



## Ricerca di Sistema elettrico

# Integrazione dell'Indice di Severità Climatica ENEA nella nuova norma UNI10349 -3 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno ed altri indici sintetici)"

*Luciano Terrinoni, Paolo Signoretti, Domenico Iatauro*

INTEGRAZIONE DELL'INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA ENEA NELLA NUOVA NORMA UNI 10349-3  
"Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Differenze di temperature cumulate (gradi giorno ed altri  
indici sintetici) "

Luciano Terrinoni, Paolo Signoretti, Domenico Iatauro (ENEA)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso di energia elettrica

Progetto: Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

Obiettivo: Proposta revisione norma UNI10349

Responsabile del Progetto: Gaetano Fasano, ENEA



## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 L'INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA .....	6
2.1 I PARAMETRI DEL MODELLO .....	6
2.2 IL VETTORE CLIMATICO RIDOTTO .....	8
3 IMPIEGO DELL'INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA PER LA ZONIZZAZIONE CLIMATICA ESTIVA DEL TERRITORIO.....	9
4 I NUOVI DATI CLIMATICI DELLA REVISIONE DELLA NORMA UNI 10349.....	10
4.1 L'ANNO METEOROLOGICO TIPO (TRY – TEST REFERENCE YEAR). .....	10
4.2 I VALORI DI TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA, PRESSIONE DI VAPORE E IRRADIAZIONE SOLARE.....	11
5 IL CALCOLO DEL VETTORE CLIMATICO ESTIVO .....	18
5.1 LE MODALITÀ DI CALCOLO .....	18
5.2 IL CALCOLO DEL MODULO DEL VETTORE CLIMATICO ESTIVO .....	24
6 CONFRONTO .....	28
7 CONCLUSIONI.....	42
8 RINGRAZIAMENTI.....	43
9 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	43
10 APPENDICE.....	45

## Sommario

L'applicazione del Dlgs.192/05 prevede che, ai fini della certificazione energetica in edilizia, sia valutato il fabbisogno di energia primaria di un edificio, e, successivamente, sia assegnata ad esso, in funzione di tale parametro, una classe di efficienza energetica. Al momento, in Italia, 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 climatico, 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.

Nei precedenti lavori è stata proposta una prima applicazione di tale indice ed è stata verificata la validità del modello matematico utilizzato, prendendo in esame, per il calcolo del fabbisogno energetico per il raffrescamento estivo le caratteristiche climatiche (temperatura, radiazione solare e umidità) riportati nella norma UNI 10349/94; ne è conseguita la assegnazione degli 8094 comuni italiani a sette zone climatiche estive (da A a G) di indice di severità estivo e, quindi, di fabbisogno energetico crescente.

Dall'anno 2009, il CTI (Comitato Termotecnico Italiano - Energia e Ambiente), avvalendosi degli esperti del Gruppo CTI GL102/SG09 "*Revisione UNI 10349*" sta curando l'aggiornamento dei dati climatici secondo la metodologia prevista dalla norma europea UNI EN ISO 15927-4/2005 che introduce la definizione dell'anno meteorologico tipo (TRY – *Test Reference Year*).

Nel corso degli anni 2012-2013 gli autori del presente rapporto hanno partecipato ai lavori del Gruppo CTI con l'obiettivo di introdurre nella nuova UNI 10349 l'indice di severità climatica ENEA tramite un parametro puramente climatico a esso proporzionale (modulo del vettore climatico).

I lavori di aggiornamento della norma sono tuttora in corso ma si sono resi disponibili, in una forma pressoché definitiva (sono infatti, tra l'altro, ancora sotto analisi i dati per alcune località), i dati climatici, aggiornati sulla base del TRY, necessari per il calcolo del modulo del vettore climatico estivo per le 110 località previste dalla nuova UNI 10349.

Nel presente lavoro sono riportati i valori modulo del vettore climatico estivo risultati dei calcoli basati sui nuovi parametri climatici.

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

*“Absque labore nihil”*

## 1 Introduzione

La diffusione dei sistemi di condizionamento estivi, con il conseguente aumento dei consumi energetici nazionali, ha evidenziato la necessità, dopo l’emanazione del Dlgs.192/05 che prevede che, tra l’altro, la certificazione energetica degli edifici e la limitazione dei fabbisogni energetici per il riscaldamento e il raffrescamento, di definire le zone climatiche estive del territorio nazionale accanto alle già esistenti zone climatiche invernali basate sui cosiddetti *gradi-giorno*.

L’ENEA ha studiato e proposto un indicatore sintetico dell’intensità energetica per la climatizzazione degli edifici, largamente indipendente dalle caratteristiche dell’edificio e dipendente dalle caratteristiche climatiche del sito (Indice di Severità climatica). La definizione di questo indice comprende sia il caso della climatizzazione invernale che quello della climatizzazione estiva. L’attenzione è stata posta, in particolare, sull’indice estivo poiché è quello che riempie l’attuale vuoto a livello normativo e legislativo nella zonizzazione del territorio nazionale.

Nei precedenti lavori è stata proposta una prima applicazione di tale indice ed è stata verificata la validità del modello matematico utilizzato, prendendo in esame, per il calcolo del fabbisogno energetico per il raffrescamento estivo le caratteristiche climatiche (temperatura, radiazione solare e umidità) riportati nella norma UNI 10349/94; ne è conseguita la assegnazione degli 8094 comuni italiani a sette zone climatiche estive (da A a G) di indice di severità estivo e, quindi, di fabbisogno energetico crescente.

Dall’anno 2009, il CTI (Comitato Termotecnico Italiano - Energia e Ambiente), avvalendosi degli esperti del Gruppo CTI GL102/SG09 “*Revisione UNI 10349*” sta curando l’aggiornamento dei dati climatici secondo la metodologia prevista dalla norma europea UNI EN ISO 15927-4/2005 che introduce la definizione dell’anno meteorologico tipo (TRY – *Test Reference Year*).

Nel corso degli anni 2012-2013 gli autori del presente rapporto hanno partecipato ai lavori del Gruppo CTI con l’obiettivo di introdurre nella nuova UNI 10349-3 l’indice di severità climatica estivo ENEA tramite un parametro puramente climatico a esso proporzionale (modulo del vettore climatico).

I lavori di aggiornamento della norma sono tuttora in corso ma si sono resi disponibili, in una forma pressoché definitiva, anche se ancora la norma non è stata sottoposta all’inchiesta pubblica di prammatica, (sono, infatti, ancora in elaborazione i dati per un numero limitato di località), i dati climatici, aggiornati sulla base del TRY, necessari per il calcolo del modulo del vettore climatico estivo per le 110 località previste dalla nuova UNI 10349-3.

Lo scopo del presente lavoro è, quindi, quello di aggiornare i valori dell’indice di severità (in particolare quelli del modulo del vettore climatico da cui tale indice dipende) sulla base dei valori delle variabili climatiche della nuova norma, confrontarli con quelli in precedenza calcolati, e, infine, introdurre il modulo del vettore climatico estivo, per le 110 località previste, nella nuova norma UNI 10349-3 come indice sintetico del fabbisogno energetico degli edifici sul territorio nazionale.

## 2 L'Indice di Severità Climatica

### 2.1 I parametri del modello

Nei reports precedenti<sup>1</sup> [1,2,3,4], si era visto che per un qualsiasi sistema edificio-impianto esiste una funzione  $E_T$  delle variabili climatiche dell'ambiente esterno che esprime, fisicamente, l'energia necessaria per la climatizzazione dell'edificio di volume  $V$  in un intervallo di tempo  $T$ :

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

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

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

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

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

La funzione sopra definita sarà, in generale, non lineare nelle variabili indipendenti poiché tali variabili possono presentare effetti di accoppiamento che si riflettono sui valori assunti da  $E_T$ .

Sviluppando la funzione in serie di potenze di Taylor intorno a un valore qualsiasi appartenente al dominio delle variabili e arrestando lo sviluppo al primo ordine delle derivate si ha:

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

Nei lavori precedenti è stato illustrato il significato fisico dei coefficienti  $\mathcal{A}$ ,  $\tilde{\mathcal{B}}$ ,  $\mathcal{C}$ :

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

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

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

La struttura dell'espressione di  $\tilde{\mathcal{Z}}$  ha suggerito di esprimere la funzione sotto forma di prodotto scalare tra vettori.

<sup>1</sup> Ripercorriamo rapidamente il procedimento di costruzione del modello matematico, rimandando i dettagli ai lavori precedenti.

A tale scopo sono stati introdotti 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 in esame ( $\rho$  e  $r_0$  sono delle costanti), con modulo pari a:

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

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

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

L'angolo tra i due vettori è  $\omega$ , dipendente essenzialmente dai coseni direttori del vettore edificio poiché l'orientamento nello spazio ( $\Theta$ ,  $X$  e  $Y$ ) del vettore climatico è contenuto in un angolo solido di ampiezza limitata. L'introduzione di questi due vettori caratteristici ha consentito di esprimere l'energia di climatizzazione  $\mathcal{E}$  sotto la seguente forma:

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

ovvero, in termini scalari

$$\mathcal{E} = |\vec{V}_B| |\vec{V}_C| \cos \omega - |\vec{V}_B'| |\vec{V}_{C,ref}| \cos \omega'$$

assumendo, come ipotesi semplificativa,  $\cos \omega \cong \cos \omega'$  e introducendo il fattore  $k(\mu) = \frac{|\vec{V}_B'|}{|\vec{V}_B|}$  (variabile

in un campo limitato intorno a 1) si può scrivere:

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

Se si normalizza l'energia  $\mathcal{E}$ , 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 e dall'altra caratteristica dell'edificio espressa da  $\cos \omega$ , si ottiene:

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

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 ed è il candidato proposto per rappresentare l'*Indice di Severità Climatica pratico* utile per la classificazione delle zone climatiche estive su un territorio.

Il fattore  $C$ , nel modello proposto, dipende linearmente dal modulo del vettore climatico  $|\vec{V}_C|$ , funzione delle sole variabili climatiche cumulate, a meno di un termine praticamente costante dipendente debolmente dall'edificio tramite il fattore  $k(\mu)$ .

Il modulo del vettore climatico,  $|\vec{V}_C|$ , può essere quindi utilizzato per una suddivisione del territorio nazionale in fasce climatiche estive (zonizzazione) che rispecchino il fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva poiché, secondo quanto esposto, è univocamente legato all'*Indice di Severità climatica C* che ne costituisce l'*immagine energetica*.

## 2.2 Il vettore climatico ridotto<sup>2</sup>

Per vettore climatico ridotto 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 (valor medio nel periodo  $T$ ), 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.

