMATIZZAZIONE *T*. 12

ELABORAZIONE DEI DATI E RISULTATI 13

ANALISI ESPLORATIVA 14

ELABORAZIONI E RISULTATI PER IL SET A 14

ELABORAZIONI E RISULTATI PER IL SUBSET A DEL SET B 18

RISULTATI PER L'INTERO SET B 21

ANALISI STATISTICA 22

F-TEST (Fisher-Snedecor): 22

t-TEST (Student): 22

CONCLUSIONI 26

ADDENDUM 29

RADIAZIONE SOLARE SU SUPERFICIE INCLINATA 29

VALUTAZIONE DEL FATTORE D'INCLINAZIONE DELLA RADIAZIONE GLOBALE AL TEMPO *t* 29

VALUTAZIONE DEL FATTORE D'INCLINAZIONE GIORNALIERO MEDIO MENSILE DELLA RADIAZIONE GLOBALE. 34

VALUTAZIONE DEL FATTORE D'INCLINAZIONE MEDIO DELLA RADIAZIONE GLOBALE IN UN PERIODO DI CLIMATIZZAZIONE T. 40

LINEARIZZAZIONE RISPETTO ALLA LATITUDINE 41

RISULTATI DELLA LINEARIZZAZIONE PER IL SUBSET A DEL SET B 46

EFFETTI SUL CALCOLO DI $\mathscr{C}$ 48

BIBLIOGRAFIA 49

"Manca di mentalità matematica tanto chi non sa riconoscere rapidamente ciò che è evidente, quanto chi si attarda nei calcoli con una precisione superiore alla necessità". Carl Friedrich Gauss – 1777-1855 –

INTRODUZIONE

Nei report precedenti [1,2,3,4,5] era stato introdotto un parametro, l'Indice di Severità Climatica, utile per la classificazione del territorio nazionale in classi climatiche basate sul fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva e invernale e se ne era illustrato l'impiego pratico sia alla scala territoriale provinciale sia a quella comunale.

Riprendiamo per sommi capi l'argomento al fine di circostanziare al meglio alcune assunzioni fatte nel modello proposto a proposito di un parametro dell'edificio denominato ***superficie orizzontale equivalente*** **ai fini della radiazione solare**.

INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA "ALL WEATHER ".

IL MODELLO PROPOSTO

Il fabbisogno energetico ***E*** per la climatizzazione invernale o estiva di un edificio di volume interno ***V*** in un tempo ***T***, per assegnati valori di comfort (temperatura, umidità relativa e numero di ricambi di aria), al netto degli apporti interni di qualsiasi natura dipendenti dalle caratteristiche di utilizzo dell'edificio stesso, è una funzione non lineare delle caratteristiche climatiche del sito (temperatura, umidità specifica e irradiazione solare) e delle caratteristiche fisiche e geometriche dell'involucro, orientamento rispetto ai punti cardinali compreso. La funzione ***E***, a parità di sito, rappresenta quindi la prestazione energetica dell'involucro dell'edificio.

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

È possibile linearizzare questa funzione intorno ad un opportuno valore di riferimento appartenente al campo di variazione delle variabili indipendenti, ed esprimerla quindi, in forma compatta, come:

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

Le variabili Θ, X e Υ rappresentano, rispettivamente, le temperature, le umidità specifiche e l'irradiazione globale sul piano orizzontale medie nel periodo T (caratteristiche climatiche del sito), mentre Θ_{ref}, X_{ref} e Υ_{ref} sono valori di riferimento per le stesse variabili.

$$\Theta = \frac{1}{T}\int_T \theta_e dt$$

$$\mathrm{X} = \frac{1}{T}\int_T x_e dt$$

$$\Upsilon = \frac{1}{T}\int_T I_0 dt$$

I coefficienti $\mathcal{A}$, $\mathcal{B}$ e $\mathcal{C}$ sono legati, invece, alle caratteristiche dell'edificio.

S'introducono ora due vettori caratteristici, denominati "*vettore edificio"* e "*vettore climatico"* le cui definizioni, nella forma generalizzata, sono le seguenti:

Vettore edificio $\vec{V}_B$: è il vettore che ha per componenti le caratteristiche geometriche e termofisiche dell'edificio, con modulo pari a:

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

- la componente $\mathcal{A}$ contiene essenzialmente informazioni relative alla trasmittanza, alla superficie disperdente e al numero dei ricambi d'aria del volume interno ai fini del salto termico esterno-interno.
- la componente $\mathcal{B}$ dipende dal numero dei ricambi d'aria del volume interno ai fini della differenza di umidità relativa esterna-interna.
- la componente $\mathcal{C}$ contiene informazioni sulla superficie dell'involucro soggetta a radiazione solare e sulle sue caratteristiche radianti.

Vettore climatico $\vec{V}_C$: è il vettore che ha per componenti le caratteristiche climatiche del sito, con modulo pari a:

$$\left|\vec{V}_C\right| = \sqrt{\Theta^2 + \mathrm{X}^2 + \Upsilon^2}$$

L'angolo tra i due vettori è ω, dipendente essenzialmente dai coseni direttori del vettore edificio poiché l'orientamento nello spazio (Θ, X e Υ) del vettore climatico è contenuto in un angolo solido di ampiezza limitata.

È possibile ora scrivere l'espressione linearizzata di ***E*** nel modo seguente:

$$C = \frac{E}{\left|\vec{V}_B\right| VT\cos\omega} = \left|\vec{V}_C\right| - k(\mu)\left|\vec{V}_{C,ref}\right|$$

Il fattore *C* così definito rappresenta l'energia di climatizzazione normalizzata con le caratteristiche globali dell'edificio, indipendente quindi da queste, ma dipendente dalle caratteristiche climatiche globali e si presenta come il candidato proposto per rappresentare l'*INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA PRATICO,* utile per la classificazione delle zone climatiche invernali o estive di un territorio.

Il fattore *C*, nel modello proposto, dipende linearmente dal modulo del vettore climatico $\left|\vec{V}_C\right|$, funzione delle sole variabili climatiche, a meno di un termine praticamente costante dipendente debolmente dall'edificio tramite il fattore $k(\mu)$. Il modulo del vettore climatico, $\left|\vec{V}_C\right|$, può essere quindi utilizzato per una suddivisione del territorio nazionale in fasce climatiche invernali o estive (zonizzazione) che rispecchino il fabbisogno energetico per la climatizzazione poiché, secondo quanto esposto, è univocamente legato all'***Indice di Severità climatica C*** che ne costituisce ***l'immagine energetica***.

L'accuratezza del modello è stata verificata, per il caso estivo, sottoponendo a simulazione dinamica (TRNsys 16) due tipologie di edificio: una villetta isolata e un edificio per uffici. I calcoli sono stati eseguiti con quattro modelli di villetta (2 orientamenti e 2 diversi gradi di isolamento termico e massa globale) e quattro modelli di edificio per uffici (2 orientamenti e 2 diversi gradi di isolamento termico e massa globale) situati in 20 località italiane e rappresentanti un campione statisticamente significativo (cluster analisys) delle 101 località per le quali sono attualmente disponibili i dati climatici in accordo alla norma UNI 10349/1994

La componente $\mathscr{C}$ del vettore edificio contiene informazioni sulla superficie dell'involucro soggetta a radiazione solare e sulle sue caratteristiche radianti.

Nella definizione di tale componente, estremamente importante in quanto rappresenta il peso che ha, dal punto di vista energetico, la radiazione solare (vista, in inverno, come apporto gratuito di energia e, in estate, come carico termico indotto sull'involucro) si erano fatte alcune assunzioni semplificative per le quali sono opportune alcune giustificazioni teoriche.

Riprendiamo quindi le considerazioni che avevano portato alla definizione di questa componente.

ENERGIA SOLARE SU UNA SUPERFICIE

Avevamo visto che era possibile scrivere, per una superficie composta sia di parti opache che trasparenti appartenenti alla stessa giacitura β, la potenza radiante efficace, ai fini della climatizzazione, incidente sulla superficie stessa come:

$$P_{R,\beta} = s_{R,\beta} I_\beta$$

dove

$$s_{R,\beta} = (\alpha f^o s^o + g f^t s^t)_\beta$$

è la superficie totale equivalente e dove gli altri termini avevano il significato seguente:

I_β potenza della radiazione globale solare incidente sulla superficie [kW/m^2]
s^o area della superficie opaca
α coefficiente di assorbimento efficace della superficie opaca
f^o fattore di schermatura della superficie opaca
s^t area della superficie trasparente
g fattore di guadagno solare della superficie trasparente
f^t fattore di schermatura della superficie trasparente
β coseni direttori della normale alla superficie

In alternativa, se I_o è la potenza radiante su una superficie orizzontale, avevamo definito, per la giacitura β, una superficie orizzontale equivalente $\hat{s}_{R,\beta}$ tale che:

$$P_{R,\beta} = (\alpha f^o s^o + g f^t s^t)_\beta I_\beta = \hat{s}_{R,\beta} I_o$$

$$\text{con} \quad \hat{s}_{R,\beta} = (\alpha f^o s^o + g f^t s^t)_\beta \frac{I_\beta}{I_o} = s_{R,\beta} \Gamma_\beta$$

dove Γ_β era il fattore di inclinazione della radiazione globale per la giacitura β:

$$\Gamma_\beta = \frac{I_\beta}{I_o}$$

Integrando la potenza sull'intervallo temporale ***T*** si otteneva:

$$E_{R,\beta,T} = \int_T P_{R,\beta} dt = s_{R,\beta} \int_T I_\beta dt = s_{R,\beta} \int_T \Gamma_\beta I_0 dt$$

che esprimeva l'energia efficace radiante sulla superficie.

In accordo al teorema della media generalizzato, sotto l'ipotesi sempre verificata che I_0 non cambia segno in T si poteva altresì scrivere:

$$\int_T \Gamma_\beta I_0 dt = \overline{\overline{\Gamma}}_\beta \int_T I_0 dt$$

dove $\overline{\overline{\Gamma}}_\beta$ è un opportuno valore, compreso tra l'estremo superiore e inferiore di Γ_β in un punto interno all'intervallo T.

Di conseguenza:

$$E_{R,\beta,T} = \int_T P_{R,\beta} dt = s_{R,\beta} \int_T I_\beta dt \ = s_{R,\beta} \int_T \Gamma_\beta I_0 dt = s_{R,\beta} \overline{\overline{\Gamma}}_\beta \int_T I_0 dt = \hat{s}_{R,\beta} \int_T I_0 dt$$

Per l'insieme delle giaciture β relative a tutte le superfici considerate, si aveva allora:

$$E_{R,T} = \sum_\beta \left[s_{R,\beta} \int_T I_\beta dt \right] = \sum_\beta \left[s_{R,\beta} \int_T \Gamma_\beta I_0 dt \right] = \sum_\beta \left[s_{R,\beta} \overline{\overline{\Gamma}}_\beta \int_T I_0 dt \right] = \int_T I_0 dt \sum_\beta s_{R,\beta} \overline{\overline{\Gamma}}_\beta = \int_T I_0 dt \sum_\beta \hat{s}_{R,\beta}$$

Ponendo infine:

$$\sum_\beta s_{R,\beta} \overline{\overline{\Gamma}}_\beta = S_R \hat{\Gamma}$$

$$\hat{\Gamma} = \frac{\sum_\beta s_{R,\beta} \overline{\overline{\Gamma}}_\beta}{S_R}$$

$$\text{con} \quad S_R = \sum_\beta s_{R,\beta}$$

Oppure:

$$\hat{S}_R = S_R \hat{\Gamma}$$

In definitiva:

$$E_{R,T} = S_R \hat{\Gamma} \int_T I_0 dt = \hat{S}_R \int_T I_0 dt$$

$\hat{S}_R$ rappresentava la superficie orizzontale equivalente di tutte le superfici, di varie giaciture β, considerate. La componente $\mathcal{C}$ del vettore edificio era stata quindi definita come:

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

dove V era il volume interno dell'involucro. Tale definizione riposava sul fatto di ritenere possibile assegnare un valore, agli effetti pratici, costante a $\overline{\overline{\Gamma}}_\beta$, fattore d'inclinazione medio in T della radiazione solare. Nel seguito illustreremo la bontà di quest'assunzione.

VALUTAZIONE DEL FATTORE D'INCLINAZIONE MEDIO DELLA RADIAZIONE GLOBALE $\overline{\overline{\Gamma}}_\beta$ NEL PERIODO DI CLIMATIZZAZIONE *T*

La definizione di questo fattore è:

$$\int_T \Gamma_\beta I_0 dt = \int_T I_\beta dt = \overline{\overline{\Gamma}}_\beta \int_T I_0 dt$$

$$\overline{\overline{\Gamma}}_\beta = \frac{\int_T I_\beta dt}{\int_T I_0 dt}$$

I dati climatici di radiazione generalmente disponibili per le varie località riportano i valori *giornalieri medi mensili*, per tutti i mesi dell'anno, della radiazione solare globale, *H*, in termini di energia per unità di superficie sulla giacitura orizzontale e sulle otto giaciture verticali con azimut di passo 45° (Nord, Nord Est, Est, Sud Est, Sud, Sud Ovest, Ovest, Nord Ovest).

Per ragioni di simmetria, rispetto al mezzogiorno solare (passaggio dal meridiano locale), del percorso del sole e del modello adottato per i calcoli (cielo isotropo per la radiazione diffusa e suolo isotropo per la riflessa), le giaciture simmetriche rispetto all'asse Nord-Sud (Nord Est-Nord Ovest, Est-Ovest e Sud Est- Sud Ovest) hanno valori giornalieri medi mensili coincidenti.

Il passaggio dall'energia giornaliera media mensile H [kWh/m^2] alla potenza I [kW/m^2] giornaliera media mensile è dato, semplicemente da:

$$I = \frac{H}{24}$$

giacché I è la potenza che, applicata per 24 ore, *genera* l'energia *H*.

Detto questo, con i dati discretizzati per mese disponibili, l'espressione di $\overline{\overline{\Gamma}}_\beta$ si traduce in:

$$\overline{\overline{\Gamma}}_\beta = \frac{\sum_i n_i H_{\beta,i}}{\sum_i n_i H_{0,i}}$$

$$T = \sum_i n_i$$

Dove n_i sono i giorni del mese i-esimo che fanno parte del periodo di climatizzazione *T*.

ELABORAZIONE DEI DATI E RISULTATI

Considereremo nel seguito due *set* di dati della radiazione solare sia sul **piano orizzontale** sia su **superfici verticali** di vario azimut, associati a due gruppi di località rappresentative:

Set **A**:

20 località campione che sono state oggetto delle valutazioni sull'Indice di Severità Climatica. Dati:Norme UNI 10349/94-*Riscaldamento e raffrescamento degli edifici-Dati climatici, 1994* e UNI 8477-1, 1983 per il rapporto tra radiazione diffusa e globale.