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

Dove

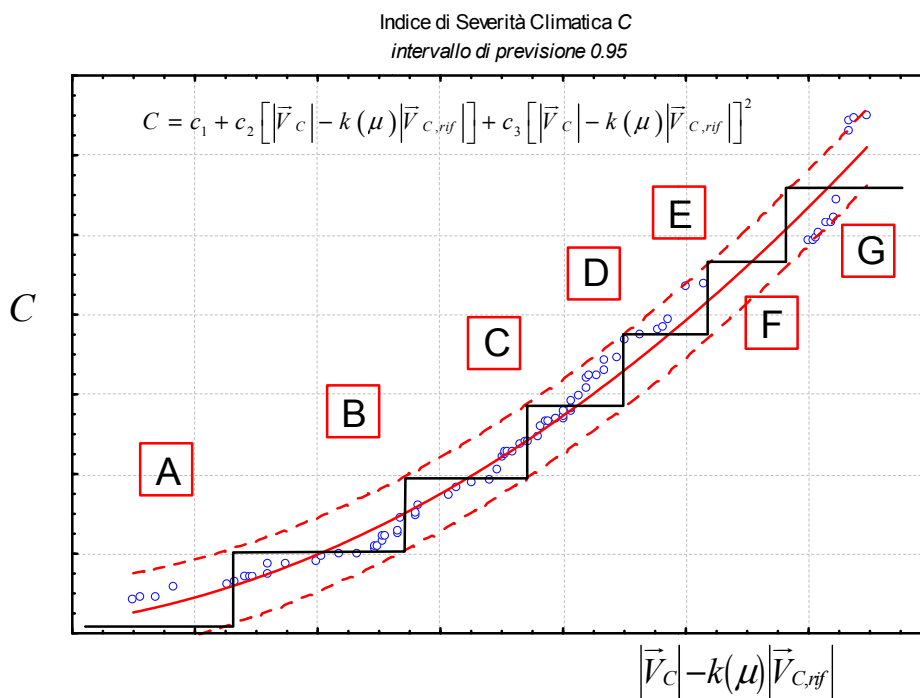
$$\begin{aligned} \dot{\Theta}_e &= \frac{\frac{1}{T} \int \vartheta_e dt}{\Theta_*} = \frac{\Theta_e}{\Theta_*} \quad \text{con} \quad \Theta_* = \frac{1}{n} \sum_n \frac{1}{T} \int \vartheta_e dt \\ \dot{X}_e &= \frac{\frac{1}{T} \int x_e dt}{X_*} = \frac{X_e}{X_*} \quad \text{con} \quad X_* = \frac{1}{n}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

<sup>2</sup> Idem nota 1



### 3 Impiego dell'Indice di Severità Climatica per la zonizzazione climatica estiva del territorio.

Il grafico di esempio seguente rappresenta i risultati ottenuti dal calcolo dinamico del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva di un edificio residenziale di riferimento al variare della località, del grado d'isolamento dell'involucro edilizio e dell'orientamento spaziale in venti località campione considerate, insieme con la zonizzazione climatica proposta:



*L'ottima correlazione tra **C**, energia di climatizzazione normalizzata con le caratteristiche globali dell'edificio, con il modulo del vettore climatico, conferma, in definitiva, che **il vettore climatico può essere utilizzato come parametro utile a effettuare una zonizzazione del territorio in fasce climatiche, ai fini della climatizzazione estiva.***

Le classi, individuate in accordo al criterio dell'intervallo di previsione al 95% ( $\pm 2\sigma$ ), sono sette, contraddistinte dalle lettere da A a G in ordine crescente di severità climatica estiva, cioè di fabbisogno di energia per la climatizzazione.

## 4 I nuovi dati climatici della revisione della norma UNI 10349

I dati necessari per il calcolo del modulo del vettore climatico, per ciascuna località, sono:

- le temperature giornaliere medie mensili
- le pressioni di vapore giornaliere medie mensili
- le irradiazioni giornaliere medie mensili

per tutti i mesi dell'anno compresi nel periodo di calcolo scelto (stagione di raffrescamento convenzionale) per la definizione del modulo del vettore climatico estivo.

Nella norma UNI 10349/94 tali dati erano ricavati, per ognuna delle 101 località di riferimento, come medie dei dati poliennali disponibili da stazioni meteorologiche selezionate e ritenute affidabili.

### 4.1 L'anno meteorologico tipo (TRY – Test Reference Year).

L'anno meteorologico tipo è una collezione di 8760 dati orari della grandezza meteo-climatica d'interesse (temperatura dell'aria, radiazione solare ecc.) rappresentativa dell'andamento annuale di tale grandezza nel lungo periodo (possibilmente almeno decennale) per un'assegnata località. Dai dati orari si possono, manifestamente, ottenere anche i valori giornalieri medi mensili.

I dati orari servono da input nelle simulazioni per la progettazione degli impianti (solari, fotovoltaici ecc.), per la stima dei fabbisogni energetici degli edifici, per lo studio del comportamento dell'ambiente sottoposto a sollecitazioni antropiche (diffusione d'inquinanti ecc.) e/o naturali.

Per costruire un anno tipo da una serie pluriennale di dati orari completa<sup>3</sup> si sceglie, per ciascuno dei dodici mesi dell'anno, l'intero mese di dati di quell'anno (fra i presenti nella serie) che più si avvicina alla media pluriennale. Il "grado di vicinanza" è stabilito in conformità a opportuni criteri statistici. L'anno tipico sarà infine costituito giustapponendo in sequenza i dati dei dodici mesi così scelti. In tal modo:

- mese per mese il valor medio della grandezza in studio sarà prossimo a quello della serie pluriennale di partenza (caratterizzazione climatologica del sito);
- le sequenze orarie e giornaliere presenti nell'anno tipico riprodurranno in modo sufficientemente realistico gli andamenti effettivamente riscontrabili nei dati registrati (caratterizzazione meteorologica del sito)

Particolare attenzione occorre prestare al problema del raccordo fra i valori dei giorni finale e iniziale di due mesi consecutivi. Poiché di norma i mesi sono estratti da anni differenti, tali valori potrebbero presentare sbalzi improvvisi che nella realtà sono molto improbabili. E' il caso della temperatura che normalmente non presenta variazioni pronunciate da un'ora all'altra mentre, se si accostano due giorni stagionalmente consecutivi (un 31 marzo seguito dal 1° aprile) ma appartenenti ad anni differenti, potrebbero ben presentarsi salti di 5 °C o più, che occorre pertanto "appianare" ricorrendo a tecniche di interpolazione. Questo problema non si presenta per la radiazione solare, la quale è sempre nulla durante le ore notturne, ossia proprio quelle ore che sono coinvolte nelle transizioni fra mesi consecutivi.

A seconda delle finalità per le quali è costruito, un anno tipico può differire da un altro sia per il metodo statistico adottato per stabilire il criterio di vicinanza di un mese alla media, sia per la scelta delle grandezze meteo-climatiche che vi dovranno far parte.

---

<sup>3</sup> Un serie completa dev'essere preventivamente ripulita dai valori errati (validazione) e le ore che risultano assenti nella sequenza (perché il dato non è stato acquisito o perché è stato rimosso a seguito della validazione) devono essere reintegrate con valori opportunamente interpolati.

Riguardo al primo aspetto, numerose metodologie sono state studiate, messe a punto e codificate da enti di normazione nazionali, organizzazioni professionali e infine istituti di ricerca (ad esempio, quella che fa uso della statistica di Finkelstein-Schafer). Riguardo al secondo aspetto, un anno tipico può prendere in considerazione più di una grandezza meteo-climatica. Ad esempio, per un AMT da utilizzare precipuamente per la stima del consumo energetico per il condizionamento degli edifici, sono essenziali i dati simultanei di temperatura, umidità e radiazione solare come grandezze primarie, mentre la velocità del vento funge da parametro secondario.

Quando intervengono più grandezze, l'anno tipico sarà costituito non più solo da 8760 dati orari, bensì da 8760 vettori di più elementi, tanti quante sono le grandezze coinvolte: ovviamente l'algoritmo di costruzione si complica sotto l'aspetto della determinazione dei "pesi" relativi da attribuire a ciascuna grandezza nella composizione dell'anno tipo.

L'anno tipo della nuova norma UNI 10349 è stato calibrato per essere utilizzato nel calcolo, anche dinamico) del fabbisogno energetico per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici e il procedimento di costruzione è quello previsto dalla norma europea UNI EN ISO 15927-4/2005 "Prestazione termoigrometrica degli edifici. Calcolo e presentazione dei dati climatici Parte 4: Dati orari per la valutazione del fabbisogno annuale di energia per il riscaldamento e il raffrescamento".

#### 4.2 I valori di temperatura dell'aria esterna, pressione di vapore e irradiazione solare

Il vettore climatico, in base a quanto precedentemente descritto, è calcolabile a partire dai dati climatici caratteristici della località in esame.

I dati di partenza, utilizzati per il calcolo del vettore climatico estivo, sono stati resi disponibili agli autori del presente rapporto, nell'ambito della loro partecipazione ai lavori del Gruppo CTI, che sta curando la stesura della nuova norma UNI 10349.

Il **nuovo database climatico**, ancora in fase di revisione definitiva, fornisce, tra l'altro, le medie giornaliere mensili relative a:

- Temperatura esterna dell'aria (°C)
- Pressione di vapore (Pa)
- Irradiazione Solare (MJ/m<sup>2</sup>)

Le tabelle, riportate di seguito, riportano i valori delle varie grandezze utilizzate relativamente al **periodo di interesse: Aprile-Ottobre**

**Tabella 1 - Nuovo database climatico: medie giornaliere mensili della temperatura esterna dell'aria [°C]**

Regione	Provincia	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott
PIE	AL	11,8	18,3	20,2	22,7	22,3	17,5	12,7
PIE	AT	13,3	18,6	22	26,1	22,9	18,4	13,9
PIE	BI	11,1	17	20,8	21,1	20,5	13,1	11,1
PIE	CN	11,1	16,3	22,5	22,1	20	18,2	12,3
PIE	NO	10	17,6	20,3	22	21,1	16,9	11,5
PIE	TO	12,9	16,9	22,2	24,3	22,2	18,3	13,2
PIE	VB	12,6	17,1	20,1	23,6	21,6	19,2	13,9
PIE	VC	13,2	18,5	21,9	23,8	22,9	19,1	12,7
VDA	AO	12,2	14,7	20,7	20,4	19,8	17,3	12,3
LOM	BG	11,6	16,8	20,5	22,2	22,2	18,1	12,3
LOM	BS	10,8	16,6	20,1	21,9	20,5	16,1	14,8
LOM	CO	13,1	19,2	21,6	24,3	22,8	18,3	14,4
LOM	CR	10,7	18	22,1	21,3	23,3	16	13,2
LOM	LC	15,6	18,5	25	25,2	23,9	22,1	18,7

Regione	Provincia	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott
LOM	LO	12,5	18,3	21,9	23,5	21,9	17,9	12,9
LOM	MB	13	15,6	21,6	23,9	21,3	20,1	12,5
LOM	MI	13,6	17,6	23,8	23,6	23,4	20,6	14,6
LOM	MN	12,7	18	21,4	23,9	21,2	18,3	13,1
LOM	PV	12,3	18,5	22,1	23	23,2	18,5	12,7
LOM	SO	10,5	17	20,2	22,1	20	18,9	11,5
LOM	VA	10,1	17	19	20,6	21,5	17,1	11,9
TAA	BZ	10,4	17,1	19,5	24,8	20,2	13,3	12,3
TAA	TN	11,9	12,5	19,1	21	21,8	17,5	10,6
VEN	BL	8,6	14,6	18,8	20,1	20,3	14,8	10,3
VEN	PD	12,5	18,8	21,5	23,8	22,8	18,1	13,9
VEN	RO	13,1	19,6	20,6	23,8	22,6	18	14,4
VEN	TV	13,2	19,1	22,2	23,4	23,6	19,9	13,4
VEN	VE	13,4	19,7	21,3	23,5	23,7	18,6	14,3
VEN	VI	12,1	18,4	20,8	22,6	24,4	20,9	14,8
VEN	VR	12,5	17,6	23,7	24,3	24	18,1	13,4
FVG	GO	12,5	18,1	20,4	23	22,6	18,8	12,7
FVG	PN	13	17,9	20,6	23,6	22,5	16,3	14,2
FVG	TS	14,2	19	22,3	24,9	21,8	20,3	16,7
FVG	UD	12,9	18,3	21,3	22,5	21,4	15,4	14,1
LIG	GE	13,9	18,8	21,2	23,9	23,4	22,1	19,3
LIG	IM	12,7	19,4	21,1	25,3	27,2	20,1	16,1
LIG	SP	13,2	18,2	20,5	22,5	21,7	19,5	15
LIG	SV	15,6	19,8	21,6	27,5	23,3	21,3	16
EMR	BO	14,5	18,4	22,7	25,4	24,1	21,4	16,6
EMR	FC	13,9	18,7	22,5	25,4	21,8	19,7	16,7
EMR	FE	14,1	19,2	23,3	25,4	23,9	19,5	16,3
EMR	MO	13,3	18,4	22,5	25,3	22,3	20,4	16
EMR	PC	14	18,8	23,2	25,1	23,4	21,2	15,7
EMR	PR	13,2	19,3	23,2	27,6	24,4	21,7	16
EMR	RA	13,7	18,8	22,8	25,4	22,1	19,6	16,8
EMR	RE	14,3	19,7	22,9	25,6	24,1	21,4	14,1
EMR	RN	13,6	18,1	22,7	24,5	22,2	20,3	16,9
TOS	AR	13,7	15,8	19	18,3	22,2	16,5	13,1
TOS	FI	13,1	19,8	23,3	25,9	23,4	22,1	18
TOS	GR	14,3	18,6	20,7	25,1	23,5	21	17,4
TOS	LI	11,3	17,2	22,2	23,4	23	19,7	18,6
TOS	LU	12,9	17,5	20,7	24,8	22,9	19	17
TOS	MS	14,5	18,7	19,9	22,7	24,9	20,4	17,9
TOS	PI	12,6	17,6	19,3	21,7	23,3	19,2	18,3
TOS	PO	13,6	18,8	21,7	24,4	22,7	19,8	16,5
TOS	PT	12,5	18,2	21,4	23,9	22,4	19,3	15,6
TOS	SI	10,7	15,3	17,4	20,1	16,6	17,2	12,8
UMB	PG	11,3	16,7	19,5	23,5	23,6	17,2	14,6
UMB	TR	13,2	17,5	21,6	23,6	23,8	18	14,2
MAR	AN	14,4	19,3	22,7	26,2	25,1	21	16,6
MAR	AP	13	18,4	20,8	23,5	22,9	19,3	13,5
MAR	FM	11,1	13,1	18,5	21,6	21,8	17,9	15,2
MAR	MC	12,4	17,5	21	25,2	23,5	18,2	13,9
MAR	PU	11,7	18,2	21,8	23	22,2	17,7	14,9
LAZ	FR	13,7	18,4	21,1	24,5	22,3	18,3	14
LAZ	LT	15,3	19	22,2	25,4	25	22,5	16,5
LAZ	RI	11,2	15,9	20	22,6	21,9	18,1	13,8
LAZ	RM	14,6	20,2	22,5	25,5	25,9	22,1	15,5
LAZ	VT	9,2	14,1	20,5	26,4	23,2	19,9	17

Regione	Provincia	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott
ABR	AQ	10,8	17,9	20,7	22,1	22,1	16,3	15
ABR	CH	12,6	17,4	21,1	24,9	21,3	19,3	16,8
ABR	PE	13,4	19,6	21,8	25,6	24,2	19,7	14,9
ABR	TE	13,8	17,6	22,1	25	24,6	19,6	16,4
MOL	CB	8,8	14,6	18	21,2	20,7	16,5	12,7
MOL	IS	10,5	16,4	19	21,7	22,1	17,7	12,6
CAM	AV	12,9	18,3	21,3	23,7	24,2	19	13,2
CAM	BN	14,5	18,6	21,6	24,4	22,7	20	15,4
CAM	CE	15	18,4	21,8	24,7	25,3	21,4	18,2
CAM	NA	15,6	20,1	22,9	25,4	25,8	23	17,1
CAM	SA	16	18,8	22,1	24,7	23,5	22,9	19,2
PUG	BA	14,8	20,5	24,5	27,8	26	23,5	18,4
PUG	BR	13,8	18	22,4	24,6	26,2	21	18,1
PUG	BT	13,9	19,5	22,8	26	25,4	20,6	17,8
PUG	FG	14,1	16,1	22,3	25,7	27,2	20,9	16,8
PUG	LE	14	19,4	22,2	24,2	23,3	20,5	16,6
PUG	TA	15,3	20,6	24,5	27,6	29,3	22,9	19,3
BAS	MT	14,8	20,6	23,5	26,4	26,4	21,6	17,4
BAS	PZ	11	15,1	20,4	22,5	22,8	17,8	14,4
CAL	CS	13,4	14,8	21,1	24,2	23,9	19,8	14,9
CAL	CZ	13,1	18,8	21,9	24,6	26	20,7	18,3
CAL	KR	15,2	19,8	24,5	26,3	27,3	22,9	20
CAL	RC	15,3	20,3	22,9	26,6	26,7	23,2	19,8
CAL	VV	11,8	17,9	21	23,4	22,3	19,6	17,8
SIC	AG	13,3	17,8	23,9	23,7	26,1	21,6	18,6
SIC	CL	11,8	17,3	20,6	25,4	25,3	20,2	17,7
SIC	CT	15,1	19,5	22,8	26,2	26,4	23,5	20,7
SIC	EN	8,6	15,6	22,1	23,5	22	17,3	14
SIC	ME	15,4	19,1	23,6	26,4	26,2	23,5	19,6
SIC	PA	16,7	20,8	24	27,1	27,2	23,6	19,4
SIC	RG	12,4	17,5	21,3	24,4	25,2	20,3	18,5
SIC	SR	14	19,8	24,7	26,3	27	22,8	18,8
SIC	TP	15,5	20,7	23,7	27,2	26,4	23,4	21,6
SAR	CA	13,9	19,1	22,2	24,7	24,6	19,4	17,5
SAR	CI	13,1	18,3	21,5	23,6	25,7	21,5	16,5
SAR	NU	10,4	15,2	20,1	22,7	21,7	18,4	17,4
SAR	OG	13,2	17,5	21,2	23,8	23,6	20,2	16,5
SAR	OR	11,3	17,4	21,3	22,1	22,9	18,5	15
SAR	OT	12,3	18,4	22,3	23,1	23,9	19,5	16
SAR	SS	12,3	17,5	20,9	23,1	23,2	21,9	18
SAR	VS	12,7	15,6	20,1	23,4	24,1	20,6	16,6

**Tabella 2 - Nuovo database climatico: medie giornaliere mensili della pressione di vapore [Pa]**

Regione	Provincia	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott
PIE	AL	1008,5	1432,2	1581,8	1834	1804,9	1597,6	1321,7
PIE	AT	967,2	1437,9	1393,3	1873	1984,4	1732,8	1327,3
PIE	BI	909,7	1240,9	1722,4	1757,6	1829,2	1178,7	1062,2
PIE	CN	891	1114,5	1793,6	1599,7	1621,2	1553,5	1163,4
PIE	NO	856,6	1392,7	1675,2	2071,1	1841	1387,7	1284,7
PIE	TO	892,1	1169,7	1487,7	1964	1678,4	1431,2	1287,5
PIE	VB	894,4	1244,4	1490	1879,8	1666,5	1452,9	1168,5
PIE	VC	1095,5	1478	1842,5	2010,8	2116,5	1753,1	1348,9

Regione	Provincia	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott
VDA	AO	685,3	999,8	1413,3	1360,9	1518,4	1332,3	1141,5
LOM	BG	1068,4	1394,2	1702,1	1878,5	1946,9	1755,9	1265,8
LOM	BS	962,5	1335,3	1826	1862,9	1839,2	1349,7	1493
LOM	CO	1201,9	1167,9	1905,8	1644,7	1743,8	1477,5	1388,3
LOM	CR	925,8	1305,3	1522	1860,7	2106,2	1288,8	1388,2
LOM	LC	1147,1	1358,8	1701,5	2206,8	1835,4	1693,4	1852
LOM	LO	857,3	1465,8	1943,8	1736,6	1844	1382,2	1228,8
LOM	MB	928,2	1087,7	1518,6	1537,7	1435,3	1438,7	1090,4
LOM	MI	1137,7	1406,3	1813,8	1867,1	1981,2	1530,1	1330,7
LOM	MN	1103,5	1691,6	1860,9	2035,8	1756,1	1137,7	1436
LOM	PV	1234,6	1428,9	1959,4	2222,9	2145	1731,4	1289,8
LOM	SO	780,9	1251,8	1546	1556,3	1531,7	1623,1	1063,2
LOM	VA	752,3	1603,1	1777,3	1704,2	2088,3	912,8	1203,7
TAA	BZ	699,5	1011,3	1445,8	1597,1	1289,4	916	976
TAA	TN	884,4	1041,1	1305,1	1421	1519,7	1212,5	983,1
VEN	BL	951	1216,9	1783,8	1720,1	1832,1	1459,6	1040
VEN	PD	1144,4	1619,3	1805,4	1988,4	1916,2	1599,1	1421,6
VEN	RO	1157,5	1556,7	2045,3	2011,3	1874,2	1578,1	1515,9
VEN	TV	1065,2	1509,1	1891,2	2055,7	2070	1710,2	1292,5
VEN	VE	1173,8	1789,3	1910,3	2313,2	2215,6	1632,9	1363,7
VEN	VI	1098,2	1334,8	1880,4	1700	1990	1656,8	1322,4
VEN	VR	1048,2	1361,5	1942	2085,2	1923,2	1510,6	1310,7
FVG	GO	1002,9	1394,7	1641,3	1960,5	1848,8	1583,3	1143,7
FVG	PN	1095,7	1570,4	1646,6	2038,5	2047,4	1424,4	1357,7
FVG	TS	1101,9	1458,4	1658,5	1960,3	1607,2	1484,2	1160,1
FVG	UD	1075,4	1398,1	1800,3	1797	1751,8	1397,6	1306,6
LIG	GE	1070,8	1375,8	1841,1	1800	1864,6	1703,9	1507,6
LIG	IM	1123,1	1476,1	1871,7	2104,6	2186	1513,1	1559
LIG	SP	1167,7	1450,7	1962,1	2052,4	1925,6	1627,7	1306,6
LIG	SV	1288,6	1615,2	1961	2226,5	1900,8	1650,3	1147,8
EMR	BO	1038,4	1252,6	1595,2	1654,7	1441,1	1546,5	1426,6
EMR	FC	1038,6	1248,4	1474,6	1571,4	1660,5	1598,1	1296,4
EMR	FE	1060,9	1337,5	1604,2	1661,4	1584,1	1335,3	1511,3
EMR	MO	911,4	1271,8	1514	1631,3	1622,2	1557,1	1448
EMR	PC	992,2	1206,7	1285,7	1681,2	1559	1563,6	1348,5
EMR	PR	947	1194,9	1594	1625,2	1501,5	1592,5	1457,5
EMR	RA	1114	1326,4	1606,6	1703,7	1694,6	1372,2	1364
EMR	RE	1036,3	1249,2	1512,8	1635,2	1515,2	1633,7	1345,3
EMR	RN	860,5	1448,5	1629,7	1864,1	1763,9	1673,7	1372,9
TOS	AR	1099,9	1248,7	1647,8	1341,9	1644,7	1454	1331,2
TOS	FI	915,7	1264,4	1753	1373,9	1574	1469,6	1543,5
TOS	GR	1401,5	1464,6	1616,4	2188,7	2103,6	1693,4	1583
TOS	LI	1169,3	1510,8	1942,9	1837,4	2003,5	1656,6	1890
TOS	LU	1389,6	1516,9	1733,9	2222,3	2089,4	1670,2	1683,7
TOS	MS	1133,7	1389,4	1805,5	1841,4	2120,7	1714,1	1664
TOS	PI	1284,2	1583	1816,5	1914,5	2092	1827,5	1826,6
TOS	PO	1255	1329,1	1756,5	1536	1641	1606,5	1477,1
TOS	PT	1125,6	1454,5	1738	1655	1720	1813,8	1564,5
TOS	SI	1144	1276,8	1268,1	1446,1	1322,4	1583,5	1297,2
UMB	PG	879,9	1127,5	1369	1444,7	1323,8	1145,2	1164,4
UMB	TR	1022,1	1309,8	1686,2	1668,6	1582,1	1297,1	1232,5
MAR	AN	1045,7	1275	1564,2	1793,7	1875,2	1593,2	1269,3
MAR	AP	1031	1303,8	1564,4	1624,9	1754,9	1543,2	1206,7
MAR	FM	671,5	1110,8	1551,5	1683	1742,8	1476,2	1434,9
MAR	MC	981,6	1349,4	1547,2	1653,2	1702	1421,5	1165,6
MAR	PU	954,8	1251,5	1581,8	1556,4	1674,3	1429,6	1320,2