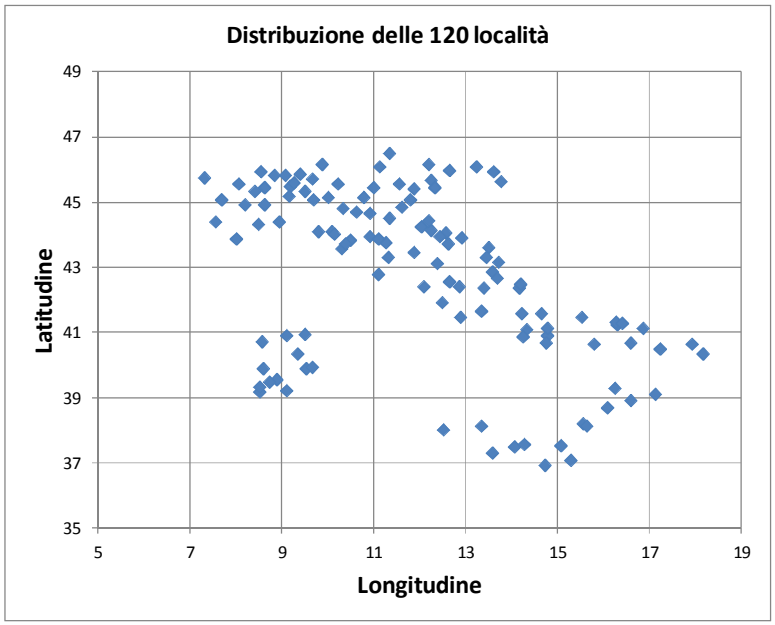
Le località erano state estratte dalle 101 previste dalla norma UNI10349/94 tramite una *cluster analysis* delle due variabili temperatura giornaliera media mensile e irradiazione giornaliera media mensile cumulate in *T*.

Set **B**:

Campione di 100 località oltre le 20 località del set A per un totale di 120 località.

Dati:*Atlante italiano della radiazione solare*- ENEA 2006-2011, UNI 8477-1, 1983.

Il campione esplora quasi completamente il territorio nazionale:



Il periodo di climatizzazione *T* è stato così prefissato:

- climatizzazione estiva: dal 15 aprile al 15 ottobre $T = 183g = 4392h$
- climatizzazione invernale: dal 5 ottobre al 22 aprile $T = 199g = 4776h$

I periodi sono leggermente sovrapposti poiché si sono considerati i periodi massimi di climatizzazione della località più *calda* e di quella più *fredda* del clima italiano.

I periodi sono in sostanza sovrapponibili ai due intervalli tra gli equinozi di primavera e d'autunno (primavera-estate e autunno-inverno), periodi durante i quali la declinazione solare δ, che influenza i fattori d'inclinazione, non cambia di segno.

Riportiamo nel seguito l'analisi dei risultati del confronto tra i due set, dapprima in forma esplorativa e, successivamente in una forma statistica più "rigorosa".

ANALISI ESPLORATIVA

ELABORAZIONI E RISULTATI PER IL SET A

Fattori d'inclinazione medi in *T* della radiazione globale sulle varie **giaciture verticali** nel periodo **invernale**[1]:

	Γ_β							
INVERNO	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
Agrigento	0.722	0.267	0.389	0.389	0.722	1.126	0.996	0.996
Foggia	0.739	0.295	0.411	0.411	0.739	1.182	1.036	1.036
Napoli	0.733	0.301	0.412	0.412	0.733	1.162	1.020	1.020
Bari	0.740	0.290	0.405	0.405	0.740	1.174	1.033	1.033
Sassari	0.735	0.299	0.414	0.414	0.735	1.156	1.017	1.017
Enna	0.719	0.274	0.392	0.392	0.719	1.118	0.989	0.989
Alessandria	0.750	0.339	0.440	0.440	0.750	1.202	1.048	1.048
Vicenza	0.764	0.329	0.431	0.431	0.764	1.270	1.096	1.096
Lecco	0.757	0.336	0.436	0.436	0.757	1.234	1.072	1.072
Aosta	0.768	0.318	0.422	0.422	0.768	1.314	1.129	1.129
Cuneo	0.753	0.334	0.431	0.431	0.753	1.253	1.078	1.078
L'Aquila	0.738	0.334	0.428	0.428	0.738	1.186	1.032	1.032
Belluno	0.757	0.330	0.435	0.435	0.757	1.239	1.074	1.074
Ancona	0.738	0.330	0.439	0.439	0.738	1.124	0.999	0.999
Modena	0.746	0.333	0.437	0.437	0.746	1.165	1.027	1.027
Milano	0.741	0.345	0.452	0.452	0.741	1.122	0.999	0.999
Lucca	0.746	0.323	0.429	0.429	0.746	1.192	1.041	1.041
Salerno	0.720	0.333	0.430	0.430	0.720	1.112	0.980	0.980
Campobasso	0.735	0.306	0.415	0.415	0.735	1.167	1.024	1.024
Perugia	0.740	0.324	0.426	0.426	0.740	1.178	1.034	1.034
media	0.742	0.317	0.424	0.424	0.742	1.184	1.036	1.036
s_{n-1}	0.013	0.022	0.016	0.016	0.013	0.055	0.038	0.038
$\Delta\%_{2s}$	3.62	14.11	7.57	7.57	3.62	9.27	7.34	7.34
max (media +2s)	0.769	0.362	0.456	0.456	0.769	1.293	1.112	1.112
min (media -2s)	0.715	0.272	0.392	0.392	0.715	1.074	0.960	0.960
Max	0.768	0.345	0.452	0.452	0.768	1.314	1.129	1.129
min	0.719	0.267	0.389	0.389	0.719	1.112	0.980	0.980

[1] s_{n-1} è lo scarto quadratico medio del campione, mentre $\Delta\%_{2s}$ è il valore percentuale del doppio dello scarto rispetto alla media entro il quale è probabile trovare il 95% dei casi (il campione supera il test di normalità di Kolmogorov-Smirnov).

	Differenze % su valore medio							
INVERNO	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
Agrigento	-2.7	-15.7	-8.2	-8.2	-2.7	-4.9	-3.9	-3.9
Foggia	-0.4	-6.9	-3.1	-3.1	-0.4	-0.2	0.0	0.0
Napoli	-1.2	-5.1	-2.7	-2.7	-1.2	-1.8	-1.5	-1.5
Bari	-0.3	-8.6	-4.3	-4.3	-0.3	-0.8	-0.4	-0.4
Sassari	-1.0	-5.6	-2.3	-2.3	-1.0	-2.3	-1.8	-1.8
Enna	-3.1	-13.5	-7.4	-7.4	-3.1	-5.5	-4.5	-4.5
Alessandria	1.1	6.9	3.8	3.8	1.1	1.5	1.1	1.1
Vicenza	2.9	3.9	1.7	1.7	2.9	7.3	5.8	5.8
Lecco	2.0	6.0	2.8	2.8	2.0	4.2	3.4	3.4
Aosta	3.4	0.3	-0.4	-0.4	3.4	11.0	9.0	9.0
Cuneo	1.4	5.4	1.7	1.7	1.4	5.8	4.0	4.0
L'Aquila	-0.6	5.3	1.0	1.0	-0.6	0.2	-0.4	-0.4
Belluno	2.0	4.1	2.7	2.7	2.0	4.6	3.7	3.7
Ancona	-0.6	4.0	3.6	3.6	-0.6	-5.1	-3.6	-3.6
Modena	0.5	4.9	3.1	3.1	0.5	-1.6	-0.9	-0.9
Milano	-0.2	9.0	6.6	6.6	-0.2	-5.2	-3.6	-3.6
Lucca	0.6	2.0	1.3	1.3	0.6	0.7	0.5	0.5
Salerno	-3.0	5.1	1.6	1.6	-3.0	-6.0	-5.4	-5.4
Campobasso	-0.9	-3.6	-2.0	-2.0	-0.9	-1.4	-1.1	-1.1
Perugia	-0.3	2.2	0.5	0.5	-0.3	-0.5	-0.2	-0.2
media	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Max	3.4	9.0	6.6	6.6	3.4	11.0	9.0	9.0
min	-3.1	-15.7	-8.2	-8.2	-3.1	-6.0	-5.4	-5.4

Considerare il valor medio del fattore d'inclinazione per ciascuna giacitura comporta quindi, al massimo un errore contenuto entro il ± 10% ad esclusione delle tre località evidenziate: Agrigento ed Enna per la giacitura Nord e Aosta per quella Sud. Tali località presentano, infatti, dati di radiazione, secondo la norma UNI 10349/94, singolari rispetto a località vicine.

Fattori d'inclinazione medi in *T* della radiazione globale sulle varie **giaciture verticali** nel periodo **estivo**[2]:

	Γ_β							
ESTATE	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
Agrigento	0.651	0.295	0.485	0.485	0.651	0.463	0.604	0.604
Foggia	0.665	0.327	0.497	0.497	0.665	0.529	0.641	0.641
Napoli	0.661	0.324	0.498	0.498	0.661	0.520	0.634	0.634
Bari	0.667	0.310	0.493	0.493	0.667	0.517	0.639	0.639
Sassari	0.662	0.319	0.496	0.496	0.662	0.516	0.633	0.633
Enna	0.648	0.306	0.488	0.488	0.648	0.468	0.603	0.603
Alessandria	0.668	0.376	0.520	0.520	0.668	0.570	0.657	0.657
Vicenza	0.675	0.367	0.516	0.516	0.675	0.586	0.671	0.671
Lecco	0.674	0.376	0.521	0.521	0.674	0.587	0.669	0.669
Aosta	0.670	0.381	0.522	0.522	0.670	0.586	0.667	0.667
Cuneo	0.661	0.393	0.525	0.525	0.661	0.575	0.652	0.652
L'Aquila	0.661	0.360	0.509	0.509	0.661	0.551	0.643	0.643
Belluno	0.675	0.377	0.520	0.520	0.675	0.593	0.673	0.673
Ancona	0.672	0.340	0.507	0.507	0.672	0.550	0.655	0.655
Modena	0.674	0.352	0.511	0.511	0.674	0.564	0.660	0.660
Milano	0.674	0.367	0.517	0.517	0.674	0.571	0.663	0.663
Lucca	0.671	0.354	0.509	0.509	0.671	0.564	0.658	0.658
Salerno	0.654	0.356	0.508	0.508	0.654	0.526	0.629	0.629
Campobasso	0.663	0.330	0.499	0.499	0.663	0.529	0.640	0.640
Perugia	0.668	0.345	0.505	0.505	0.668	0.552	0.652	0.652
media	0.666	0.348	0.507	0.507	0.666	0.546	0.647	0.647
s_{n-1}	0.008	0.028	0.012	0.012	0.008	0.037	0.020	0.020
$\Delta\%_{2s}$	2.40	16.02	4.70	4.70	2.40	13.60	6.13	6.13
max (media +2s)	0.682	0.403	0.531	0.531	0.682	0.620	0.687	0.687
min (media -2s)	0.650	0.292	0.483	0.483	0.650	0.472	0.608	0.608
Max	0.675	0.393	0.525	0.525	0.675	0.593	0.673	0.673
min	0.648	0.295	0.485	0.485	0.648	0.463	0.603	0.603

[2] s_{n-1} è lo scarto quadratico medio del campione, mentre $\Delta\%_{2s}$ è il valore percentuale del doppio dello scarto rispetto alla media entro il quale è probabile trovare il 95% dei casi (il campione supera il test di normalità di Kolmogorov-Smirnov).

	Differenze % su valore medio							
ESTATE	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
Agrigento	-2.2	-15.3	-4.4	-4.4	-2.2	-15.2	-6.7	-6.7
Foggia	-0.1	-6.0	-1.9	-1.9	-0.1	-3.1	-0.9	-0.9
Napoli	-0.7	-6.9	-1.9	-1.9	-0.7	-4.8	-2.0	-2.0
Bari	0.1	-11.0	-2.9	-2.9	0.1	-5.2	-1.3	-1.3
Sassari	-0.5	-8.1	-2.3	-2.3	-0.5	-5.5	-2.1	-2.1
Enna	-2.6	-11.9	-3.8	-3.8	-2.6	-14.2	-6.8	-6.8
Alessandria	0.4	8.0	2.4	2.4	0.4	4.5	1.5	1.5
Vicenza	1.3	5.6	1.8	1.8	1.3	7.4	3.7	3.7
Lecco	1.2	8.2	2.6	2.6	1.2	7.6	3.4	3.4
Aosta	0.7	9.6	2.9	2.9	0.7	7.4	3.1	3.1
Cuneo	-0.7	13.0	3.4	3.4	-0.7	5.3	0.7	0.7
L'Aquila	-0.7	3.5	0.3	0.3	-0.7	1.0	-0.6	-0.6
Belluno	1.4	8.3	2.5	2.5	1.4	8.6	4.0	4.0
Ancona	1.0	-2.1	-0.1	-0.1	1.0	0.8	1.2	1.2
Modena	1.2	1.4	0.8	0.8	1.2	3.2	1.9	1.9
Milano	1.3	5.5	1.9	1.9	1.3	4.7	2.4	2.4
Lucca	0.7	1.7	0.4	0.4	0.7	3.2	1.7	1.7
Salerno	-1.8	2.4	0.2	0.2	-1.8	-3.6	-2.8	-2.8
Campobasso	-0.4	-5.0	-1.6	-1.6	-0.4	-3.1	-1.1	-1.1
Perugia	0.4	-0.8	-0.4	-0.4	0.4	1.1	0.7	0.7
media	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Max	1.4	13.0	3.4	3.4	1.4	8.6	4.0	4.0
min	-2.6	-15.3	-4.4	-4.4	-2.6	-15.2	-6.8	-6.8

Anche per il periodo estivo considerare il valor medio del fattore d'inclinazione per ciascuna giacitura comporta quindi, al massimo un errore contenuto entro il ± 10% ad esclusione delle località evidenziate.

ELABORAZIONI E RISULTATI PER IL SUBSET A DEL SET B

Riportiamo i risultati delle elaborazioni per il set B limitatamente al sottoinsieme di questo che coincide con il set A.