Regione	Provincia	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott
LAZ	FR	825,1	1283,5	1334,7	1066,8	1083,4	765,8	962,1
LAZ	LT	1177,4	1393,6	1791	1744,4	2061,9	1669,5	1371,3
LAZ	RI	931	1301,7	1537,4	1615,6	1466	1446	1211,1
LAZ	RM	1176,8	1351	1623,5	1774,3	1721,1	1707,6	1312,3
LAZ	VT	699,9	997,7	1258,9	1436,1	1478,9	1232,2	1513,4
ABR	AQ	930,5	1214,1	1389,5	1338,1	1602,1	1312,9	1227,1
ABR	CH	1018,6	1359,4	1684	1772,5	1850,4	1790,1	1331,9
ABR	PE	1231,6	1658,7	1986,5	2025,1	2360,1	1610,2	1370,3
ABR	TE	1164	1480,4	1830,9	1972,6	2093,8	1728,4	1613,2
MOL	CB	813,9	1172,1	1382,2	1350,8	1484,6	1387,8	1107,7
MOL	IS	1005,9	1283,5	1475,2	1544,9	1534,8	1479,9	1216,2
CAM	AV	1282,4	1389,7	1563	1870,8	1885,5	1580	1357,4
CAM	BN	1252,9	1636,3	1881	2181,1	1994,6	1616,4	1488,8
CAM	CE	1266,5	1470,4	1884,5	1992,3	1964,3	1808,7	1546,9
CAM	NA	1318,6	1734,9	2006,1	2294,6	2226,6	1927,3	1470
CAM	SA	1425,2	1635,5	2069,6	2226,3	2177,3	1836,1	1622,4
PUG	BA	1243,6	1461	1677	1901,7	1895,9	1912,1	1554,4
PUG	BR	1377,8	1634,9	1780,2	2194,8	2476,8	1837,9	1672,4
PUG	BT	1356,4	1670,3	2029,9	2337,4	2142,8	1988,8	1728,3
PUG	FG	1329,9	1381,3	1833,9	1915,2	2296,9	1957,1	1332,4
PUG	LE	1328,7	1670,2	1996,9	2107,7	2087,8	1831,7	1598,8
PUG	TA	1219,8	1571,1	1852,5	1945,2	2233,6	1958,8	1834,2
BAS	MT	1106,8	1753,3	1687,7	1733,2	1568,2	1733,3	1616,7
BAS	PZ	910,3	1189,9	1340,1	1444,2	1257,8	1307,4	1254,7
CAL	CS	1190,6	1048,6	1580,8	1440	1493	1741,8	1325
CAL	CZ	1162	1431,5	1734,4	1948	2289,5	1904,4	1746,4
CAL	KR	1309,1	1628,8	2033,9	2306,2	2511,7	2199,2	1817,5
CAL	RC	1269,2	1571,5	1680,2	1615,6	1801,5	1573,4	1467,6
CAL	VV	1067,9	1447,1	1884,3	2051,9	2073,4	1893,1	1642
SIC	AG	1105	1314,9	1967,1	1638,4	2346,4	1795,4	1510,5
SIC	CL	1009,2	930,3	1131,6	1282,9	1324,4	1463,2	1465,1
SIC	CT	1293,2	1511,7	1703,5	2033,9	2070,4	1813,9	1876
SIC	EN	780	980,9	1094,5	1196,9	1114,6	1247	1086,2
SIC	ME	1393,2	1541,5	2013,2	1924,4	2268,3	2065,5	1501,8
SIC	PA	1219,9	1590,5	1598,3	1883,1	2055,2	1873,2	1606
SIC	RG	1109,1	1304,6	1283	1676,1	1618,6	1770,9	1461,1
SIC	SR	1174,7	1408,3	1626,2	1896,1	1903,1	1850,7	1704,6
SIC	TP	1370	1442,2	1700,5	1798,4	1789,1	2144	2163,4
SAR	CA	1211,6	1545,8	1631,7	1813,1	1872,3	1616,4	1582,8
SAR	CI	1035	1381,4	1297	1489,2	1443,8	1490,5	1426,4
SAR	NU	857,3	1001,1	1402,4	1350,8	1469,6	1466,2	1545,6
SAR	OG	984,5	1264,5	1373,6	1644,3	1628,9	1618,5	1322,7
SAR	OR	973,9	1357,7	1235,6	1353,6	1616,2	1437,5	1314,6
SAR	OT	1040,4	1445,8	1313,6	1438,6	1717,1	1530,1	1401,6
SAR	SS	923	1072,4	1414,7	1419,2	1597	1666,8	1392,3
SAR	VS	1119,4	1308,5	1332,5	1634,2	1849,4	1628,6	1481,7

**Tabella 3 - Nuovo database climatico: medie giornaliere mensili della irradiazione solare globale sul piano orizzontale [MJ/m<sup>2</sup>]**

Regione	Provincia	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott
PIE	AL	15,50	21,10	23,00	23,20	19,40	15,50	7,70
PIE	AT	17,60	21,50	25,10	25,30	21,30	13,10	8,60
PIE	BI	15,00	19,90	21,80	23,50	20,10	13,50	7,10
PIE	CN	17,30	20,00	22,80	22,50	18,50	13,40	8,80

Regione	Provincia	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott
PIE	NO	16,80	19,90	22,70	22,10	18,50	14,60	7,70
PIE	TO	11,30	15,20	19,70	18,00	15,80	11,30	6,80
PIE	VB	15,70	19,40	21,50	22,20	18,10	14,50	10,10
PIE	VC	16,80	19,90	21,80	23,50	20,10	13,90	7,10
VDA	AO	16,20	15,00	18,80	18,00	15,00	10,20	5,80
LOM	BG	14,70	17,90	19,00	20,70	18,80	12,10	8,70
LOM	BS	15,00	19,70	21,40	24,10	18,30	14,00	6,50
LOM	CO	10,90	20,10	18,80	19,40	16,90	12,30	6,70
LOM	CR	13,40	18,40	22,80	20,50	21,50	14,20	6,80
LOM	LC	12,70	16,00	18,50	16,90	16,00	12,40	7,70
LOM	LO	14,10	18,80	21,30	23,00	18,70	15,70	7,90
LOM	MB	12,80	15,90	19,10	18,00	14,10	11,80	6,90
LOM	MI	12,80	17,90	21,60	21,70	17,00	15,20	8,00
LOM	MN	16,50	19,70	21,80	23,60	19,30	15,60	6,00
LOM	PV	14,30	17,80	20,80	21,60	19,90	13,00	7,00
LOM	SO	13,20	19,00	19,90	20,10	16,10	13,30	10,10
LOM	VA	13,10	13,20	13,70	15,90	12,90	12,70	6,70
TAA	BZ	15,20	20,50	20,20	24,10	19,50	14,30	9,40
TAA	TN	14,40	12,50	16,00	19,60	15,90	12,60	7,90
VEN	BL	11,40	17,60	18,80	18,30	18,10	12,90	8,80
VEN	PD	14,10	18,00	22,60	22,20	18,10	13,30	7,40
VEN	RO	16,70	20,60	19,00	23,20	17,10	13,50	6,10
VEN	TV	14,80	19,10	19,00	21,60	19,80	14,50	7,30
VEN	VE	16,10	22,40	23,70	22,50	20,60	16,30	9,40
VEN	VI	12,40	20,30	17,40	21,10	19,80	15,30	8,40
VEN	VR	15,40	22,00	23,40	25,60	21,00	14,20	8,30
FVG	GO	15,50	19,50	23,20	21,90	18,60	14,40	9,40
FVG	PN	13,60	16,80	22,50	22,60	20,50	12,60	6,70
FVG	TS	12,70	20,70	21,00	23,40	16,10	13,10	9,20
FVG	UD	13,30	20,30	20,00	22,20	17,80	11,60	7,90
LIG	GE	13,10	16,00	19,40	27,00	18,10	13,40	8,30
LIG	IM	13,30	19,60	21,70	22,80	18,90	12,50	7,10
LIG	SP	15,30	19,50	21,70	24,30	20,80	15,40	9,80
LIG	SV	17,30	19,00	20,30	27,40	17,70	14,40	12,10
EMR	BO	15,90	18,90	20,50	22,90	18,70	15,00	7,70
EMR	FC	16,80	22,60	25,40	25,30	18,30	13,60	11,30
EMR	FE	16,50	23,50	25,10	25,40	20,10	15,00	7,90
EMR	MO	16,20	19,90	23,20	23,30	18,10	14,30	7,30
EMR	PC	15,90	21,80	25,60	24,20	19,30	15,50	9,10
EMR	PR	16,40	21,90	21,90	25,40	20,00	15,90	7,40
EMR	RA	17,70	23,80	25,40	25,70	19,10	14,50	11,70
EMR	RE	15,50	21,60	23,10	22,60	18,70	14,60	6,80
EMR	RN	17,20	22,00	25,20	23,20	18,90	14,50	10,10
TOS	AR	9,00	19,50	22,50	23,00	21,70	14,30	8,00
TOS	FI	17,90	21,90	22,10	26,70	19,50	17,20	8,40
TOS	GR	8,50	22,80	23,10	25,80	19,40	16,90	9,70
TOS	LI	13,20	20,00	25,70	25,10	21,20	17,30	8,70
TOS	LU	13,90	19,20	19,90	20,80	21,00	15,50	7,60
TOS	MS	15,20	15,70	19,60	20,60	19,40	17,80	7,60
TOS	PI	13,50	22,00	19,10	22,30	19,00	14,60	7,60
TOS	PO	13,70	23,40	21,90	26,70	20,30	16,60	9,40
TOS	PT	15,00	16,20	29,00	24,30	23,30	10,20	10,40
TOS	SI	10,60	20,10	13,60	19,80	11,00	10,90	9,20
UMB	PG	18,30	21,50	23,80	25,20	23,70	16,40	10,90
UMB	TR	16,50	20,50	24,30	26,90	24,00	16,80	11,10