Fattori d'inclinazione medi in *T* della radiazione globale sulle varie giaciture verticali nel periodo **invernale** (subset **A** di **B**):

	Γ_β							
INVERNO	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
Agrigento	0.711	0.292	0.407	0.407	0.711	1.069	0.956	0.956
Foggia	0.745	0.327	0.439	0.439	0.745	1.149	1.020	1.020
Napoli	0.739	0.324	0.434	0.434	0.739	1.143	1.013	1.013
Bari	0.766	0.318	0.426	0.426	0.766	1.274	1.102	1.102
Sassari	0.728	0.314	0.423	0.423	0.728	1.126	0.996	0.996
Enna	0.765	0.325	0.432	0.432	0.765	1.260	1.093	1.093
Alessandria	0.725	0.329	0.431	0.431	0.725	1.114	0.987	0.987
Vicenza	0.752	0.323	0.427	0.427	0.752	1.228	1.067	1.067
Lecco	0.706	0.310	0.418	0.418	0.706	1.046	0.939	0.939
Aosta	0.731	0.316	0.422	0.422	0.731	1.143	1.008	1.008
Cuneo	0.736	0.321	0.426	0.426	0.736	1.163	1.021	1.021
L'Aquila	0.761	0.326	0.433	0.433	0.761	1.242	1.080	1.080
Belluno	0.745	0.321	0.430	0.430	0.745	1.177	1.035	1.035
Ancona	0.753	0.323	0.436	0.436	0.753	1.187	1.046	1.046
Modena	0.747	0.325	0.434	0.434	0.747	1.174	1.035	1.035
Milano	0.730	0.307	0.417	0.417	0.730	1.138	1.005	1.005
Lucca	0.740	0.321	0.428	0.428	0.740	1.169	1.027	1.027
Salerno	0.724	0.317	0.423	0.423	0.724	1.118	0.990	0.990
Campobasso	0.725	0.311	0.422	0.422	0.725	1.111	0.987	0.987
Perugia	0.758	0.322	0.433	0.433	0.758	1.217	1.066	1.066
media	0.739	0.319	0.427	0.427	0.739	1.162	1.024	1.024
s_{n-1}	0.017	0.009	0.008	0.008	0.017	0.060	0.043	0.043
$\Delta\%_{2s}$	4.63	5.41	3.58	3.58	4.63	10.35	8.49	8.49
max (media +2s)	0.774	0.336	0.442	0.442	0.774	1.283	1.111	1.111
min (media -2s)	0.705	0.301	0.412	0.412	0.705	1.042	0.937	0.937
Max	0.766	0.329	0.439	0.439	0.766	1.274	1.102	1.102
min	0.706	0.292	0.407	0.407	0.706	1.046	0.939	0.939

Fattori d'inclinazione medi in *T* della radiazione globale sulle varie giaciture verticali nel periodo **estivo** (subset **A** di **B**):

	Γ_β							
ESTATE	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
Agrigento	0.645	0.319	0.496	0.496	0.645	0.458	0.711	0.711
Foggia	0.675	0.350	0.511	0.511	0.675	0.560	0.745	0.745
Napoli	0.669	0.344	0.508	0.508	0.669	0.540	0.739	0.739
Bari	0.677	0.364	0.516	0.516	0.677	0.581	0.766	0.766
Sassari	0.659	0.334	0.502	0.502	0.659	0.509	0.728	0.728
Enna	0.677	0.369	0.518	0.518	0.677	0.585	0.765	0.765
Alessandria	0.658	0.348	0.508	0.508	0.658	0.518	0.725	0.725
Vicenza	0.669	0.364	0.515	0.515	0.669	0.563	0.752	0.752
Lecco	0.644	0.332	0.501	0.501	0.644	0.464	0.706	0.706
Aosta	0.660	0.340	0.505	0.505	0.660	0.515	0.731	0.731
Cuneo	0.663	0.346	0.507	0.507	0.663	0.531	0.736	0.736
L'Aquila	0.676	0.365	0.517	0.517	0.676	0.576	0.761	0.761
Belluno	0.671	0.345	0.508	0.508	0.671	0.550	0.745	0.745
Ancona	0.677	0.354	0.513	0.513	0.677	0.567	0.753	0.753
Modena	0.674	0.349	0.510	0.510	0.674	0.557	0.747	0.747
Milano	0.660	0.329	0.500	0.500	0.660	0.508	0.730	0.730
Lucca	0.667	0.345	0.507	0.507	0.667	0.540	0.740	0.740
Salerno	0.657	0.334	0.502	0.502	0.657	0.507	0.724	0.724
Campobasso	0.658	0.330	0.501	0.501	0.658	0.501	0.725	0.725
Perugia	0.678	0.353	0.513	0.513	0.678	0.568	0.758	0.758
media	0.666	0.346	0.508	0.508	0.666	0.535	0.739	0.739
s_{n-1}	0.010	0.014	0.006	0.006	0.010	0.037	0.017	0.017
$\Delta\%_{2s}$	3.14	7.85	2.54	2.54	3.14	13.74	4.63	4.63
max (media +2s)	0.687	0.373	0.521	0.521	0.687	0.608	0.774	0.774
min (media -2s)	0.645	0.319	0.495	0.495	0.645	0.461	0.705	0.705
Max	0.678	0.369	0.518	0.518	0.678	0.585	0.766	0.766
min	0.644	0.319	0.496	0.496	0.644	0.458	0.706	0.706

La dispersione dei risultati intorno alla media è inferiore rispetto a quella relativa al set **A** ed il valor medio per giacitura si può considerare rappresentativo entro limiti ancora più ristretti rispetto al ± 10%, salvo i casi evidenziati.

Le differenze tra le varie giaciture tra il set **A** (UNI 10349/94) e il subset **A** del set **B** (ENEA) sono:

SUD						
	ENEA		UNI 10349/94			
	Γ_β		Γ_β		Delta % su ENEA	
	estate	inverno	estate	inverno	estate	inverno
Agrigento	0.458	1.069	0.463	1.126	1.1	5.4
Alessandria	0.560	1.149	0.570	1.202	1.9	4.6
Ancona	0.540	1.143	0.550	1.124	1.9	-1.7
Aosta	0.581	1.274	0.586	1.314	0.9	3.1
Bari	0.509	1.126	0.517	1.174	1.7	4.3
Belluno	0.585	1.260	0.593	1.239	1.4	-1.7
Campobasso	0.518	1.114	0.529	1.167	2.1	4.7
Cuneo	0.563	1.228	0.575	1.253	2.0	2.0
Enna	0.464	1.046	0.468	1.118	1.0	6.9
Foggia	0.515	1.143	0.529	1.182	2.6	3.3
L'Aquila	0.531	1.163	0.551	1.186	3.7	2.0
Lecco	0.576	1.242	0.587	1.234	1.9	-0.6
Lucca	0.550	1.177	0.564	1.192	2.5	1.2
Milano	0.567	1.187	0.571	1.122	0.8	-5.4
Modena	0.557	1.174	0.564	1.165	1.2	-0.8
Napoli	0.508	1.138	0.520	1.162	2.2	2.2
Perugia	0.540	1.169	0.552	1.178	2.2	0.8
Salerno	0.507	1.118	0.526	1.112	3.8	-0.5
Sassari	0.501	1.111	0.516	1.156	3.0	4.1
Vicenza	0.568	1.217	0.586	1.270	3.2	4.3
media	0.535	1.162	0.546	1.184	2.1	1.9
Max	0.585	1.274	0.593	1.314	3.8	6.9
min	0.464	1.046	0.468	1.112	0.8	-5.4

NORD						
	ENEA		UNI 10349/94			
	Γ_β		Γ_β		Delta % su ENEA	
	estate	inverno	estate	inverno	estate	inverno
Agrigento	0.319	0.292	0.295	0.267	-7.6	-8.4
Alessandria	0.350	0.327	0.376	0.339	7.4	3.8
Ancona	0.344	0.324	0.340	0.330	-1.0	1.7
Aosta	0.364	0.318	0.381	0.318	4.8	0.1
Bari	0.334	0.314	0.310	0.290	-7.4	-7.8
Belluno	0.369	0.325	0.377	0.330	2.1	1.7
Campobasso	0.348	0.329	0.330	0.306	-5.1	-7.1
Cuneo	0.364	0.323	0.393	0.334	7.8	3.5
Enna	0.332	0.310	0.306	0.274	-7.6	-11.6
Foggia	0.340	0.316	0.327	0.295	-3.8	-6.4
L'Aquila	0.346	0.321	0.360	0.334	4.0	3.9
Lecco	0.365	0.326	0.376	0.336	3.0	3.2
Lucca	0.345	0.321	0.354	0.323	2.6	0.7
Milano	0.354	0.323	0.367	0.345	3.6	6.9
Modena	0.349	0.325	0.352	0.333	1.1	2.5
Napoli	0.329	0.307	0.324	0.301	-1.6	-2.0
Perugia	0.345	0.321	0.345	0.324	0.0	1.0
Salerno	0.334	0.317	0.356	0.333	6.6	5.2
Sassari	0.330	0.311	0.319	0.299	-3.2	-3.9
Vicenza	0.353	0.322	0.367	0.329	3.9	2.3
media	0.346	0.319	0.348	0.317	0.5	-0.5
Max	0.369	0.329	0.393	0.345	7.8	6.9
min	0.329	0.307	0.306	0.274	-7.6	-11.6

NORD EST NORD OVEST						
	ENEA		UNI 10349/94			
	Γ_β		Γ_β		Delta % su ENEA	
	estate	inverno	estate	inverno	estate	inverno
Agrigento	0.496	0.407	0.485	0.389	-2.2	-4.3
Alessandria	0.511	0.439	0.520	0.440	1.7	0.2
Ancona	0.508	0.434	0.507	0.439	-0.2	1.1
Aosta	0.516	0.426	0.522	0.422	1.2	-0.9
Bari	0.502	0.423	0.493	0.405	-1.9	-4.0
Belluno	0.518	0.432	0.520	0.435	0.3	0.7
Campobasso	0.508	0.431	0.499	0.415	-1.7	-3.8
Cuneo	0.515	0.427	0.525	0.431	1.9	0.9
Enna	0.501	0.418	0.488	0.392	-2.6	-6.2
Foggia	0.505	0.422	0.497	0.411	-1.4	-2.8
L'Aquila	0.507	0.426	0.509	0.428	0.4	0.5
Lecco	0.517	0.433	0.521	0.436	0.6	0.6
Lucca	0.508	0.430	0.509	0.429	0.3	-0.1
Milano	0.513	0.436	0.517	0.452	0.7	3.6
Modena	0.510	0.434	0.511	0.437	0.2	0.6
Napoli	0.500	0.417	0.498	0.412	-0.4	-1.2
Perugia	0.507	0.428	0.505	0.426	-0.4	-0.5
Salerno	0.502	0.423	0.508	0.430	1.3	1.7
Sassari	0.501	0.422	0.496	0.414	-1.0	-1.8
Vicenza	0.513	0.433	0.516	0.431	0.6	-0.4
media	0.508	0.427	0.507	0.424	-0.1	-0.8
Max	0.518	0.439	0.525	0.452	1.9	3.6
min	0.500	0.417	0.488	0.392	-2.6	-6.2

EST OVEST						
	ENEA		UNI 10349/94			
	Γ_β		Γ_β		Delta % su ENEA	
	estate	inverno	estate	inverno	estate	inverno
Agrigento	0.645	0.711	0.651	0.722	0.9	1.6
Alessandria	0.675	0.745	0.668	0.750	-1.1	0.7
Ancona	0.669	0.739	0.672	0.738	0.4	-0.1
Aosta	0.677	0.766	0.670	0.768	-1.0	0.1
Bari	0.659	0.728	0.667	0.740	1.1	1.7
Belluno	0.677	0.765	0.675	0.757	-0.3	-1.0
Campobasso	0.658	0.725	0.663	0.735	0.7	1.4
Cuneo	0.669	0.752	0.661	0.753	-1.1	0.0
Enna	0.644	0.706	0.648	0.719	0.6	1.9
Foggia	0.660	0.731	0.665	0.739	0.9	1.1
L'Aquila	0.663	0.736	0.661	0.738	-0.3	0.3
Lecco	0.676	0.761	0.674	0.757	-0.4	-0.5
Lucca	0.671	0.745	0.671	0.746	-0.1	0.3
Milano	0.677	0.753	0.674	0.741	-0.4	-1.6
Modena	0.674	0.747	0.674	0.746	0.0	-0.2
Napoli	0.660	0.730	0.661	0.733	0.3	0.5
Perugia	0.667	0.740	0.668	0.740	0.2	0.0
Salerno	0.657	0.724	0.654	0.720	-0.5	-0.7
Sassari	0.658	0.725	0.662	0.735	0.7	1.3
Vicenza	0.678	0.758	0.675	0.764	-0.5	0.8
media	0.666	0.739	0.666	0.742	0.0	0.4
Max	0.678	0.766	0.675	0.768	1.1	1.9
min	0.644	0.706	0.648	0.719	-1.1	-1.6

SUDEST SUDOVEST						
	ENEA		UNI 10349/94			
	Γ_β		Γ_β		Delta % su ENEA	
	estate	inverno	estate	inverno	estate	inverno
Agrigento	0.594	0.956	0.604	0.996	1.7	4.2
Alessandria	0.660	1.020	0.657	1.048	-0.5	2.7
Ancona	0.647	1.013	0.655	0.999	1.3	-1.4
Aosta	0.670	1.102	0.667	1.129	-0.4	2.4
Bari	0.626	0.996	0.639	1.033	2.1	3.6
Belluno	0.671	1.093	0.673	1.074	0.3	-1.7
Campobasso	0.628	0.987	0.640	1.024	1.9	3.8
Cuneo	0.656	1.067	0.652	1.078	-0.6	1.0
Enna	0.594	0.939	0.603	0.989	1.6	5.4
Foggia	0.629	1.008	0.641	1.036	2.0	2.8
L'Aquila	0.638	1.021	0.643	1.032	0.8	1.1
Lecco	0.666	1.080	0.669	1.072	0.4	-0.8
Lucca	0.653	1.035	0.658	1.041	0.8	0.6
Milano	0.664	1.046	0.663	0.999	-0.2	-4.5
Modena	0.658	1.035	0.660	1.027	0.3	-0.8
Napoli	0.627	1.005	0.634	1.020	1.2	1.5
Perugia	0.645	1.027	0.652	1.034	1.0	0.6
Salerno	0.624	0.990	0.629	0.980	0.8	-1.0
Sassari	0.622	0.987	0.633	1.017	1.9	3.1
Vicenza	0.665	1.066	0.671	1.096	0.9	2.9
media	0.642	1.024	0.647	1.036	0.9	1.3
Max	0.671	1.102	0.673	1.129	2.1	5.4
min	0.594	0.939	0.603	0.980	-0.6	-4.5