Regione	Provincia	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott
MAR	AN	17,30	22,50	21,90	26,70	22,00	15,00	9,90
MAR	AP	15,40	20,20	23,00	25,20	22,70	15,00	7,70
MAR	FM	18,10	22,30	23,60	25,00	22,60	16,50	10,00
MAR	MC	17,00	21,10	22,00	25,60	21,70	15,50	10,50
MAR	PU	16,30	20,90	22,30	26,40	19,60	13,50	9,90
LAZ	FR	16,30	20,70	24,10	25,50	20,70	16,40	10,90
LAZ	LT	17,60	24,90	25,20	26,90	22,90	16,30	12,00
LAZ	RI	17,90	22,00	25,30	26,40	22,80	16,40	13,10
LAZ	RM	14,40	22,50	22,40	23,10	21,70	12,90	8,60
LAZ	VT	14,00	18,00	19,60	19,50	18,50	13,20	13,30
ABR	AQ	16,10	21,50	24,50	25,30	23,00	16,00	11,30
ABR	CH	16,80	21,50	22,90	25,10	20,70	15,80	12,00
ABR	PE	15,60	23,40	22,60	25,60	22,60	13,30	9,80
ABR	TE	16,10	20,60	22,90	24,60	21,30	15,00	10,60
MOL	CB	17,80	21,80	24,00	25,30	23,50	16,10	12,00
MOL	IS	12,60	19,30	22,90	24,70	21,90	16,10	10,50
CAM	AV	17,00	23,90	23,00	25,30	23,10	16,60	11,20
CAM	BN	15,50	19,90	23,00	24,30	20,40	16,10	11,20
CAM	CE	16,00	24,80	22,80	25,90	24,70	17,40	13,40
CAM	NA	15,00	21,00	24,60	23,60	21,60	14,10	10,60
CAM	SA	16,00	22,60	24,80	27,00	18,50	16,00	10,70
PUG	BA	13,10	17,40	21,60	22,20	17,40	14,10	6,10
PUG	BR	15,60	19,60	21,70	20,50	20,70	15,00	9,60
PUG	BT	12,40	17,90	19,70	18,80	19,30	14,00	9,50
PUG	FG	14,50	19,20	20,50	21,60	18,30	14,50	8,90
PUG	LE	18,20	21,10	19,10	26,40	21,60	19,20	12,50
PUG	TA	16,50	20,50	21,50	22,30	19,10	14,70	11,00
BAS	MT	17,20	22,50	25,60	27,00	24,10	16,50	12,90
BAS	PZ	17,40	24,30	24,90	27,00	24,30	17,50	13,80
CAL	CS	15,80	23,20	25,30	24,10	24,40	15,20	10,20
CAL	CZ	17,90	22,20	26,00	23,60	24,50	16,20	12,90
CAL	KR	19,40	26,60	26,10	27,20	24,40	17,90	10,20
CAL	RC	17,60	23,60	25,30	26,20	24,80	19,20	12,60
CAL	VV	16,60	23,20	21,30	23,20	18,60	17,20	11,60
SIC	AG	18,90	24,80	25,00	25,90	21,80	19,10	14,50
SIC	CL	18,90	22,20	26,10	23,40	20,10	18,40	11,80
SIC	CT	17,40	23,10	26,10	26,40	23,40	18,40	11,50
SIC	EN	17,10	23,50	25,40	24,50	23,80	17,80	13,80
SIC	ME	15,60	20,40	24,30	25,40	22,90	15,00	11,70
SIC	PA	18,50	24,20	25,20	25,60	22,40	16,60	12,30
SIC	RG	17,90	24,80	23,20	24,40	24,10	18,30	13,80
SIC	SR	17,60	24,10	25,30	24,10	24,20	18,40	12,30
SIC	TP	15,10	24,70	24,80	28,60	22,00	17,30	10,90
SAR	CA	16,50	19,80	23,40	21,70	20,10	14,10	11,60
SAR	CI	17,30	19,70	24,70	23,40	20,40	16,10	10,90
SAR	NU	15,70	21,60	22,10	23,00	19,50	15,90	12,90
SAR	OG	16,60	19,00	22,70	22,80	19,60	13,80	9,10
SAR	OR	15,00	20,00	23,80	23,30	19,00	15,00	10,30
SAR	OT	15,00	20,00	23,80	23,30	19,00	15,00	10,30
SAR	SS	16,40	22,50	21,50	23,60	19,80	14,90	10,40
SAR	VS	17,50	20,20	23,10	22,90	20,30	14,40	10,90

## 5 Il calcolo del vettore climatico estivo

### 5.1 Le modalità di calcolo

Precedentemente è stato descritto come, ai fini della zonizzazione del territorio sia possibile utilizzare il modulo del vettore climatico ridotto, definito, ricordiamo, come:

"Vettore le cui componenti sono le grandezze climatiche caratteristiche del sito in esame (Temperatura, Umidità specifica, Irradiazione solare) cumulate nel periodo  $T$  (15 Aprile-15 Ottobre) e normalizzate ciascuna rispetto al valor medio delle stesse componenti calcolato negli  $n$  siti del campione climatico del territorio nazionale<sup>4</sup>, in modo da renderle indipendenti dalle rispettive unità di misura."

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

In cui:

$$\dot{\Theta}_e = \frac{\frac{1}{T} \int \vartheta_e dt}{\Theta_*} = \frac{\Theta_e}{\Theta_*} \quad \text{con} \quad \Theta_* = \frac{1}{n} \sum_n \frac{1}{T} \int \vartheta_e dt$$

$$\dot{X}_e = \frac{\frac{1}{T} \int x_e dt}{X_*} = \frac{X_e}{X_*} \quad \text{con} \quad X_* = \frac{1}{n} \sum_n \frac{1}{T} \int x_e dt$$

$$\dot{Y}_e = \frac{\frac{1}{T} \int I_o dt}{Y_*} = \frac{Y_e}{Y_*} \quad \text{con} \quad Y_* = \frac{1}{n} \sum_n \frac{1}{T} \int I_o dt$$

Le tre grandezze:

$$\Theta_e = \frac{1}{T} \int \theta_e dt \quad X_e = \frac{1}{T} \int x_e dt \quad Y_e = \frac{1}{T} \int I_o dt$$

rappresentano le variabili climatiche cumulate nel periodo di osservazione, definito dal **15 Aprile al 15 Ottobre** per un totale di 4392 ore, mentre le tre grandezze:

$$\Theta_* = \frac{1}{n} \sum_n \frac{1}{T} \int \vartheta_e dt$$

$$X_* = \frac{1}{n} \sum_n \frac{1}{T} \int x_e dt$$

$$Y_* = \frac{1}{n} \sum_n \frac{1}{T} \int I_o dt$$

rappresentano i valori adottati per la normalizzazione delle variabili climatiche.

<sup>4</sup> Il campione climatico nazionale è composto da 20 località, selezionate mediante Cluster Analysis per ottenere un campione rappresentativo del clima italiano. Report ENEA-RdS 2010

Le tre grandezze caratteristiche, sono state trasformate nelle seguenti unità di misura:

- Temperatura dell'aria (°C);
- Umidità specifica (kg acqua/ kg aria secca);
- Irradiazione Solare (kWh/m<sup>2</sup>)

L'umidità specifica è stata ottenuta dai valori medi mensili della pressione di vapore mediante la seguente nota relazione:

$$U_s = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v}$$

in cui  $p_v$  = pressione di vapore della località in esame [Pa]

$p$  = pressione atmosferica (s.l.m.) 101325 [ Pa]

Partendo da dati medi giornalieri mensili, le cumulate orarie delle tre grandezze climatiche sono state calcolate come sommatoria dei valori giornalieri medi mensili in esame della grandezza climatica  $X_{gm}$  corrispondente, considerando i giorni effettivi dei mesi considerati:

$$\sum_1^7 X_{gm} = (X_{g1} \times 15 + X_{g2} \times 31 + X_{g3} \times 30 + \dots + X_{g7} \times 15) \times 24$$

Gli  $n$  mesi considerati vanno da Aprile ad Ottobre ed i giorni effettivi sono quelli riportati in tabella.

**Tabella 4 - Giorni e mesi effettivi considerati**

Mese	1	2	3	4	5	6	7
	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre
Giorni	15	31	30	31	31	30	15

I valori finali delle grandezze cumulate, nella tabella, sono stati inoltre riportati in scala oraria.

**Tabella 5 - Nuovo database climatico: grandezze climatiche cumulate dei capoluoghi di Provincia italiani**

Regione	Capoluogo	Temperatura aria cumulata [°C * h]	Umidità specifica cumulata [Kg vapore/ Kg aria secca *h]	Irradiazione globale cumulata [kWh/m <sup>2</sup> * h]
PIE	Alessandria	83059,20	43,05	966,03
PIE	Asti	89174,40	43,79	1013,92
PIE	Biella	75998,40	39,83	933,06
PIE	Cuneo	81177,60	39,73	935,69
PIE	Novara	79684,80	43,20	933,89
PIE	Torino	85725,60	40,31	755,69
PIE	Verbania	84187,20	40,05	921,58
PIE	Vercelli	87352,80	47,74	943,89
VDA	Aosta	77025,60	34,33	746,67
LOM	Bergamo	81928,80	45,03	850,94
LOM	Brescia	79176,00	43,16	919,33
LOM	Como	87955,20	42,15	818,17
LOM	Cremona	82610,40	42,29	912,61

Regione	Capoluogo	Temperatura aria cumulata [°C * h]	Umidità specifica cumulata [Kg vapore/ Kg aria secca *h]	Irradiazione globale cumulata [kWh/m <sup>2</sup> * h]
LOM	Lecco	96554,40	47,12	763,58
LOM	Lodi	85192,80	43,05	920,97
LOM	Monza	84439,20	36,57	752,92
LOM	Milano	90182,40	44,98	880,72
LOM	Mantova	84818,40	44,66	944,47
LOM	Pavia	86368,80	49,27	881,06
LOM	Sondrio	80042,40	38,45	849,08
LOM	Varese	77882,40	41,53	664,17
TAA	Bolzano	77990,40	32,34	941,97
TAA	Trento	75595,20	33,87	744,58
VEN	Belluno	71916,00	41,15	813,33
VEN	Padova	86673,60	46,75	890,78
VEN	Rovigo	86796,00	47,61	890,25
VEN	Treviso	89066,40	47,71	892,22
VEN	Venezia	88473,60	51,10	1003,61
VEN	Vicenza	88365,60	44,67	886,17
VEN	Verona	88449,60	45,78	1002,81
FVG	Gorizia	84688,80	43,47	933,75
FVG	Pordenone	83976,00	45,60	892,89
FVG	Trieste	90676,80	42,51	893,81
FVG	Udine	82420,80	42,66	870,92
LIG	Genova	92306,40	45,14	888,64
LIG	Imperia	93525,60	48,09	897,86
LIG	La Spezia	85377,60	46,95	970,03
LIG	Savona	94790,40	48,44	963,64
EMR	Bologna	93465,60	39,77	915,14
EMR	Forlì-Cesena	90429,60	39,78	1012,14
EMR	Ferrara	92724,00	40,20	1030,00
EMR	Modena	90540,00	40,05	938,28
EMR	Piacenza	92731,20	38,63	1008,97
EMR	Parma	95887,20	39,72	993,69
EMR	Ravenna	90835,20	40,83	1045,72
EMR	Reggio Emilia	93753,60	39,85	948,72
EMR	Rimini	90151,20	43,42	996,56
TOS	Arezzo	77095,20	38,98	930,33
TOS	Firenze	95294,40	39,49	1023,50
TOS	Grosseto	91432,80	48,38	994,72
TOS	Livorno	88250,40	47,96	1020,50
TOS	Lucca	87856,80	49,35	909,86
TOS	Massa	90007,20	47,00	886,31
TOS	Pisa	85418,40	49,40	913,83
TOS	Prato	89745,60	42,13	1023,31
TOS	Pistoia	87408,00	44,42	981,89
TOS	Siena	72060,00	36,97	724,97
UMB	Perugia	83215,20	33,84	1062,89
UMB	Terni	86661,60	39,57	1072,33
MAR	Ancona	95150,40	42,31	1033,94
MAR	Ascoli Piceno	86623,20	40,68	999,33
MAR	Fermo	77712,00	39,34	1053,17