RISULTATI PER L'INTERO SET B

SET B Atlante ENEA - K secondo UNI 8477-1 120 città campione								
	Γ_β Fattore di inclinazione medio tra equinozi per superficie verticale							
ESTATE	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
media	0.666	0.344	0.507	0.507	0.666	0.532	0.641	0.641
s_{n-1}	0.011	0.013	0.006	0.006	0.011	0.036	0.023	0.023
$\Delta\%_{2s}$	3.2	7.3	2.4	2.4	3.2	13.4	7.2	7.2
max (media +2σ)	0.687	0.369	0.520	0.520	0.687	0.604	0.687	0.687
min (media -2σ)	0.645	0.319	0.495	0.495	0.645	0.461	0.595	0.595
Max	0.682	0.370	0.519	0.519	0.682	0.588	0.675	0.675
min	0.643	0.319	0.495	0.495	0.643	0.453	0.589	0.589

	Γ_β Fattore di inclinazione medio tra equinozi per superficie verticale							
INVERNO	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
media	0.739	0.317	0.426	0.426	0.739	1.159	1.022	1.022
s_{n-1}	0.016	0.011	0.009	0.009	0.016	0.053	0.039	0.039
$\Delta\%_{2s}$	4.3	6.9	4.4	4.4	4.3	9.2	7.7	7.7
max (media +2σ)	0.771	0.339	0.445	0.445	0.771	1.266	1.100	1.100
min (media -2σ)	0.707	0.295	0.407	0.407	0.707	1.053	0.943	0.943
Max	0.777	0.339	0.443	0.443	0.777	1.298	1.124	1.124
min	0.706	0.287	0.403	0.403	0.706	1.046	0.939	0.939

Confrontiamo le differenze principali tra il set **A** (UNI 10349/94) e il set **B** (ENEA) completo:

CONFRONTO DIFFERENZE % SET **A** (UNI) SET **B** completo								
	Γ_β Fattore di inclinazione medio tra equinozi per superficie verticale							
ESTATE	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
media	0.0	-1.1	0.0	0.0	0.0	-2.5	-1.0	-1.0
Max	1.0	-5.8	-1.1	-1.1	1.0	-0.8	0.4	0.4
min	-0.9	8.2	2.2	2.2	-0.9	-2.2	-2.4	-2.4

	Γ_β Fattore di inclinazione medio tra equinozi per superficie verticale							
INVERNO	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
media	-0.4	0.1	0.6	0.6	-0.4	-2.1	-1.4	-1.4
Max	1.2	-1.7	-1.8	-1.8	1.2	-1.2	-0.5	-0.5
min	-1.9	7.3	3.5	3.5	-1.9	-6.0	-4.2	-4.2

I valori medi dei fattori d'inclinazione sono in pratica coincidenti, mentre i valori minimi e massimi presentano variazioni contenute con i massimi scarti (entro ± 10%) sulla giacitura Nord.

ANALISI STATISTICA

Dall'analisi esplorativa effettuata appare, con sufficiente evidenza, che i due set **A** e **B**, pur provenendo da due differenti basi di dati, relative anche a differenti periodi, (UNI 10349/94 e *Atlante italiano della radiazione solare*- ENEA,2006-2011) possano rappresentare due campioni di una stessa popolazione; per precisare i risultati fin qui visti e dar loro una veste "rigorosa", sottoponiamo il set **A** e il set **B** a due classici test statistici:

F-TEST (Fisher-Snedecor):
confronto tra le varianze di due campioni indipendenti per valutare se i due campioni derivino da due popolazioni distribuite normalmente con varianze uguali.

t-TEST (Student):
confronto tra le medie di due campioni indipendenti per valutare se i due campioni derivino da due popolazioni distribuite normalmente con medie uguali.

Riportiamo i dati necessari per l'applicazione dei due test:

SET A	**UNI 10349/94 - K secondo UNI 8477-1**				20 città campione Indice Severità Climatica			
	Γ_β Fattore di inclinazione medio tra equinozi per superficie verticale							
ESTATE	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
media	0.666	0.348	0.507	0.507	0.666	0.546	0.647	0.647
s_n	0.008	0.026	0.011	0.011	0.008	0.03526	0.019	0.019
s_{n-1}	0.008	0.028	0.012	0.012	0.008	0.037	0.020	0.020

	Γ_β Fattore di inclinazione medio tra equinozi per superficie verticale							
INVERNO	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
media	0.742	0.317	0.424	0.424	0.742	1.184	1.036	1.036
s_n	0.013	0.021	0.015	0.015	0.013	0.052	0.036	0.036
s_{n-1}	0.013	0.022	0.016	0.016	0.013	0.055	0.038	0.038

	SET B Atlante ENEA - K secondo UNI 8477-1				120 città campione			
	Γ_β Fattore di inclinazione medio tra equinozi per superficie verticale							
ESTATE	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
media	0.666	0.344	0.507	0.507	0.666	0.532	0.641	0.641
s_n	0.010	0.012	0.006	0.006	0.010	0.03534	0.023	0.023
s_{n-1}	0.011	0.013	0.006	0.006	0.011	0.036	0.023	0.023

	Γ_β Fattore di inclinazione medio tra equinozi per superficie verticale							
INVERNO	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
media	0.739	0.317	0.426	0.426	0.739	1.159	1.022	1.022
s_n	0.016	0.011	0.009	0.009	0.016	0.053	0.039	0.039
s_{n-1}	0.016	0.011	0.009	0.009	0.016	0.053	0.039	0.039

F-test - formulazioni delle ipotesi:

$H_0 : \sigma^2_A = \sigma^2_B$

$H_1 : \sigma^2_A \neq \sigma^2_B$

Livello di significatività $\alpha = 0.05$, test bidirezionale.

bidirezionale : accettata H_0 se

$F<F_{\alpha/2}$ e $F>F_{1-\alpha/2}$

o, più semplicemente, se $F<F_{\alpha/2}$

per $F=(s_{maggiore}/s_{minore})^2$

F-test Fisher Snedecor per omogeneità della varianza

ESTATE		EO	N	NE NO	S	SE SO
n_A		20	20	20	20	20
n_B		120	120	120	120	120
F		1.897	4.515	3.429	1.004	1.461
$F_{\alpha/2}$		3.3922	2.223	2.223	3.3922	3.3922
$F_{1-\alpha/2}$		0.295	0.45	0.45	0.295	0.295
gdl_{num}		119	9	9	119	119
gdl_{den}		9	119	119	9	9
F_{α}		2.75	1.96	1.96	2.75	2.75

INVERNO		EO	N	NE NO	S	SE SO
n_A		20	20	20	20	20
n_B		120	120	120	120	120
F		1.557	3.803	2.630	1.031	1.159
$F_{\alpha/2}$		3.392	2.223	2.223	3.392	3.392
$F_{1-\alpha/2}$		0.295	0.45	0.45	0.295	0.295
gdl_{num}		119	9	9	119	119
gdl_{den}		9	119	119	9	9
F_{α}		2.75	1.96	1.96	2.75	2.75

Al livello di significatività $\alpha = 0.05$ è accettata l'ipotesi H_0 per le giaciture Est, Ovest, Sud e Sud-Est Sud-Ovest, mentre è rigettata per le giaciture Nord , Nord-Est e Nord-Ovest. Per quest'ultime giaciture risulta che i due set provengono da popolazioni aventi varianze differenti e quindi scarti differenti dalla media; *in particolare è il set **A** che presenta la maggiore dispersione rispetto alla media, anche se il fatto è limitato ad alcune località*, come avevamo notato dall'analisi esplorativa.

t-test - formulazioni delle ipotesi:

$H_0 : \mu_A = \mu_B$

$H_1 : \mu_A \neq \mu_B$

Livello di significatività $\alpha = 0.05$, test bidirezionale.

bidirezionale : accettata H_0 se
$\lvert t \rvert < t_{\alpha/2}$

Visti i risultati del F-test, occorrerà eseguire due analisi differenti:

- giaciture Est, Ovest, Sud e Sud-Est Sud-Ovest con la stessa varianza
- giaciture Nord , Nord-Est e Nord-Ovest con varianza differente

caso di campioni indipendenti, con varianza omogenea e ignota

ESTATE		EO	N	NE NO	S	SE SO
n_A		20			20	20
n_B		120			120	120
σ_{mA-mB}		0.002			0.009	0.005
t		0.024			1.575	1.216
$t_{\alpha/2}$		1.96			1.96	1.96
gdl		138			138	138

INVERNO		EO	N	NE NO	S	SE SO
n_A		20			20	20
n_B		120			120	120
σ_{mA-mB}		0.004			0.013	0.009
t		0.853			1.907	1.551
$t_{\alpha/2}$		1.96			1.96	1.96
gdl		138			138	138

caso di campioni indipendenti, con varianza non omogenea

ESTATE		EO	N	NE NO	S	SE SO
n_A			20	20		
n_B			120	120		
σ_{mA-mB}			0.006	0.003		
t			0.634	-0.004		
$t_{\alpha/2}$			2.086	2.08		
gdl			20.5	21.0		

INVERNO		EO	N	NE NO	S	SE SO
n_A			20	20		
n_B			120	120		
σ_{mA-mB}			0.005	0.004		
t			-0.041	-0.754		
$t_{\alpha/2}$			2.086	2.08		
gdl			20.8	21.6		

Al livello di significatività $\alpha = 0.05$ è accettata l'ipotesi H_0 per tutte le giaciture: i due set **A** e **B** provengono da *popolazioni aventi la stessa media* anche se per le giaciture Nord , Nord-Est e Nord-Ovest le popolazioni hanno varianza differente (F-test).

CONCLUSIONI

Avevamo visto che era possibile scrivere, per una superficie composta di parti opache e parti trasparenti appartenenti alla stessa giacitura β, l'energia radiante efficace, ai fini della climatizzazione, incidente sulla superficie stessa come:

$$E_{R,\beta,T} = \int_T P_{R,\beta} dt = s_{R,\beta} \int_T I_\beta dt \; = s_{R,\beta} \int_T \Gamma_\beta I_0 dt = s_{R,\beta} \overline{\overline{\Gamma}}_\beta \int_T I_0 dt$$

dove era stato definito il fattore d'inclinazione medio della radiazione globale $\overline{\Gamma}_\beta$ nel periodo di climatizzazione T con la relazione seguente:

$$\overline{\overline{\Gamma}}_\beta = \frac{\int_T I_\beta dt}{\int_T I_0 dt}$$

È stato verificato che sia nel periodo invernale sia nel periodo estivo, periodi in sostanza sovrapponibili ai due intervalli tra gli equinozi di primavera e d'autunno (primavera-estate e autunno-inverno), durante i quali la declinazione solare δ, che influenza i fattori d'inclinazione, non cambia di segno, è possibile definire i seguenti valori per il fattore di inclinazione medio:

	Γ_β Fattore di inclinazione medio tra equinozi per superficie verticale							
ESTATE	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
media	0.666	0.344	0.507	0.507	0.666	0.532	0.641	0.641
s_n	0.010	0.012	0.006	0.006	0.010	0.03534	0.023	0.023
s_{n-1}	0.011	0.013	0.006	0.006	0.011	0.036	0.023	0.023
$\Delta\%_{2s}$	3.2	7.3	2.4	2.4	3.2	13.4	7.2	7.2
max (media $+2\sigma$)	0.687	0.369	0.520	0.520	0.687	0.604	0.687	0.687
min (media -2σ)	0.645	0.319	0.495	0.495	0.645	0.461	0.595	0.595
Max	0.682	0.370	0.519	0.519	0.682	0.588	0.675	0.675
min	0.643	0.319	0.495	0.495	0.643	0.453	0.589	0.589

	Γ_β Fattore di inclinazione medio tra equinozi per superficie verticale							
INVERNO	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
media	0.739	0.317	0.426	0.426	0.739	1.159	1.022	1.022
s_n	0.016	0.011	0.009	0.009	0.016	0.053	0.039	0.039
s_{n-1}	0.016	0.011	0.009	0.009	0.016	0.053	0.039	0.039
$\Delta\%_{2s}$	4.3	6.9	4.4	4.4	4.3	9.2	7.7	7.7
max (media $+2\sigma$)	0.771	0.339	0.445	0.445	0.771	1.266	1.100	1.100
min (media -2σ)	0.707	0.295	0.407	0.407	0.707	1.053	0.943	0.943
Max	0.777	0.339	0.443	0.443	0.777	1.298	1.124	1.124
min	0.706	0.287	0.403	0.403	0.706	1.046	0.939	0.939

È possibile, di conseguenza, definire il componente $\mathscr{C}$ del vettore edificio tramite i soli fattori medi d'inclinazione nel periodo *T* e associare quindi un unico valore del modulo del vettore edificio a un prefissato involucro di data orientazione, indipendentemente dalla ubicazione della località e dalle grandezze climatiche del luogo.

Questo risultato giustifica le assunzioni fatte nel modello proposto per l'Indice di Severità Climatica.

A titolo di esempio valutiamo la sensibilità del componente $\mathscr{C}$ del vettore edificio a diverse assunzioni riguardanti i fattori medi di inclinazione della radiazione solare.

Consideriamo un semplice edificio il cui involucro abbia le seguenti caratteristiche:

$\alpha = 0.6$, g = 0.8, $f^t = f^o = 1.0$, V=450 m^3

poiché è

$$s_{R,\beta} = (\alpha f^o s^o + g f^t s^t)_\beta \,, \quad S_R = \sum_\beta s_{R,\beta} \,, \quad \hat{\Gamma} = \frac{\sum_\beta s_{R,\beta} \overline{\overline{\Gamma}}_\beta}{S_R} \,, \quad \hat{S}_R = S_R \hat{\Gamma} \,, \quad \mathscr{C} = \frac{\hat{S}_R}{V}$$

si ha:

Involucro									
				ESTATE			INVERNO		
Esposizioni	Superficie reale [m^2]		$s_{R,\beta}$	$\overline{\overline{\Gamma}}_\beta$med	$\overline{\overline{\Gamma}}_\beta$max	$\overline{\overline{\Gamma}}_\beta$min	$\overline{\overline{\Gamma}}_\beta$med	$\overline{\overline{\Gamma}}_\beta$max	$\overline{\overline{\Gamma}}_\beta$min
	Opaca	Trasparente							
O	31.5	13.5	29.7	0.666	0.682	0.643	0.739	0.777	0.706
N	21.0	9.0	19.8	0.344	0.37	0.319	0.317	0.339	0.287
E	40.5	4.5	27.9	0.666	0.682	0.643	0.739	0.777	0.706
S	27.0	3.0	18.6	0.532	0.588	0.453	1.159	1.298	1.046
copertura orizzontale	150	0.0	90	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
			S_R	$\hat{\Gamma}$med	$\hat{\Gamma}$max	$\hat{\Gamma}$min	$\hat{\Gamma}$med	$\hat{\Gamma}$max	$\hat{\Gamma}$min
			186	0.7799	0.7933	0.7623	0.8624	0.8904	0.8377
				$\mathscr{C}$ med	$\mathscr{C}$ max	$\mathscr{C}$ min	$\mathscr{C}$ med	$\mathscr{C}$ max	$\mathscr{C}$ min
				0.3224	0.3279	0.3151	0.3564	0.3680	0.3462
					Delta %	Delta %		Delta %	Delta %
					+1.7	-2.3		+3.2	-2.9

Considerando che i parametri medi, massimi e minimi non si riferiscono a una località specifica, ma valgono per l'intero territorio nazionale (e quindi il massimo e il minimo si riferiscono a differenti località), se ne conclude che le differenze registrate per $\mathcal{C}$, considerando i valori medi, sono ampliamente accettabili.