Regione	Capoluogo	Temperatura aria cumulata [°C * h]	Umidità specifica cumulata [kg vapore/ kg aria secca *h]	Irradiazione globale cumulata [kWh/m <sup>2</sup> * h]
MAR	Macerata	86944,80	39,94	1016,08
MAR	Pesaro-Urbino	85185,60	39,38	983,58
LAZ	Frosinone	86848,80	29,24	1026,92
LAZ	Latina	95265,60	45,44	1112,42
LAZ	Rieti	81369,60	38,48	1089,78
LAZ	Roma	96218,40	43,04	969,53
LAZ	Viterbo	85912,80	34,21	869,31
ABR	L'Aquila	82130,40	36,17	1052,72
ABR	Chieti	86990,40	44,02	1022,03
ABR	Pescara	91701,60	50,19	1021,56
ABR	Teramo	90892,80	48,05	999,72
MOL	Campobasso	74616,00	35,25	1066,28
MOL	Isernia	79528,80	38,44	988,72
CAM	Avellino	87664,80	43,94	1070,08
CAM	Benevento	89596,80	48,94	993,36
CAM	Caserta	93945,60	48,18	1106,78
CAM	Napoli	97867,20	53,16	999,22
CAM	Salerno	94920,00	52,59	1037,67
PUG	Bari	101791,20	46,87	868,33
PUG	Brindisi	93919,20	52,56	934,39
PUG	Barletta-Andria-Trani	95409,60	53,73	854,31
PUG	Foggia	93564,00	49,08	898,08
PUG	Lecce	91533,60	51,14	1042,11
PUG	Taranto	104244,00	50,80	949,28
BAS	Matera	98673,60	44,96	1110,03
BAS	Potenza	81585,60	34,70	1134,33
CAL	Cosenza	86433,60	38,99	1063,25
CAL	Catanzaro	93609,60	49,30	1085,36
CAL	Crotone	101409,60	56,23	1163,39
CAL	Reggio di Calabria	100586,40	43,91	1139,06
CAL	Vibo Valentia	87206,40	49,02	998,06
SIC	Agrigento	94538,40	47,46	1130,97
SIC	Caltanissetta	90588,00	33,51	1064,50
SIC	Catania	99866,40	49,08	1119,00
SIC	Enna	81962,40	29,84	1107,03
SIC	Messina	99856,80	51,59	1032,83
SIC	Palermo	103142,40	47,67	1098,39
SIC	Ragusa	90998,40	40,80	1109,11
SIC	Siracusa	100394,40	46,30	1112,19
SIC	Trapani	102547,20	48,64	1107,58
SAR	Cagliari	92145,60	45,17	960,03
SAR	Carbonia-Iglesias	91910,40	37,99	1004,31
SAR	Nuoro	82070,40	35,92	987,81
SAR	Tortoli-Lanusei	88785,60	39,63	939,97
SAR	Oristano	84549,60	37,14	965,22
SAR	Olbia-Tempio Pausania	88941,60	39,55	965,22
SAR	Sassari	89191,20	37,94	982,47
SAR	Villacidro-Sanluri	86798,40	41,35	976,78

Allo scopo di rendere indipendenti i valori delle grandezze climatiche dalle rispettive unità di misura, come detto in precedenza, questi sono stati normalizzati rispetto al valore medio delle stesse grandezze calcolate su un campione di 20 località, rappresentative del profilo climatico italiano e selezionate mediante Cluster Analysis.

I valori di normalizzazione adottati sono quelli riportati in Tabella 6

**Tabella 6 - Valori di normalizzazione delle grandezze climatiche**

Temperatura aria	<b>87881,76</b>	[°C * h]
Umidità specifica	<b>43,22</b>	[kg vapore/ kg aria secca *h]
Irradiazione Solare	<b>1031,32</b>	[kWh/m <sup>2</sup> * h]

**Tabella 7 - Nuovo database climatico: grandezze climatiche normalizzate dei capoluoghi di Provincia italiana**

Regione	Capoluogo	Temperatura aria Normalizzata	Umidità specifica Normalizzata	Irradiazione globale Normalizzata
PIE	Alessandria	0,9451	0,9960	0,9367
PIE	Asti	1,0147	1,0131	0,9831
PIE	Biella	0,8648	0,9216	0,9047
PIE	Cuneo	0,9237	0,9191	0,9073
PIE	Novara	0,9067	0,9996	0,9055
PIE	Torino	0,9755	0,9326	0,7327
PIE	Verbania	0,9580	0,9266	0,8936
PIE	Vercelli	0,9940	1,1046	0,9152
VDA	Aosta	0,8765	0,7943	0,7240
LOM	Bergamo	0,9323	1,0419	0,8251
LOM	Brescia	0,9009	0,9987	0,8914
LOM	Como	1,0008	0,9751	0,7933
LOM	Cremona	0,9400	0,9786	0,8849
LOM	Lecco	1,0987	1,0903	0,7404
LOM	Lodi	0,9694	0,9961	0,8930
LOM	Monza	0,9608	0,8462	0,7301
LOM	Milano	1,0262	1,0408	0,8540
LOM	Mantova	0,9651	1,0332	0,9158
LOM	Pavia	0,9828	1,1401	0,8543
LOM	Sondrio	0,9108	0,8897	0,8233
LOM	Varese	0,8862	0,9608	0,6440
TAA	Bolzano	0,8874	0,7484	0,9134
TAA	Trento	0,8602	0,7836	0,7220
VEN	Belluno	0,8183	0,9522	0,7886
VEN	Padova	0,9863	1,0816	0,8637
VEN	Rovigo	0,9876	1,1017	0,8632
VEN	Treviso	1,0135	1,1039	0,8651
VEN	Venezia	1,0067	1,1822	0,9731
VEN	Vicenza	1,0055	1,0336	0,8593
VEN	Verona	1,0065	1,0593	0,9724
FVG	Gorizia	0,9637	1,0057	0,9054
FVG	Pordenone	0,9556	1,0551	0,8658
FVG	Trieste	1,0318	0,9836	0,8667
FVG	Udine	0,9379	0,9871	0,8445

Regione	Capoluogo	Temperatura aria Normalizzata	Umidità specifica Normalizzata	Irradiazione globale Normalizzata
LIG	Genova	1,0503	1,0443	0,8617
LIG	Imperia	1,0642	1,1126	0,8706
LIG	La Spezia	0,9715	1,0862	0,9406
LIG	Savona	1,0786	1,1209	0,9344
EMR	Bologna	1,0635	0,9202	0,8873
EMR	Forlì-Cesena	1,0290	0,9205	0,9814
EMR	Ferrara	1,0551	0,9301	0,9987
EMR	Modena	1,0302	0,9266	0,9098
EMR	Piacenza	1,0552	0,8937	0,9783
EMR	Parma	1,0911	0,9189	0,9635
EMR	Ravenna	1,0336	0,9447	1,0140
EMR	Reggio Emilia	1,0668	0,9219	0,9199
EMR	Rimini	1,0258	1,0046	0,9663
TOS	Arezzo	0,8773	0,9020	0,9021
TOS	Firenze	1,0843	0,9137	0,9924
TOS	Grosseto	1,0404	1,1194	0,9645
TOS	Livorno	1,0042	1,1096	0,9895
TOS	Lucca	0,9997	1,1419	0,8822
TOS	Massa	1,0242	1,0874	0,8594
TOS	Pisa	0,9720	1,1430	0,8861
TOS	Prato	1,0212	0,9747	0,9922
TOS	Pistoia	0,9946	1,0278	0,9521
TOS	Siena	0,8200	0,8554	0,7030
UMB	Perugia	0,9469	0,7831	1,0306
UMB	Terni	0,9861	0,9156	1,0398
MAR	Ancona	1,0827	0,9791	1,0025
MAR	Ascoli Piceno	0,9857	0,9412	0,9690
MAR	Fermo	0,8843	0,9102	1,0212
MAR	Macerata	0,9893	0,9241	0,9852
MAR	Pesaro-Urbino	0,9693	0,9111	0,9537
LAZ	Frosinone	0,9882	0,6764	0,9957
LAZ	Latina	1,0840	1,0513	1,0786
LAZ	Rieti	0,9259	0,8904	1,0567
LAZ	Roma	1,0949	0,9958	0,9401
LAZ	Viterbo	0,9776	0,7915	0,8429
ABR	L'Aquila	0,9346	0,8368	1,0208
ABR	Chieti	0,9899	1,0185	0,9910
ABR	Pescara	1,0435	1,1612	0,9905
ABR	Teramo	1,0343	1,1118	0,9694
MOL	Campobasso	0,8490	0,8156	1,0339
MOL	Isernia	0,9050	0,8894	0,9587
CAM	Avellino	0,9975	1,0166	1,0376
CAM	Benevento	1,0195	1,1324	0,9632
CAM	Caserta	1,0690	1,1147	1,0732
CAM	Napoli	1,1136	1,2300	0,9689
CAM	Salerno	1,0801	1,2168	1,0062
PUG	Bari	1,1583	1,0844	0,8420
PUG	Brindisi	1,0687	1,2160	0,9060
PUG	Barletta-Andria-Trani	1,0857	1,2431	0,8284
PUG	Foggia	1,0647	1,1356	0,8708

Regione	Capoluogo	Temperatura aria Normalizzata	Umidità specifica Normalizzata	Irradiazione globale Normalizzata
PUG	Lecce	1,0416	1,1832	1,0105
PUG	Taranto	1,1862	1,1754	0,9204
BAS	Matera	1,1228	1,0403	1,0763
BAS	Potenza	0,9284	0,8029	1,0999
CAL	Cosenza	0,9835	0,9022	1,0310
CAL	Catanzaro	1,0652	1,1408	1,0524
CAL	Crotone	1,1539	1,3011	1,1281
CAL	Reggio di Calabria	1,1446	1,0160	1,1045
CAL	Vibo Valentia	0,9923	1,1343	0,9677
SIC	Agrigento	1,0757	1,0982	1,0966
SIC	Caltanissetta	1,0308	0,7753	1,0322
SIC	Catania	1,1364	1,1356	1,0850
SIC	Enna	0,9326	0,6903	1,0734
SIC	Messina	1,1363	1,1937	1,0015
SIC	Palermo	1,1736	1,1030	1,0650
SIC	Ragusa	1,0355	0,9439	1,0754
SIC	Siracusa	1,1424	1,0713	1,0784
SIC	Trapani	1,1669	1,1254	1,0739
SAR	Cagliari	1,0485	1,0450	0,9309
SAR	Carbonia-Iglesias	1,0458	0,8790	0,9738
SAR	Nuoro	0,9339	0,8311	0,9578
SAR	Tortoli-Lanusei	1,0103	0,9168	0,9114
SAR	Oristano	0,9621	0,8594	0,9359
SAR	Olbia-Tempio Pausania	1,0121	0,9152	0,9359
SAR	Sassari	1,0149	0,8779	0,9526
SAR	Villacidro-Sanluri	0,9877	0,9568	0,9471

### 5.2 Il calcolo del modulo del vettore climatico estivo

Ottenute le grandezze climatiche normalizzate relative ai vari capoluoghi di Provincia italiani il modulo del vettore climatico estivo è calcolabile direttamente come:

$$|\vec{V}_C| = \sqrt{\Theta_e^2 + X_e^2 + Y_e^2}$$

A titolo d'esempio, nella pagina che segue, riportiamo il calcolo esplicito per la città di Roma.



Località: <b>ROMA</b>	Valori cumulati	Valori di normalizzazione	Valori normalizzati
Temperatura aria [°C * h]	96218,40	87881,76	1,095
Umidità specifica [kg vapore/ Kg aria secca *h]	43,04	43,22	0,996
Irradiazione solare [kWh/m <sup>2</sup> * h]	969,53	1031,32	0,940

Calcolo del modulo del vettore climatico:

$$|\vec{V}_C| = \sqrt{\Theta_e^2 + X_e^2 + Y_e^2} = \sqrt{\left[\frac{96218,4}{87881,76}\right]^2 + \left[\frac{43,04}{43,22}\right]^2 + \left[\frac{969,53}{1031,32}\right]^2}$$

$$= \sqrt{[1,095]^2 + [0,996]^2 + [0,940]^2} = 1,753$$

Si riportano di seguito i valori del modulo del vettore climatico estivo calcolati con il nuovo database climatico e relativi ai capoluoghi di Provincia, che saranno riportati nella nuova norma UNI 10349 (in fase di elaborazione). Per rendere più fruibile la loro lettura si è deciso, d'ora in poi, di riportare il valore del modulo del vettore climatico moltiplicato per un fattore 1000.