Nel caso che nell'involucro non sia compresa la copertura (appartamento intermedio di edificio multipiano) si ha, invece, la seguente situazione:

Involucro									
				ESTATE			**INVERNO**		
Esposizioni	Superficie reale [m^2]		$s_{R,\beta}$	$\overline{\overline{\Gamma}}_{\beta}$med	$\overline{\overline{\Gamma}}_{\beta}$max	$\overline{\overline{\Gamma}}_{\beta}$min	$\overline{\overline{\Gamma}}_{\beta}$med	$\overline{\overline{\Gamma}}_{\beta}$max	$\overline{\overline{\Gamma}}_{\beta}$min
	Opaca	Trasparente							
O	31.5	13.5	29.7	0.666	0.682	0.643	0.739	0.777	0.706
N	21.0	9.0	19.8	0.344	0.37	0.319	0.317	0.339	0.287
E	40.5	4.5	27.9	0.666	0.682	0.643	0.739	0.777	0.706
S	27.0	3.0	18.6	0.532	0.588	0.453	1.159	1.298	1.046
copertura orizzontale	0	0.0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
			S_R	$\hat{\Gamma}$med	$\hat{\Gamma}$max	$\hat{\Gamma}$min	$\hat{\Gamma}$med	$\hat{\Gamma}$max	$\hat{\Gamma}$min
			96	0.5736	0.5994	0.5394	0.7333	0.7876	0.6855
				$\mathcal{C}$ med	$\mathcal{C}$ max	$\mathcal{C}$ min	$\mathcal{C}$ med	$\mathcal{C}$ max	$\mathcal{C}$ min
				0.1224	0.1279	0.1151	0.1564	0.1680	0.1462
					Delta %	Delta %		Delta %	Delta %
					+4.5	-6.0		+7.4	-6.5

Le differenze in $\mathcal{C}$ risultano ancora limitate, confermando le affermazioni fatte.

ADDENDUM

É possibile interpretare "teoricamente", e non solo statisticamente, i risultati precedenti con un breve approfondimento della questione.

RADIAZIONE SOLARE SU SUPERFICI INCLINATA

VALUTAZIONE DEL FATTORE D'INCLINAZIONE DELLA RADIAZIONE GLOBALE AL TEMPO *t*

L'orientamento di una superficie è individuato, in un riferimento cartesiano tridimensionale, dai coseni direttori β_i della sua normale; assumendo come sistema di riferimento il piano orizzontale e quello verticale passante per il meridiano locale, è anche possibile definire l'orientamento della superficie per mezzo di due angoli:

- β : angolo formato dalla superficie con il piano orizzontale ($0° \leq \beta \leq 180°$)
- γ : angolo che la proiezione della normale alla superficie sul piano orizzontale forma con la direzione Sud (è $\gamma > 0$ se la proiezione è rivolta verso Est , $\gamma < 0$ se rivolta verso Ovest)

Siano, al tempo *t*:

$I_{\beta,\gamma}$: potenza della radiazione solare globale sulla superficie inclinata

I_{bo} : potenza della radiazione diretta sul piano orizzontale

I_{do} : potenza della radiazione diffusa sul piano orizzontale

I_{o} : potenza della radiazione solare globale sul piano orizzontale

I_{bn} : potenza della radiazione solare diretta sul piano normale ai raggi solari

$I_{e,o}$: potenza della radiazione solare diretta extraterrestre su piano orizzontale

e ancora:

$\Gamma_{b\beta,\gamma}$: fattore di inclinazione della radiazione diretta

$\Gamma_{d\beta}$: fattore di inclinazione della radiazione diffusa

$\Gamma_{r\beta}$: fattore di inclinazione della radiazione riflessa

Si ha:

$$I_{\beta,\gamma} = \Gamma_{b\beta,\gamma} I_{bo} + \Gamma_{d\beta} I_{do} + \Gamma_{r\beta} I_o$$

e

$$I_{bo} = I_o - I_{do}$$

$$\frac{I_{do}}{I_o} = K_d$$

Sono state formulate, in letteratura, varie espressioni per il rapporto K_d (*frazione diffusa*) tra radiazione diffusa sul piano orizzontale e radiazione globale sullo stesso piano[3].

Si potrà scrivere, per il fattore d'inclinazione della radiazione globale:

$$\Gamma_{\beta,\gamma} = \frac{I_{\beta,\gamma}}{I_o} = \Gamma_{b\beta,\gamma}\left(1 - K_d\right) + \Gamma_{d\beta} K_d + \Gamma_{r\beta}$$

Nell'ipotesi che la volta celeste si comporti come una sorgente isotropa di radiazione diffusa si ha:

$$\Gamma_{d\beta} = \frac{1 + \cos\beta}{2}$$

e, per il suolo orizzontale, sempre isotropo, di coefficiente di riflessione ρ:

$$\Gamma_{r\beta} = \frac{1 - \cos\beta}{2}\rho$$

Il fattore d'inclinazione della radiazione diretta è, d'altra parte, definito come:

$$\Gamma_{b\beta,\gamma} = \frac{I_{b\beta\gamma}}{I_{bo}} = \frac{I_{bn}\cos i}{I_{bn}\sin\alpha} = \frac{\cos i}{\sin\alpha}$$

dove:

i: angolo tra la normale alla superficie e direzione dei raggi solari (incidenza sulla superficie)

α: angolo tra la direzione dei raggi solari e la sua proiezione sul piano orizzontale (altitudine solare)

e

$$\begin{aligned}\cos i = {} & \sin\delta(\sin\varphi\cos\beta - \cos\varphi\sin\beta\cos\gamma) + \\ & + \cos\delta\cosh(\cos\varphi\cos\beta + \sin\varphi\sin\beta\cos\gamma) + \\ & + \cos\delta\sin\beta\sin\gamma\sin h\end{aligned}$$

$$\sin\alpha = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cosh$$

dove φ è la latitudine del luogo e h è l'angolo orario.

---

[3] Il valore medio mensile della frazione diffusa, definita con il rapporto:

$$\overline{K}_d = \frac{\overline{I}_{do}}{\overline{I}_o}$$

è messo, in letteratura, in relazione, con l'*indice medio mensile di serenità* che rappresenta la frazione di radiazione extraterrestre che raggiunge la superficie del suolo:

$$\overline{k}_T = \frac{\overline{I}o}{\overline{I}e,o}$$

$$\overline{K}_d = f\left(\overline{k}_T\right)$$

Ambedue i parametri variano tra 0 e 1 e la loro combinazione descrive differenti combinazione del tempo meteorologico (da cielo sereno a nuvoloso, anche se altri parametri atmosferici possono entrare in gioco). Il campo di variazione atteso per di $\overline{k}_T$ è:

$$0.2 \le \overline{k}_T \le 0.8$$

Per una superficie comunque orientata, si ha:

$$\Gamma_{b\beta,\gamma} = \frac{\cos\delta\sinh\sin\beta\sin\gamma+\sin\delta(-\cos\gamma\cos\varphi\sin\beta+\cos\beta\sin\varphi)+\cosh\cos\delta(\cos\beta\cos\varphi+\cos\gamma\sin\beta\sin\varphi)}{\cosh\cos\delta\cos\varphi+\sin\delta\sin\varphi}$$

Per una superficie verticale rivolta a Sud si ha:

$$\Gamma_{b90°,0°} = \frac{-\cos\varphi\sin\delta+\cosh\cos\delta\sin\varphi}{\cosh\cos\delta\cos\varphi+\sin\delta\sin\varphi}$$

Sviluppando in serie di Taylor l'espressione di $\Gamma_{b\beta,\gamma}$, considerata come funzione della latitudine φ, intorno ad un valore $\varphi=\phi$, per una superficie verticale rivolta, per esempio, a Sud e arrestandosi al termine del primo ordine si ha:

$$\Gamma_{b90°,0°} \cong \frac{-cos\phi sin\delta + \cosh cos\delta sin\phi}{\cosh cos\delta cos\phi + sin\delta sin\phi} + (1 + \frac{(-cos\phi sin\delta + \cosh cos\delta sin\phi)^2}{(\cosh cos\delta cos\phi + sin\delta sin\phi)^2})(\varphi - \phi)$$

cioè anche:

$$\Gamma_{b90°,0°} \cong \Gamma_{b90°,0°}\Big|_{\phi,h,\delta} + \left\{1 + \left[\Gamma_{b90°,0°}\Big|_{\phi,h,\delta}\right]^2\right\}(\varphi - \phi)$$

oppure:

$$\Gamma_{b90°,0°} \cong \Gamma_{b90°,0°}\Big|_{\phi,h,\delta} - \left\{1 + \left[\Gamma_{b90°,0°}\Big|_{\phi,h,\delta}\right]^2\right\}\phi + \left\{1 + \left[\Gamma_{b90°,0°}\Big|_{\phi,h,\delta}\right]^2\right\}\varphi$$

del tipo:

$$\Gamma_{b90°,0°} \cong a + b(\varphi - \phi) = a - b\phi + b\varphi = a - (1 + a^2)\phi + (1 + a^2)\varphi$$

Il resto dello sviluppo in serie ha ordine di grandezza $O(\varphi - \phi)^2$

Per un valore centrale $\phi = 42°$(è, per l'Italia, $37° \le \varphi \le 47°$cioè $\phi - 12\% \le \varphi \le \phi + 12\%$) e per i valori centrali h = 0°, δ =12° si ha:

$$\Gamma_{b90°,0°} \cong a + b(\varphi - \phi) = a - b\phi + b\varphi = a - (1 + a^2)\phi + (1 + a^2)\varphi$$

$$a = 0.5773$$

$$b = 1.3332$$

che, per $\varphi = 47° \equiv 0.82028$ radianti, fornisce:

$$\Gamma_{b90°,0°} \cong 0.69368$$

rispetto al valore esatto:

$$\Gamma_{b90°,0°} = 0.70018$$

La differenza è dell'ordine del -1%.

Per superfici verticali di azimut generico γ si può dimostrare che vale quanto trovato per l'orientazione Sud e che quindi:

$$\Gamma_{b90°,\gamma} \cong c(\phi) + d(\phi)\varphi$$

Il fattore d'inclinazione della radiazione globale per le giaciture verticali si scrive dunque come:

$$\Gamma_{90°,\gamma} = \frac{I_{90°,\gamma}}{I_o} = \Gamma_{b90°,\gamma}(1-K_d) + \Gamma_{d90°}K_d + \Gamma_{r90°} \cong \left[c(\phi) + d(\phi)\varphi\right](1-K_d) + \frac{1}{2}K_d + \frac{1}{2}\rho$$

$$\Gamma_{90°,\gamma} \cong \left[c(\phi)(1-K_d) + \frac{1}{2}K_d + \frac{1}{2}\rho\right] + d(\phi)(1-K_d)\varphi$$

e, per K_d costante:

$$\Gamma_{90°,\gamma} \cong A + B\varphi$$

I coefficienti A e B sono calcolati in corrispondenza di un valore di h (e quindi dell'ora del giorno) e di un valore di δ (e quindi per un giorno dell'anno).

La sensibilità del fattore d'inclinazione rispetto alla *frazione diffusa* K_d è data da:

$$\frac{\delta\,\Gamma_{90°,\gamma}}{\delta K_d} = -\left(\Gamma_{b90°,\gamma} - \Gamma_{d90°}\right)$$

$$\frac{\delta\,\Gamma_{90°,\gamma}}{\delta K_d} \cong -\left[\left[c(\phi) + d(\phi)\varphi\right] - \frac{1}{2}\right]$$

Poiché $\Gamma_{b90°,\gamma}$ può assumere valori anche elevati, diverse formulazioni per la *frazione diffusa* possono comportare notevoli variazioni del fattore d'inclinazione.

Analoghi risultati, ripetiamo, si ottengono per tutte le altre giaciture verticali, al variare sia di h che di δ, pur se di diverso azimut γ.

In conclusione il fattore d'inclinazione della radiazione globale risulta, essenzialmente, un fattore geometrico, dipendente da β,γ,δ e h, ben rappresentabile da una funzione lineare in φ, affetto dal parametro K_d.

Inoltre se, fra varie località, la variazione in latitudine è limitata, il fattore d'inclinazione della radiazione globale può assumere valori in pratica indipendente da questa.

VALUTAZIONE DEL FATTORE D'INCLINAZIONE GIORNALIERO MEDIO MENSILE DELLA RADIAZIONE GLOBALE.

Le valutazioni energetiche che riguardano l'energia solare sono, in genere, effettuate considerando valori giornalieri medi mensili dell'energia o della potenza che incide su superfici di vario orientamento. Le norme UNI 10349/94 e altre basi di dati riportano, infatti, valori giornalieri medi mensili.

Le formule prima viste si possono traslare ai valori giornalieri medi mensili:

$$\overline{I}_{\beta,\gamma} = \overline{\Gamma}_{b\beta,\gamma}\overline{I}_{bo} + \overline{\Gamma}_{d\beta}\overline{I}_{do} + \overline{\Gamma}_{r\beta}\overline{I}_{o}$$

e

$$\overline{I}_{bo} = \overline{I}_{o} - \overline{I}_{do}$$

$$\frac{\overline{I}_{do}}{\overline{I}_{o}} = \overline{K}_{d}$$

Il valore giornaliero medio mensile della generica variabile $\overline{I}_n$ per il mese n con numero di giorni n_j è così definito:

$$\overline{I}_n = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_j}\left[\int_0^{24} I_{n,t}\,dt\right]_i}{n_j}$$

I fattori d'inclinazione medi mensili, secondo la proposta di Liu e Jordan, sono definiti da:

$$\overline{\Gamma}_{b\beta,\gamma} = \frac{\overline{I}_{b\beta\gamma}}{\overline{I}_{bo}} = \frac{\overline{I}_{bn}\overline{\cos i}}{\overline{I}_{bn}\overline{\sin\alpha}} = \frac{\overline{\cos i}}{\overline{\sin\alpha}}$$

dove $\overline{\cos i}$ e $\overline{\sin\alpha}$ sono valori medi giornalieri calcolati per la declinazione media mensile $\overline{\delta}$, praticamente coincidente con la declinazione di metà mese.