**Tabella 8. Nuovo database climatico: modulo del vettore climatico estivo dei capoluoghi di Provincia italiana**

Regione	Capoluogo	Modulo del vettore climatico (x10 <sup>3</sup> )
PIE	Alessandria	1662
PIE	Asti	1739
PIE	Biella	1554
PIE	Cuneo	1588
PIE	Novara	1625
PIE	Torino	1536
PIE	Verbania	1605
PIE	Vercelli	1745
VDA	Aosta	1387
LOM	Bergamo	1623
LOM	Brescia	1614
LOM	Como	1607
LOM	Cremona	1620
LOM	Lecco	1716
LOM	Lodi	1652
LOM	Monza	1474
LOM	Milano	1693
LOM	Mantova	1685
LOM	Pavia	1731
LOM	Sondrio	1516
LOM	Varese	1457
TAA	Bolzano	1477
TAA	Trento	1369

<b>Regione</b>	<b>Capoluogo</b>	<b>Modulo del vettore climatico (x10<sup>3</sup>)</b>
VEN	Belluno	1483
VEN	Padova	1700
VEN	Rovigo	1713
VEN	Treviso	1730
VEN	Venezia	1833
VEN	Vicenza	1679
VEN	Verona	1755
FVG	Gorizia	1661
FVG	Pordenone	1666
FVG	Trieste	1668
FVG	Udine	1602
LIG	Genova	1714
LIG	Imperia	1769
LIG	La Spezia	1734
LIG	Savona	1815
EMR	Bologna	1663
EMR	Forlì-Cesena	1694
EMR	Ferrara	1725
EMR	Modena	1658
EMR	Piacenza	1694
EMR	Parma	1721
EMR	Ravenna	1729
EMR	Reggio Emilia	1684
EMR	Rimini	1731
TOS	Arezzo	1548
TOS	Firenze	1731
TOS	Grosseto	1807
TOS	Livorno	1794
TOS	Lucca	1755
TOS	Massa	1723
TOS	Pisa	1742
TOS	Prato	1726
TOS	Pistoia	1718
TOS	Siena	1378
UMB	Perugia	1604
UMB	Terni	1701
MAR	Ancona	1771
MAR	Ascoli Piceno	1672
MAR	Fermo	1629
MAR	Macerata	1674
MAR	Pesaro-Urbino	1637
LAZ	Frosinone	1557
LAZ	Latina	1856
LAZ	Rieti	1663
LAZ	Roma	1753
LAZ	Viterbo	1514
ABR	L'Aquila	1617
ABR	Chieti	1732
ABR	Pescara	1849
BR	Teramo	1802

<b>Regione</b>	<b>Capoluogo</b>	<b>Modulo del vettore climatico (x10<sup>3</sup>)</b>
MOL	Campobasso	1567
MOL	Isernia	1590
CAM	Avellino	1762
CAM	Benevento	1803
CAM	Caserta	1881
CAM	Napoli	1921
CAM	Salerno	1913
PUG	Bari	1796
PUG	Brindisi	1855
PUG	Barletta-Andria-Trani	1847
PUG	Foggia	1784
PUG	Lecce	1872
PUG	Taranto	1907
BAS	Matera	1871
BAS	Potenza	1648
CAL	Cosenza	1686
CAL	Catanzaro	1882
CAL	Crotone	2073
CAL	Reggio di Calabria	1887
CAL	Vibo Valentia	1791
SIC	Agrigento	1888
SIC	Caltanissetta	1652
SIC	Catania	1939
SIC	Enna	1581
SIC	Messina	1928
SIC	Palermo	1931
SIC	Ragusa	1766
SIC	Siracusa	1901
SIC	Trapani	1945
SAR	Cagliari	1749
SAR	Carbonia-Iglesias	1678
SAR	Nuoro	1575
SAR	Tortoli-Lanusei	1641
SAR	Oristano	1594
SAR	Olbia-Tempio Pausania	1655
SAR	Sassari	1646
SAR	Villacidro-Sanluri	1670

## 6 Confronto

Nel report [3] era stato calcolato il vettore climatico di tutti i comuni italiani, partendo dai dati climatici disponibili sulla base della normativa esistente (Norma UNI 10349/94).

Riferendosi alle sole 101 province riportate nella Norma, è possibile confrontare i valori del modulo del vettore climatico estivo calcolati con il nuovo database, con quelli valutati precedentemente.

**Tabella 9 - Confronto tra valori del modulo del vettore climatico estivo dei capoluoghi di Provincia italiana**

Regione	Capoluogo	Vettore climatico (x10 <sup>3</sup> )		Δ%
		10349/94	nuovo database	
PIE	Alessandria	1707	1662	-2,6%
PIE	Asti	1675	1739	3,8%
PIE	Biella		1554	
PIE	Cuneo	1516	1588	4,8%
PIE	Novara	1652	1625	-1,6%
PIE	Torino	1640	1536	-6,4%
PIE	Verbania	1671	1605	-4,0%
PIE	Vercelli	1700	1745	2,6%
VDA	Aosta	1479	1387	-6,2%
LOM	Bergamo	1641	1623	-1,1%
LOM	Brescia	1732	1614	-6,8%
LOM	Como	1667	1607	-3,6%
LOM	Cremona	1750	1620	-7,4%
LOM	Lecco	1634	1716	5,0%
LOM	Lodi	1748	1652	-5,5%
LOM	Mantova	1748	1685	-3,6%
LOM	Milano	1752	1693	-3,4%
LOM	Monza		1474	
LOM	Pavia	1709	1731	1,2%
LOM	Sondrio	1651	1516	-8,2%
LOM	Varese	1509	1457	-3,4%
TAA	Bolzano	1590	1477	-7,1%
TAA	Trento	1806	1369	-24,2%
VEN	Belluno	1549	1483	-4,3%
VEN	Padova	1684	1700	0,9%
VEN	Rovigo	1793	1713	-4,5%
VEN	Treviso	1740	1730	-0,6%
VEN	Venezia	1837	1833	-0,3%
VEN	Verona	1686	1755	4,1%
VEN	Vicenza	1654	1679	1,5%
FVG	Gorizia	1643	1661	1,1%
FVG	Pordenone	1570	1666	6,2%
FVG	Trieste	1703	1668	-2,1%
FVG	Udine	1673	1602	-4,2%

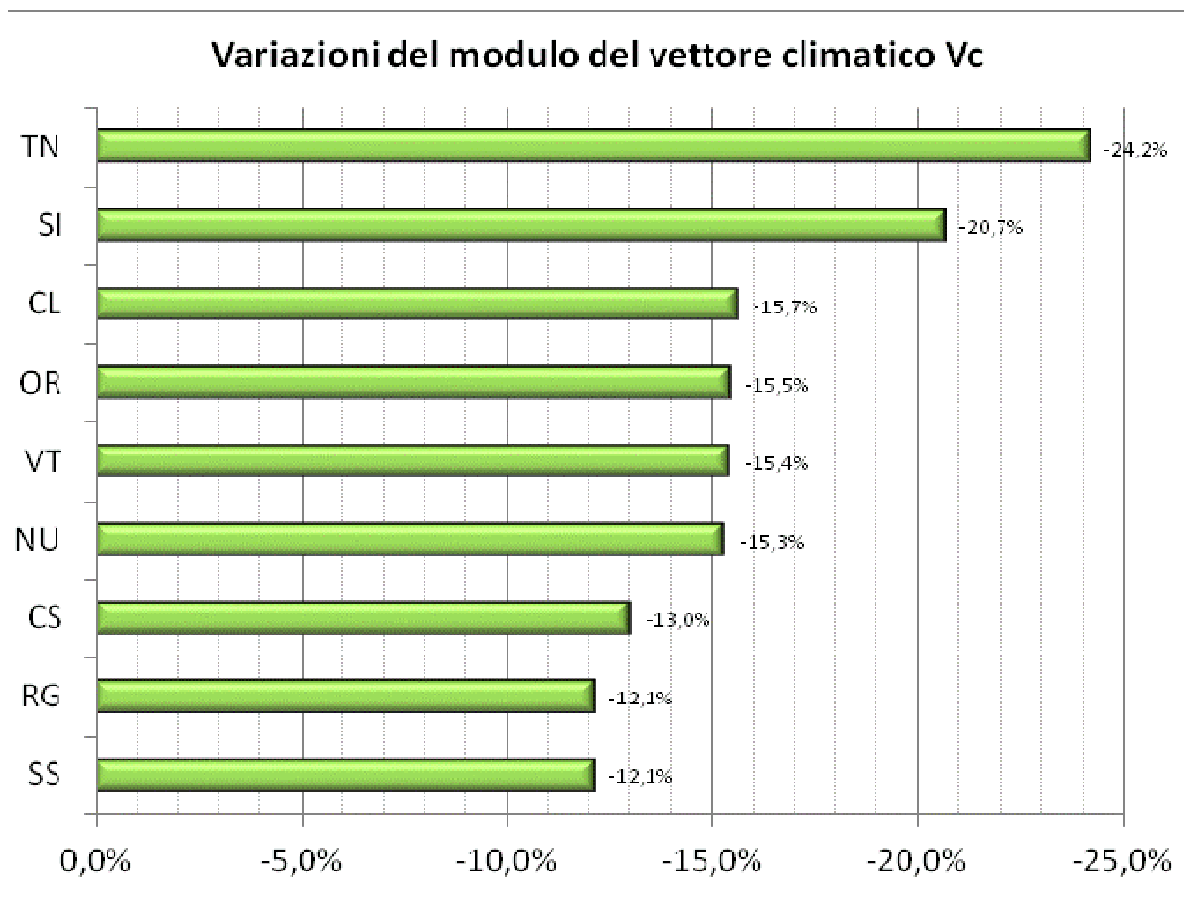
Regione	Capoluogo	Vettore climatico (x10 <sup>3</sup> )		Δ%
		10349/94	nuovo database	
LIG	Genova	1800	1714	-4,8%
LIG	Imperia	1798	1769	-1,6%
LIG	La Spezia	1777	1734	-2,4%
LIG	Savona	1800	1815	0,8%
EMR	Bologna	1780	1663	-6,6%
EMR	Ferrara	1746	1725	-1,2%
EMR	Forlì	1857	1694	-8,8%
EMR	Modena	1772	1658	-6,5%
EMR	Parma	1777	1721	-3,2%
EMR	Piacenza	1708	1694	-0,9%
EMR	Ravenna	1788	1729	-3,3%
EMR	Reggio nell'Emilia	1747	1684	-3,6%
EMR	Rimini	1768	1731	-2,1%
TOS	Arezzo	1702	1548	-9,0%
TOS	Firenze	1772	1731	-2,3%
TOS	Grosseto	1805	1807	0,1%
TOS	Livorno	1841	1794	-2,5%
TOS	Lucca	1764	1755	-0,5%
TOS	Massa	1762	1723	-2,2%
TOS	Pisa	1822	1742	-4,4%
TOS	Pistoia	1725	1718	-0,4%
TOS	Prato	1798	1726	-4,0%
TOS	Siena	1737	1378	-20,7%
UMB	Perugia	1619	1604	-0,9%
UMB	Terni	1795	1701	-5,3%
MAR	Ancona	1835	1771	-3,5%
MAR	Ascoli piceno	1808	1672	-7,5%
MAR	Fermo		1629	
MAR	Macerata	1758	1674	-4,8%
MAR	Pesaro	1726	1637	-5,2%
LAZ	Frosinone	1663	1557	-6,3%
LAZ	Latina	1866	1856	-0,5%
LAZ	Rieti	1612	1663	3,2%
LAZ	Roma	1887	1753	-7,1%
LAZ	Viterbo	1791	1514	-15,4%
ABR	Chieti	1849	1732	-6,3%
ABR	L'aquila	1616	1617	0,1%
ABR	Pescara	1874	1849	-1,3%
ABR	Teramo	1861	1802	-3,2%
MOL	Campobasso	1648	1567	-4,9%
MOL	Isernia	1704	1590	-6,7%