Ovviamente è, sempre in condizioni d'isotropia:

$$\overline{\Gamma}_{d\beta} = \frac{1+\cos\beta}{2}$$

$$\overline{\Gamma}_{r\beta} = \frac{1-\cos\beta}{2}\rho$$

Il fattore d'inclinazione medio mensile per la radiazione diretta è quindi calcolato, per ogni mese, con:

$$\overline{\Gamma}_{b\beta,\gamma} = \frac{\overline{\cos i}}{\overline{\sin\alpha}} = \left. \frac{\int_{has}^{hts} \cos i dt}{\int_{ha}^{ht} \sin\alpha dt} \right|_{\bar{\delta}}$$

Gli estremi d'integrazione sono gli angoli orari all'alba e al tramonto su superficie orizzontale, al denominatore e su superficie inclinata al numeratore: il sole, infatti, può sorgere più tardi rispetto all'alba e tramontare prima rispetto al tramonto sulle superfici inclinate. Per l'orientamento Nord è anche possibile avere, sulla superficie inclinata due albe e due tramonti nello stesso giorno (è necessario, allora, spezzare l'integrale a numeratore in due parti relative ai due intervalli di integrazione).

Poiché l'angolo orario e il tempo solare vero sono legati dalla relazione:

$$h = \frac{2\pi}{24}(12 - t)$$
$$dt = -\frac{2\pi}{24} dh$$

Si può anche scrivere:

$$\overline{\Gamma}_{b\beta,\gamma} = \left. \frac{\int_{has}^{hts} \cos i dh}{\int_{ha}^{ht} \sin\alpha dh} \right|_{\bar{\delta}}$$

Per una superficie comunque orientata il risultato dell'integrazione, considerando che h_t=-h_a per la superficie orizzontale, è:

$$\overline{\Gamma}_{b\beta,\gamma} = \frac{\cos\beta(-\cos\delta cos\varphi(\sin \text{has} - \sin\text{hts}) + (-\text{has} + \text{hts})\sin\delta\sin\varphi}{\cos\delta\cos\varphi\sin\text{ht} + \text{ht}\sin\delta\sin\varphi} +$$
$$+ \frac{\sin\beta(\cos\text{has}\cos\delta\sin\gamma - \cos\text{hts}\cos\delta\sin\gamma + \cos\gamma((\text{has} - \text{hts})\cos\varphi\sin\delta + \cos\delta(-\sin\text{has} + \sin\text{hts})\sin\varphi)}{\cos\delta\cos\varphi\sin\text{ht} + \text{ht}\sin\delta\sin\varphi}$$

Per una superficie verticale rivolta a Sud si ha:

$$\overline{\Gamma}_{b90°,0°} = \frac{\cos\delta\,\text{sinha}\,\sin\varphi\text{-ha}\,\cos\varphi\,\sin\delta}{\cos\delta\cos\varphi\text{sinha} + \text{ha}\sin\delta\sin[\varphi]}$$

Sviluppando in serie di Taylor l'espressione di $\overline{\Gamma}_{b90°,0°}$, considerata come funzione della latitudine φ, intorno ad un valore $\varphi = \phi$, per una superficie verticale rivolta, per esempio, a Sud e arrestandosi al termine del primo ordine si ha:

$$\overline{\Gamma}_{b90°,0°} \cong \frac{-\text{hacos}\phi\sin\delta + \cos\delta \sin \text{ha}\sin\phi}{\cos\delta\cos\phi\sin\text{ha} + \text{ha}\sin\delta\sin\phi} + (1 + \frac{(-\text{hacos}\phi\sin\delta + \cos\delta \sin \text{ha}\sin\phi)^2}{(\cos\delta\cos\phi\sin\text{ha} + \text{ha}\sin\delta\sin\phi)^2})(\varphi - \phi)$$

Ancora del tipo:

$$\overline{\Gamma}_{b90°,0°} \cong \overline{\Gamma}_{b90°,0°}\Big|_{\phi,h,\delta} + \left\{1 + \left[\overline{\Gamma}_{b90°,0°}\Big|_{\phi,h,\delta}\right]^2\right\}(\varphi - \phi)$$

e quindi ancora:

$$\overline{\Gamma}_{b90°,0°} \cong a + b(\varphi - \phi)$$

Il resto dello sviluppo in serie ha ordine di grandezza $O(\varphi - \phi)^2$

Per un valore centrale ϕ = 42°(ricordiamo che è, per l'Italia, 37° ≤ φ ≤ 47°cioè $\phi - 12\% \leq \varphi \leq \phi + 12\%$) e per i valori φ = 39° Nord, *ha* = 71.97°, δ =-20.92° (Crotone, mese di gennaio) si ha:

$$\overline{\Gamma}_{b90°,0°} \cong a + b(\varphi - \phi) = a - b\phi + b\varphi = a - (1 + a^2)\phi + (1 + a^2)\varphi$$
$$a = 2.5768$$
$$b = 7.6398$$

che, per φ = 39° fornisce:

$$\overline{\Gamma}_{b90°,0°} \cong 2.1768$$

rispetto al valore esatto:

$$\overline{\Gamma}_{b90°,0°} = 2.2240$$

La differenza è dell'ordine del -2%.

Analogamente a quanto abbiamo riportato per i valori del fattore d'inclinazione per la radiazione diretta al tempo *t*, per il fattore d'inclinazione medio mensile per la radiazione diretta per superfici verticali di azimut generico γ si può dimostrare che vale quanto trovato per l'orientazione Sud e che quindi:

$$\overline{\Gamma}_{b90°,\gamma} \cong c + d\varphi$$

Il fattore d'inclinazione medio mensile della radiazione globale per le giaciture verticali si scrive dunque come:

$$\overline{\Gamma}_{90°,\gamma} = \frac{\overline{I}_{90°,\gamma}}{\overline{I}_o} = \overline{\Gamma}_{b90°,\gamma}\left(1-\overline{K}_d\right) + \overline{\Gamma}_{d90°}\overline{K}_d + \overline{\Gamma}_{r90°} \cong [c + d\varphi]\left(1-\overline{K}_d\right) + \frac{1}{2}\overline{K}_d + \frac{1}{2}\rho$$

$$\overline{\Gamma}_{90°,\gamma} \cong \left[c\left(1-\overline{K}_d\right) + \frac{1}{2}\overline{K}_d + \frac{1}{2}\rho\right] + d\left(1-\overline{K}_d\right)\varphi$$

e, per $\overline{K}_d$ costante:

$$\overline{\Gamma}_{90°,\gamma} \cong A + B\varphi$$

La sensibilità del fattore d'inclinazione rispetto alla *frazione diffusa* $\overline{K}_d$ è data da:

$$\frac{\delta\,\overline{\Gamma}_{90°,\gamma}}{\delta\overline{K}_d} = -\left(\overline{\Gamma}_{b90°,\gamma} - \overline{\Gamma}_{d90°}\right)$$

$$\frac{\delta\,\overline{\Gamma}_{90°,\gamma}}{\delta\overline{K}_d} \cong -\left[[c + d\varphi] - \frac{1}{2}\right]$$

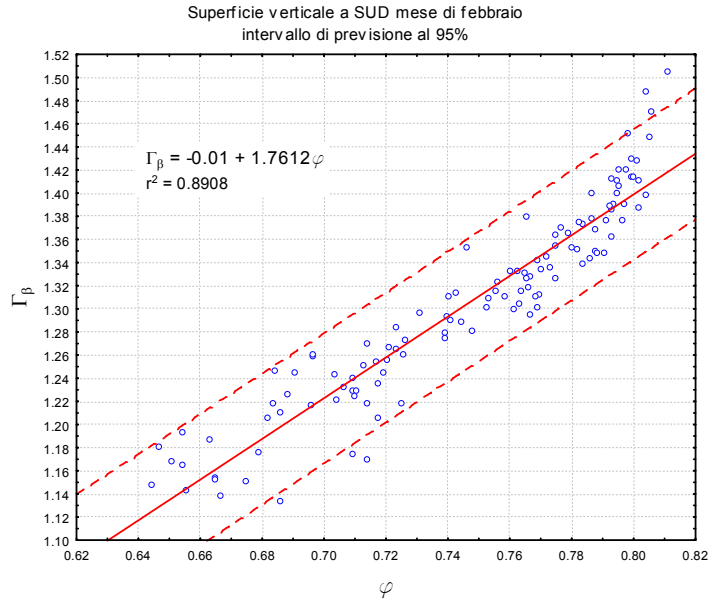
Poiché $\overline{\Gamma}_{b90°,\gamma}$ può assumere valori anche elevati, formulazioni diverse del modello per la *frazione diffusa* possono comportare apprezzabili variazioni del fattore d'inclinazione.

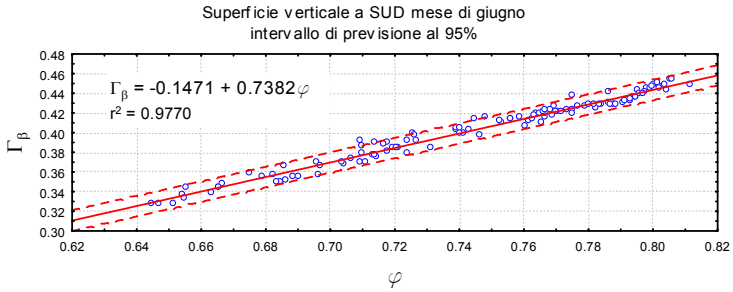
In conclusione anche il fattore d'inclinazione giornaliero medio mensile della radiazione globale risulta, essenzialmente, un fattore geometrico, dipendente da β,γ,δ e h, ben rappresentabile da una funzione lineare in φ, affetto dal parametro K_d.

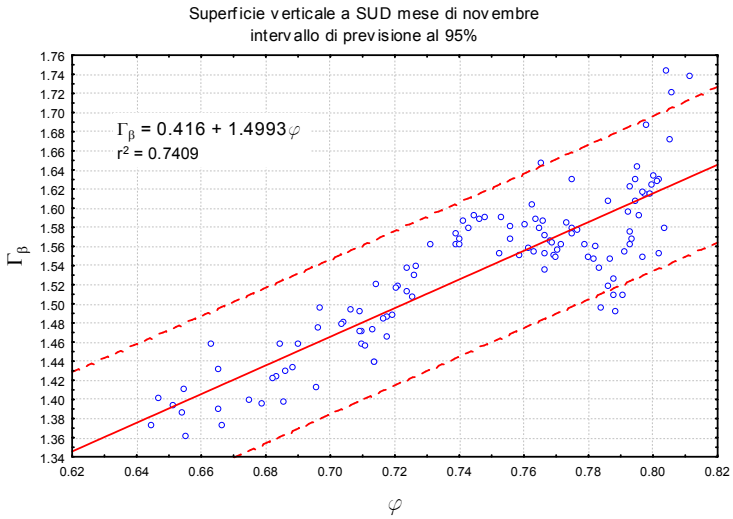
Inoltre se, fra varie località, la variazione in latitudine è limitata, il fattore d'inclinazione giornaliero medio mensile della radiazione globale può assumere valori in pratica indipendente da questa.

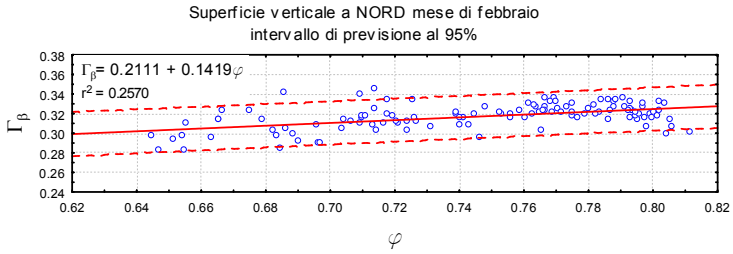
Riprendiamo ora i dati del set **B** che, ricordiamo, riguardano 120 località che coprono il territorio nazionale e sono estratti da: *Atlante italiano della radiazione solare*- ENEA 2006-2011, UNI 8477-1, 1983, e confrontiamo, limitandoci a tre mesi significativi dell'anno (febbraio, giugno e novembre) e alle due sole giaciture Nord e Sud, i fattori di inclinazione giornalieri medi mensili con le corrispondenti regressioni lineari.

Le figure seguenti riportano i grafici che si riferiscono alle situazioni anzidette:

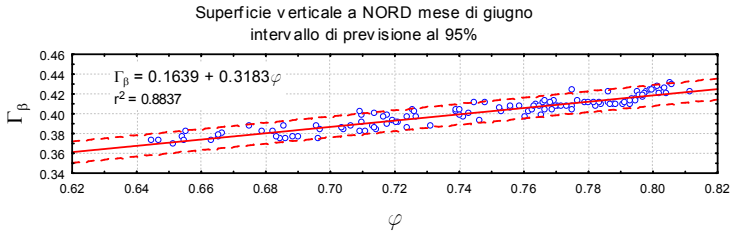


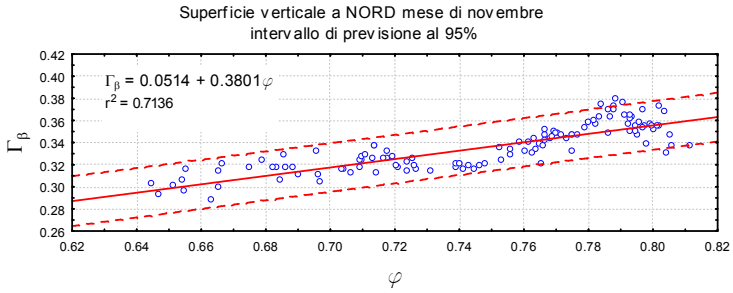






Nota: il basso valore di r^2 nel grafico precedente non è rilevante per quanto riguarda la dispersione poiché riflette l'apparente debole dipendenza lineare dei dati dovuta al basso coefficiente angolare della retta di regressione (una retta parallela all'asse delle ascisse denuncerebbe, infatti, indipendenza lineare anche in corrispondenza di bassa dispersione dei dati).





Si osserva che, nel peggiore dei casi, lo scarto massimo dalle rette di regressione, rispetto all'intervallo di previsione al 95%, è contenuto entro il $\pm$ 5%.

Ricordando che:

$$\frac{\delta \overline{\Gamma}_{90°,\gamma}}{\delta \overline{K}_d} = -\left(\overline{\Gamma}_{b90°,\gamma} - \overline{\Gamma}_{d90°}\right)$$

$$\frac{\delta \overline{\Gamma}_{90°,\gamma}}{\delta \overline{K}_d} \cong -\left[\left[c + d\varphi\right] - \frac{1}{2}\right]$$

si può affermare che le variazioni osservate del fattore d'inclinazione rispetto alle rette di regressione sono essenzialmente dovute a valori, anche leggermente diversi, per la *frazione diffusa*, a parità di latitudine e a parità di modello per K_d, connessi con differenti combinazioni del tempo meteorologico (da cielo sereno a nuvoloso, anche se altri parametri atmosferici possono entrare in gioco) sulle varie località.

VALUTAZIONE DEL FATTORE D'INCLINAZIONE MEDIO DELLA RADIAZIONE GLOBALE IN UN PERIODO DI CLIMATIZZAZIONE T.

Avevamo definito questo fattore tramite la[4]:

$$\overline{\overline{\Gamma}}_\beta = \frac{\int_T I_\beta dt}{\int_T I_0 dt} \cong \frac{\sum_i n_i I_{\beta,i}}{\sum_i n_i I_{0,i}} = \frac{\sum_i n_i H_{\beta,i}}{\sum_i n_i H_{0,i}}$$

$$T = \sum_i n_i$$

dove n_i sono i giorni del mese i-esimo che fanno parte del periodo di climatizzazione *T*.

In virtù del teorema della media generalizzata potremo anche scrivere:

$$\overline{\overline{\Gamma}}_\beta = \frac{\int_T I_\beta dt}{\int_T I_0 dt} = \frac{\int_T \frac{I_\beta}{I_0} I_0 dt}{\int_T I_0 dt} = \frac{\widehat{I_0}\int_T \Gamma_\beta dt}{\widehat{I_0}\int_T dt} = \frac{\widehat{I_0}}{\widehat{I_0}} \frac{\int_T \Gamma_\beta dt}{T} = \Omega \frac{\int_T \Gamma_\beta dt}{T} \cong \Omega \frac{\sum_i n_i \overline{\Gamma}_{\beta,i}}{\sum_i n_i}$$

$\Omega = \text{costante}$

dove $\widehat{I_0}$ e $\widehat{I_0}$ sono due opportuni valori, compresi tra l'estremo superiore e inferiore di I_0, in un punto interno all'intervallo T.

È evidente allora che il $\overline{\overline{\Gamma}}_\beta$, relativo a ciascun periodo di climatizzazione *T*, è una combinazione lineare dei vari $\overline{\Gamma}_{\beta,i}$ relativi ai mesi (e frazioni di mesi) che compongono il periodo *T*.

[4] Ricordiamo che il periodo di climatizzazione *T* era stato così prefissato:

- climatizzazione estiva: dal 15 aprile al 15 ottobre $T = 183g = 4392h$
- climatizzazione invernale: dal 5 ottobre al 22 aprile $T = 199g = 4776h$

e che *i periodi T sono in sostanza sovrapponibili ai due intervalli tra gli equinozi di primavera e d'autunno (primavera-estate e autunno-inverno), periodi durante i quali la declinazione solare δ, che influenza i fattori d'inclinazione, non cambia di segno.*

LINEARIZZAZIONE RISPETTO ALLA LATITUDINE

Per $\overline{\Gamma}_{\beta,i}$ avevamo visto che era possibile scrivere, limitandoci alle superfici verticali:

$$\overline{\Gamma}_{90°,\gamma,i} \cong A_{90°,\gamma,i} + B_{90°,\gamma,i}\varphi$$

Di conseguenza, invocando le condizioni di linearità, sarà anche vero:

$$\overline{\overline{\Gamma}}_{90°,\gamma,T} \cong A_{90°,\gamma,T} + B_{90°,\gamma,T}\varphi$$

e anche, accettando un margine limitato di errore Δ:

$$\overline{\overline{\Gamma}}_{90°,\gamma,T} \cong C_{90°,\gamma,T} \pm \Delta$$

Quest'ultima espressione giustifica, dunque, quanto trovato nell'analisi dei dati dei set **A** e **B** presi in considerazione.

Resta da verificare la bontà dell'approssimazione:

$$\overline{\overline{\Gamma}}_{90°,\gamma,T} \cong A_{90°,\gamma,T} + B_{90°,\gamma,T}\varphi$$

Riprendiamo allora i dati del set **B** che, ricordiamo, riguardano 120 località che coprono il territorio nazionale e sono estratti da: *Atlante italiano della radiazione solare*- ENEA 2006-2011, UNI 8477-1, 1983.

Le rette di regressione dei fattori d'inclinazione per i due periodi di climatizzazione T, per le varie giaciture verticali e per i differenti orientamenti, hanno i seguenti coefficienti:

Atlante italiano della radiazione solare - ENEA 2006-2011
120 località

ESTATE

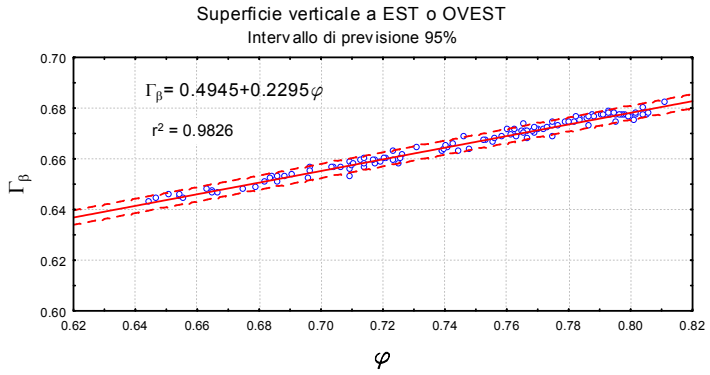
		coefficienti	
		A	B
O	E	0.4945	0.2295
	N	0.1599	0.2464
NO	NE	0.4132	0.1261
	S	-0.0495	0.7799
SE	SO	0.2651	0.5033

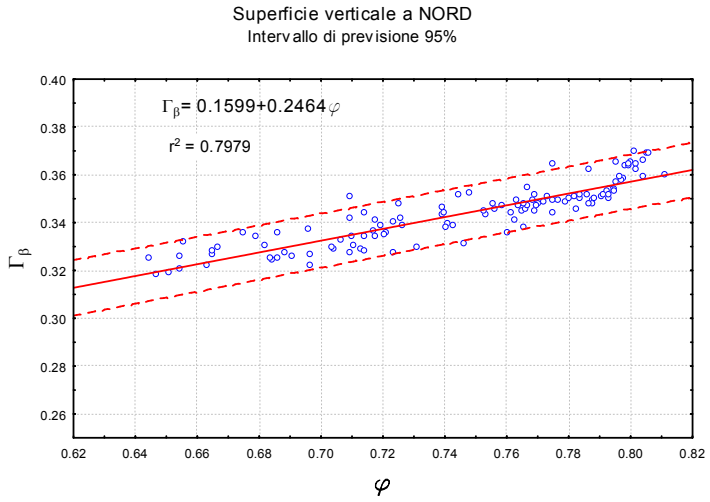
INVERNO

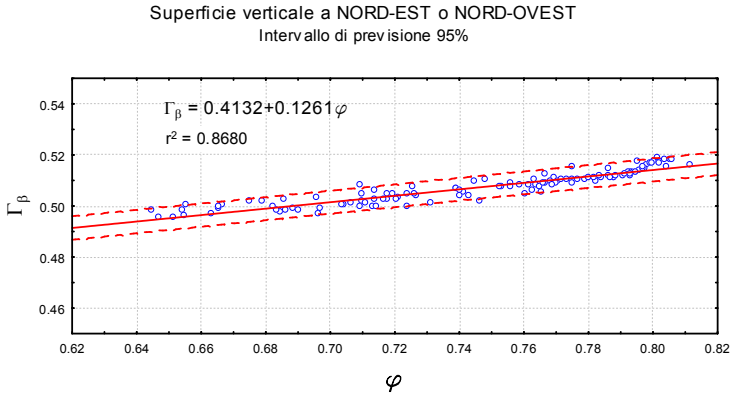
		coefficienti	
		A	B
O	E	0.4886	0.3354
	N	0.1922	0.1676
NO	NE	0.3007	0.1684
	S	0.4084	1.0063
SE	SO	0.4537	0.7614

Le figure seguenti riportano i grafici che si riferiscono alle differenti orientazioni per il periodo estivo:

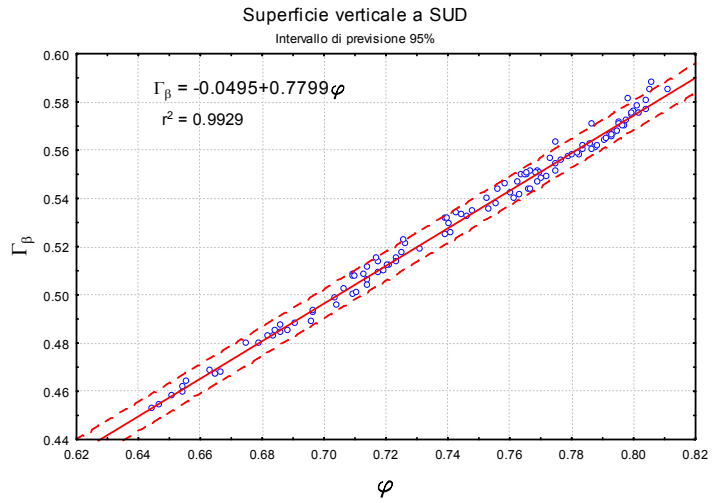
ESTATE

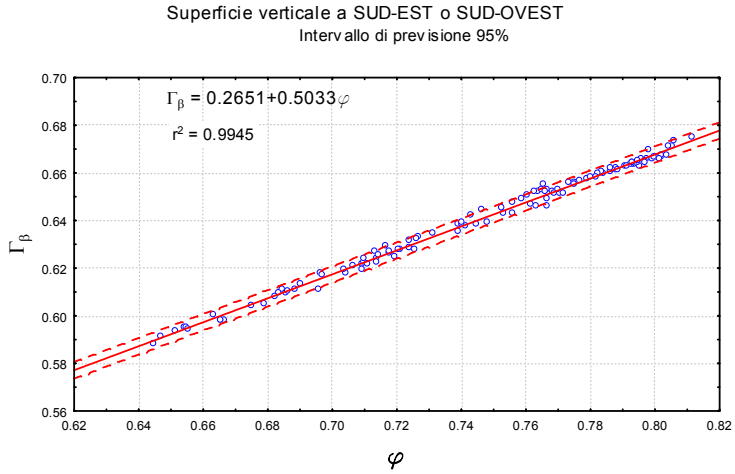






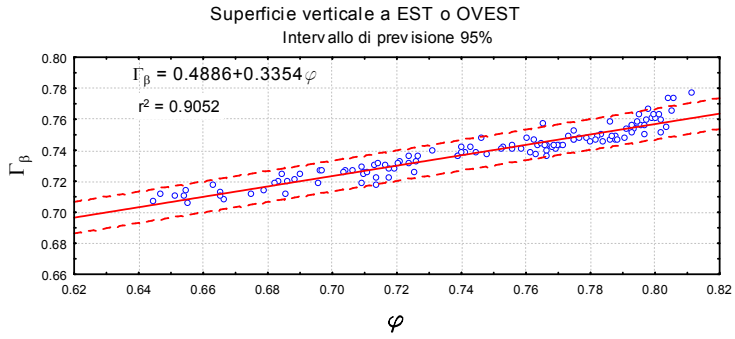
ESTATE



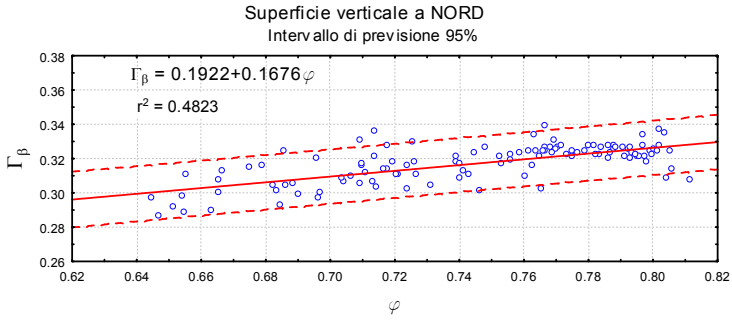


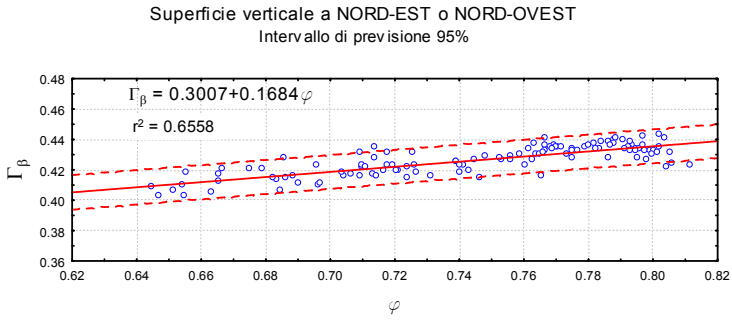
e per il periodo invernale,

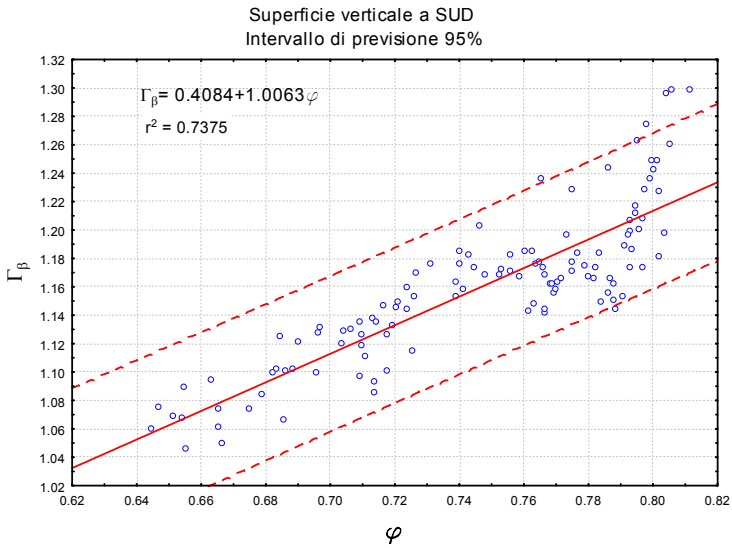
INVERNO



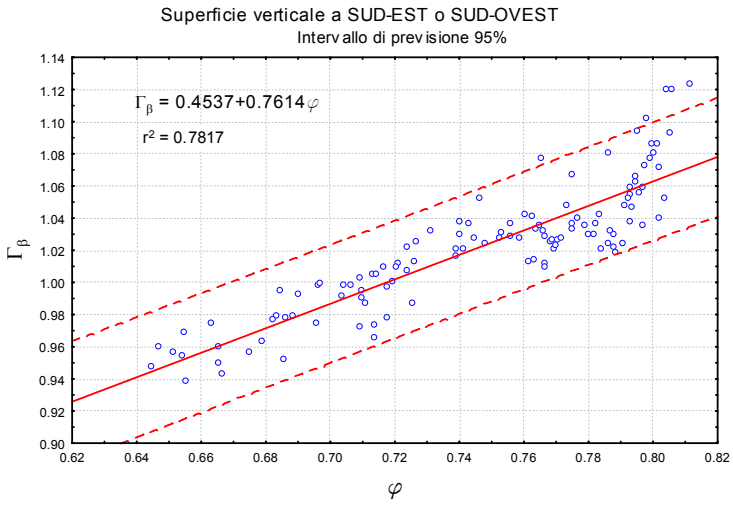
INVERNO


Superficie verticale a NORD
Intervallo di previsione 95%
Γβ = 0.1922+0.1676φ
r² = 0.4823
Γβ
φ


Superficie verticale a NORD-EST o NORD-OVEST
Intervallo di previsione 95%
Γβ = 0.3007+0.1684φ
r² = 0.6558
Γβ
φ


Superficie verticale a SUD
Intervallo di previsione 95%
Γβ= 0.4084+1.0063φ
r² = 0.7375
Γβ
φ

INVERNO



Si osserva che, nel peggiore dei casi, lo scarto massimo dalle rette di regressione, rispetto all'intervallo di previsione al 95%, è contenuto entro il $\pm$ 4%.

Ricordando ancora che:

$$\frac{\delta \overline{\Gamma}_{90°\gamma}}{\delta \overline{K}_d} = -\left(\overline{\Gamma}_{b90°,\gamma} - \overline{\Gamma}_{d90°}\right)$$

$$\frac{\delta \overline{\Gamma}_{90°\gamma}}{\delta \overline{K}_d} \cong -\left[\left[c + d\varphi\right] - \frac{1}{2}\right]$$

si può nuovamente dire che le variazioni osservate del fattore d'inclinazione rispetto alle rette di regressione sono essenzialmente dovute a valori, anche leggermente diversi, per la *frazione diffusa*, a parità di latitudine e a parità di modello per K_d, connessi con differenti combinazioni del tempo meteorologico (da cielo sereno a nuvoloso, anche se altri parametri atmosferici possono entrare in gioco) sulle varie località.

Riportiamo, nelle tabelle seguenti, il confronto, per subset **A** del set **B**, tra i dati calcolati puntualmente per $\overline{\overline{\Gamma}}_{90°,\gamma,T}$ e i corrispondenti valori derivati dalla regressione lineare per ***l'intero*** set **B**.

SUD						
	Atlante ENEA		regressione in φ			
	Γ_β		Γ_β		Delta %	
	estate	inverno	estate	inverno	estate	inverno
Agrigento	0.458	1.069	0.458	1.064	0.1	-0.5
Alessandria	0.560	1.149	0.562	1.197	0.3	4.2
Ancona	0.540	1.143	0.544	1.175	0.9	2.8
Aosta	0.581	1.274	0.573	1.212	-1.4	-4.9
Bari	0.509	1.126	0.510	1.131	0.3	0.4
Belluno	0.585	1.260	0.579	1.219	-1.1	-3.3
Campobasso	0.518	1.114	0.516	1.138	-0.3	2.1
Cuneo	0.563	1.228	0.555	1.188	-1.5	-3.3
Enna	0.464	1.046	0.462	1.068	-0.4	2.1
Foggia	0.515	1.143	0.515	1.137	0.0	-0.6
L'Aquila	0.531	1.163	0.527	1.152	-0.8	-0.9
Lecco	0.576	1.242	0.575	1.214	-0.2	-2.3
Lucca	0.550	1.177	0.547	1.178	-0.5	0.1
Milano	0.567	1.187	0.569	1.207	0.4	1.7
Modena	0.557	1.174	0.558	1.193	0.2	1.6
Napoli	0.508	1.138	0.507	1.126	-0.3	-1.0
Perugia	0.540	1.169	0.537	1.166	-0.6	-0.3
Salerno	0.507	1.118	0.504	1.123	-0.6	0.4
Sassari	0.501	1.111	0.505	1.124	0.8	1.2
Vicenza	0.568	1.217	0.571	1.208	0.4	-0.7
media	0.535	1.162	0.534	1.161	-0.2	-0.1
Max	0.585	1.274	0.579	1.219	0.9	4.2
min	0.464	1.046	0.462	1.068	-1.5	-4.9

NORD						
	Atlante ENEA		regressione in φ			
	Γ_β		Γ_β		Delta %	
	estate	inverno	estate	inverno	estate	inverno
Agrigento	0.319	0.292	0.320	0.301	0.5	3.3
Alessandria	0.350	0.327	0.353	0.324	1.0	-0.9
Ancona	0.344	0.324	0.347	0.320	1.1	-1.4
Aosta	0.364	0.318	0.357	0.326	-1.9	2.6
Bari	0.334	0.314	0.337	0.313	0.8	-0.6
Belluno	0.369	0.325	0.358	0.327	-2.8	0.8
Campobasso	0.348	0.329	0.339	0.314	-2.7	-4.6
Cuneo	0.364	0.323	0.351	0.322	-3.7	-0.2
Enna	0.332	0.310	0.321	0.302	-3.0	-2.7
Foggia	0.340	0.316	0.338	0.313	-0.5	-0.7
L'Aquila	0.346	0.321	0.342	0.316	-1.1	-1.6
Lecco	0.365	0.326	0.357	0.326	-2.2	0.2
Lucca	0.345	0.321	0.348	0.320	1.1	-0.2
Milano	0.354	0.323	0.355	0.325	0.4	0.6
Modena	0.349	0.325	0.352	0.323	0.9	-0.6
Napoli	0.329	0.307	0.336	0.312	2.0	1.6
Perugia	0.345	0.321	0.345	0.318	0.1	-0.8
Salerno	0.334	0.317	0.335	0.311	0.2	-1.7
Sassari	0.330	0.311	0.335	0.311	1.5	0.0
Vicenza	0.353	0.322	0.356	0.325	0.7	1.1
media	0.346	0.319	0.344	0.318	-0.4	-0.3
Max	0.369	0.329	0.358	0.327	2.0	3.3
min	0.329	0.307	0.321	0.302	-3.7	-4.6

NORD EST NORD OVEST						
	Atlante ENEA		regressione in φ			
	Γ_β		Γ_β		Delta %	
	estate	inverno	estate	inverno	estate	inverno
Agrigento	0.496	0.407	0.495	0.410	0.0	0.9
Alessandria	0.511	0.439	0.512	0.433	0.2	-1.4
Ancona	0.508	0.434	0.509	0.429	0.2	-1.2
Aosta	0.516	0.426	0.514	0.435	-0.4	2.1
Bari	0.502	0.423	0.504	0.422	0.3	-0.2
Belluno	0.518	0.432	0.515	0.436	-0.7	1.0
Campobasso	0.508	0.431	0.505	0.423	-0.6	-2.0
Cuneo	0.515	0.427	0.511	0.431	-0.8	0.9
Enna	0.501	0.418	0.496	0.411	-1.0	-1.8
Foggia	0.505	0.422	0.504	0.423	0.0	0.0
L'Aquila	0.507	0.426	0.506	0.425	-0.1	-0.1
Lecco	0.517	0.433	0.514	0.435	-0.6	0.6
Lucca	0.508	0.430	0.510	0.430	0.4	-0.1
Milano	0.513	0.436	0.513	0.434	0.0	-0.3
Modena	0.510	0.434	0.511	0.432	0.2	-0.6
Napoli	0.500	0.417	0.503	0.421	0.7	0.8
Perugia	0.507	0.428	0.508	0.427	0.2	-0.1
Salerno	0.502	0.423	0.503	0.420	0.2	-0.6
Sassari	0.501	0.422	0.503	0.420	0.4	-0.3
Vicenza	0.513	0.433	0.513	0.435	0.1	0.5
media	0.508	0.427	0.507	0.427	-0.1	-0.1
Max	0.518	0.439	0.515	0.436	0.7	2.1
min	0.500	0.417	0.496	0.411	-1.0	-2.0

EST OVEST						
	Atlante ENEA		regressione in φ			
	Γ_β		Γ_β		Delta %	
	estate	inverno	estate	inverno	estate	inverno
Agrigento	0.645	0.711	0.644	0.707	-0.2	-0.5
Alessandria	0.675	0.745	0.674	0.752	-0.2	0.9
Ancona	0.669	0.739	0.669	0.744	0.0	0.7
Aosta	0.677	0.766	0.678	0.756	0.1	-1.3
Bari	0.659	0.728	0.659	0.729	0.0	0.2
Belluno	0.677	0.765	0.679	0.759	0.3	-0.8
Campobasso	0.658	0.725	0.661	0.732	0.4	1.0
Cuneo	0.669	0.752	0.672	0.748	0.5	-0.5
Enna	0.644	0.706	0.645	0.709	0.1	0.4
Foggia	0.660	0.731	0.661	0.731	0.2	0.0
L'Aquila	0.663	0.736	0.664	0.737	0.2	0.1
Lecco	0.676	0.761	0.678	0.757	0.3	-0.5
Lucca	0.671	0.745	0.670	0.745	-0.2	0.1
Milano	0.677	0.753	0.677	0.755	-0.1	0.2
Modena	0.674	0.747	0.673	0.750	-0.1	0.4
Napoli	0.660	0.730	0.658	0.728	-0.2	-0.3
Perugia	0.667	0.740	0.667	0.741	0.0	0.1
Salerno	0.657	0.724	0.657	0.727	0.0	0.3
Sassari	0.658	0.725	0.658	0.727	-0.1	0.2
Vicenza	0.678	0.758	0.677	0.755	-0.2	-0.3
media	0.666	0.739	0.666	0.739	0.0	0.0
Max	0.678	0.766	0.679	0.759	0.5	1.0
min	0.644	0.706	0.645	0.709	-0.2	-1.3

SUDEST SUDOVEST						
	Atlante ENEA		regressione in φ			
	Γ_β		Γ_β		Delta %	
	estate	inverno	estate	inverno	estate	inverno
Agrigento	0.594	0.956	0.593	0.950	-0.2	-0.7
Alessandria	0.660	1.020	0.660	1.051	0.0	3.0
Ancona	0.647	1.013	0.648	1.033	0.3	2.0
Aosta	0.670	1.102	0.667	1.062	-0.4	-3.7
Bari	0.626	0.996	0.626	1.000	0.1	0.4
Belluno	0.671	1.093	0.670	1.067	-0.1	-2.4
Campobasso	0.628	0.987	0.630	1.006	0.4	1.9
Cuneo	0.656	1.067	0.655	1.044	-0.1	-2.2
Enna	0.594	0.939	0.595	0.953	0.2	1.5
Foggia	0.629	1.008	0.629	1.005	0.1	-0.3
L'Aquila	0.638	1.021	0.637	1.016	-0.2	-0.4
Lecco	0.666	1.080	0.668	1.063	0.2	-1.6
Lucca	0.653	1.035	0.650	1.036	-0.4	0.1
Milano	0.664	1.046	0.664	1.058	0.1	1.1
Modena	0.658	1.035	0.657	1.047	-0.1	1.2
Napoli	0.627	1.005	0.624	0.997	-0.4	-0.8
Perugia	0.645	1.027	0.644	1.027	-0.2	-0.1
Salerno	0.624	0.990	0.622	0.994	-0.3	0.5
Sassari	0.622	0.987	0.623	0.995	0.2	0.8
Vicenza	0.665	1.066	0.665	1.059	0.0	-0.6
media	0.642	1.024	0.641	1.023	0.0	0.0
Max	0.671	1.102	0.670	1.067	0.4	3.0
min	0.594	0.939	0.595	0.953	-0.4	-3.7

Si può in definitiva concludere che l'indipendenza osservata dei fattori d'inclinazione medi nel periodo *T* e, analogamente, dei fattori d'inclinazione giornalieri medi mensili, dalla base di dati di calcolo (UNI 10349/94 e *Atlante italiano della radiazione solare*- ENEA 2006-2011), a parità di modello per la frazione diffusa K_d , è insita nella definizione dei fattori d'inclinazione stessi, essenzialmente "*geometrica*" e che le uniche differenze sono indotte dalle piccole variazioni del valore dell'indice di serenità k_t , e quindi della frazione diffusa K_d, assunto per le varie località dalle due differenti base di dati.

È infine possibile approssimare i fattori d'inclinazione medi nei periodi T tramite una relazione lineare funzione della sola latitudine della località. *Inoltre se, fra varie località, la variazione in latitudine è limitata, per il fattore d'inclinazione medio nel periodo T della radiazione globale per un'assegnata orientazione della superficie si può assumere un valore in pratica indipendente dalla latitudine stessa.*

EFFETTI SUL CALCOLO DI $\mathscr{C}$

In accordo alla prima possibilità si potrà calcolare il componente $\mathscr{C}$ del vettore edificio con i fattori medi d'inclinazione in ***T*** funzione della latitudine della località, ottenendo valori affetti da una ancora minor dispersione rispetto al caso nel quale i fattori medi d'inclinazione si considerino invarianti con la latitudine (seconda possibilità); il vettore edificio continuerebbe ad essere indipendente dai fattori climatici ed interverrebbe, in tal caso, solo una debole dipendenza dalla località.

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] " 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 - RT/2010/18/ENEA

[3] "Definition, analysis and application of a climatic severity index aimed at zoning the italian territory for summer air conditioning of buildings" - L. Terrinoni, P. Signoretti, D. Iatauro, C. Romeo, A. Federici - International Journal of HEAT & TECHNOLOGY vol. 28 n.2/2010

[4] " Edifici del settore terziario. Seconda Applicazione dell'Indice di Severità Climatica "ALL WEATHER" - L. Terrinoni, P. Signoretti, D. Iatauro - RT/2011/12/ENEA

[5] " Indice di Severità Climatica: classificazione dei comuni italiani ai fine della climatizzazione estiva degli edifici" - L. Terrinoni, P. Signoretti, D. Iatauro - RT/2012/23/ENEA

Edito dall' ENEA
Servizio Comunicazione

Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma

www.enea.it

Stampa: Tecnografico ENEA - CR Frascati
Pervenuto il 21.1.2013
Finito di stampare nel mese di gennaio 2013