Regione	Capoluogo	Vettore climatico (x10 <sup>3</sup> )		Δ%
		10349/94	nuovo database	
CAM	Avellino	1767	1762	-0,3%
CAM	Benevento	1841	1803	-2,1%
CAM	Caserta	1990	1881	-5,5%
CAM	Napoli	1930	1921	-0,5%
CAM	Salerno	1887	1913	1,4%
PUG	Bari	1900	1796	-5,5%
PUG	Barletta-Andria-Trani		1847	
PUG	Brindisi	1956	1855	-5,2%
PUG	Foggia	1820	1784	-2,0%
PUG	Lecce	1869	1872	0,2%
PUG	Taranto	1925	1907	-0,9%
BAS	Matera	1783	1871	4,9%
BAS	Potenza	1571	1648	4,9%
CAL	Catanzaro	1892	1882	-0,5%
CAL	Cosenza	1939	1686	-13,0%
CAL	Crotone	1912	2073	8,4%
CAL	Reggio di Calabria	2016	1887	-6,4%
CAL	Vibo valentia		1791	
SIC	Agrigento	2068	1888	-8,7%
SIC	Caltanissetta	1959	1652	-15,7%
SIC	Catania	2024	1939	-4,2%
SIC	Enna	1703	1581	-7,2%
SIC	Messina	1983	1928	-2,7%
SIC	Palermo	1914	1931	0,9%
SIC	Ragusa	2011	1766	-12,1%
SIC	Siracusa	2086	1901	-8,8%
SIC	Trapani	2105	1945	-7,6%
SAR	Cagliari	1900	1749	-8,0%
SAR	Carbonia-Iglesias		1678	
SAR	Nuoro	1860	1575	-15,3%
SAR	Olbia-Tempio Pausania		1655	
SAR	Oristano	1886	1594	-15,5%
SAR	Sassari	1873	1646	-12,1%
SAR	Tortoli-Lanusei		1641	
SAR	Villacidro-Sanluri		1670	

Nell'80% delle località confrontate il modulo del vettore climatico si riduce in media di circa il 5,4% , mentre nel restante 20% dei casi si ha un incremento medio del 2,7 % .

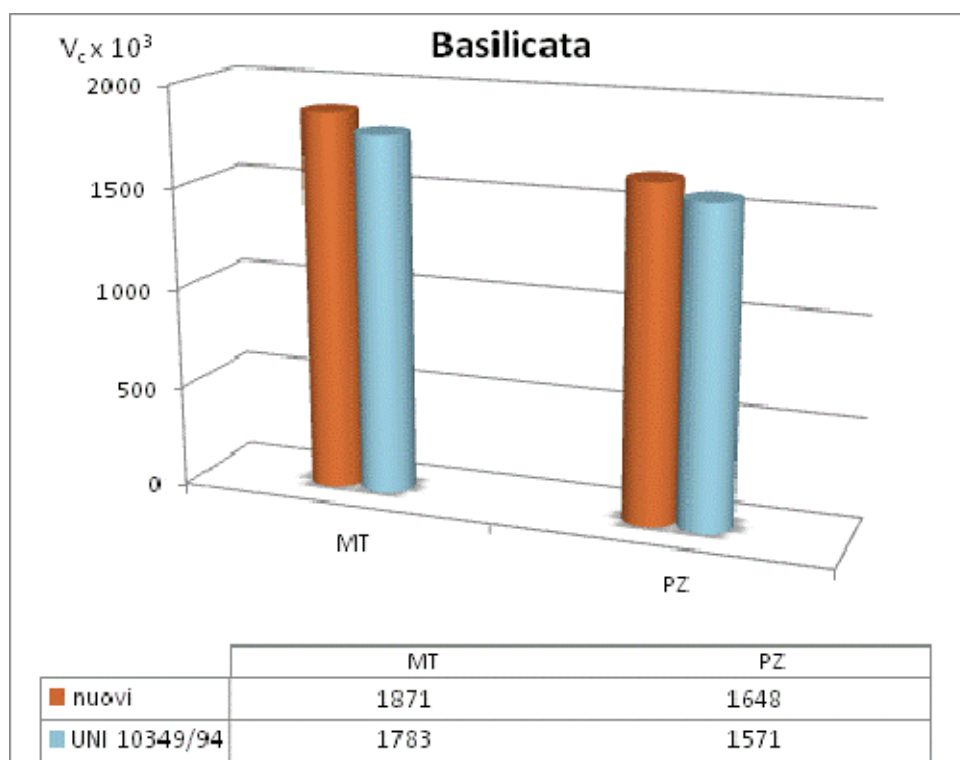
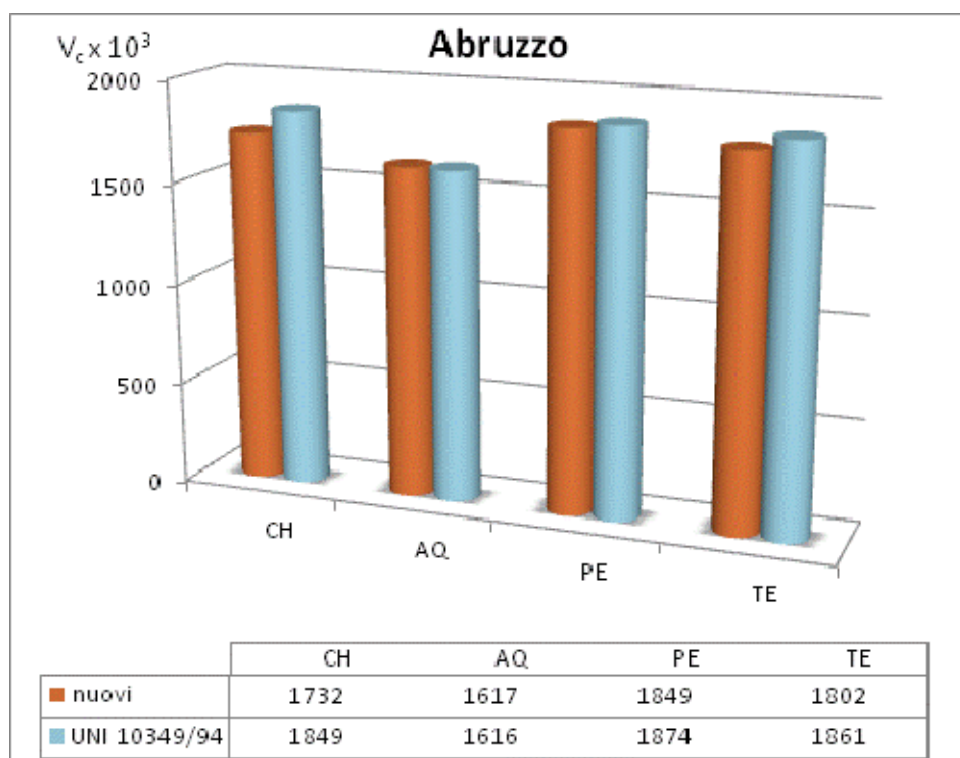
Per oltre il 90% dei casi le variazioni sono contenute entro un ±9% con un valore medio pari a circa -2,5 %.

Per le località con variazioni superiori al 9%, la situazione è rappresentata nel grafico che segue.

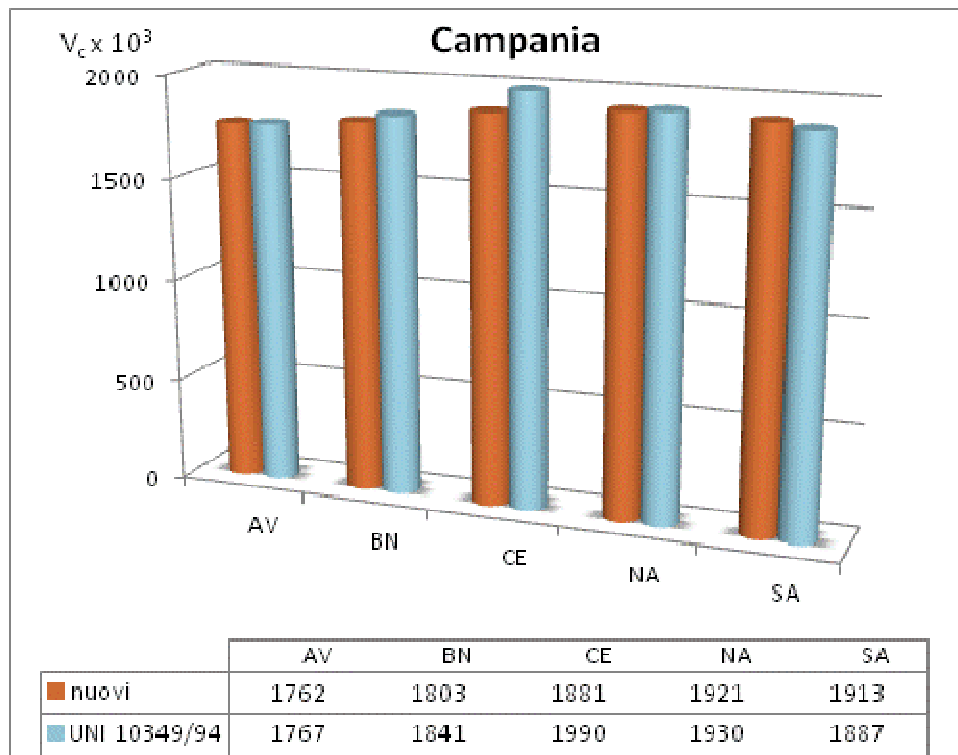
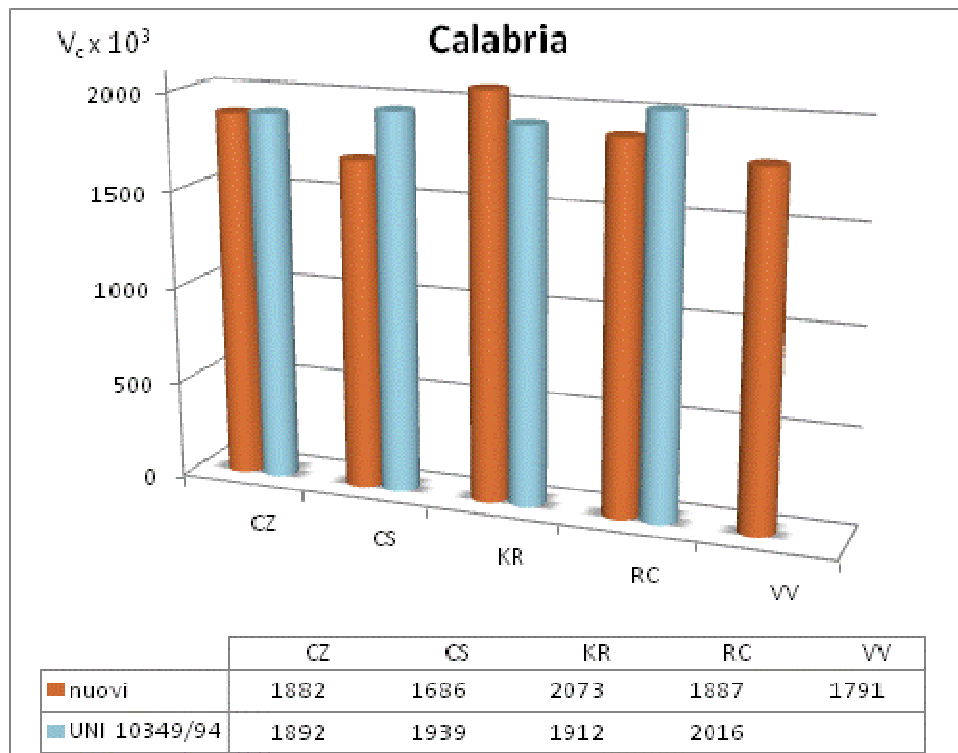


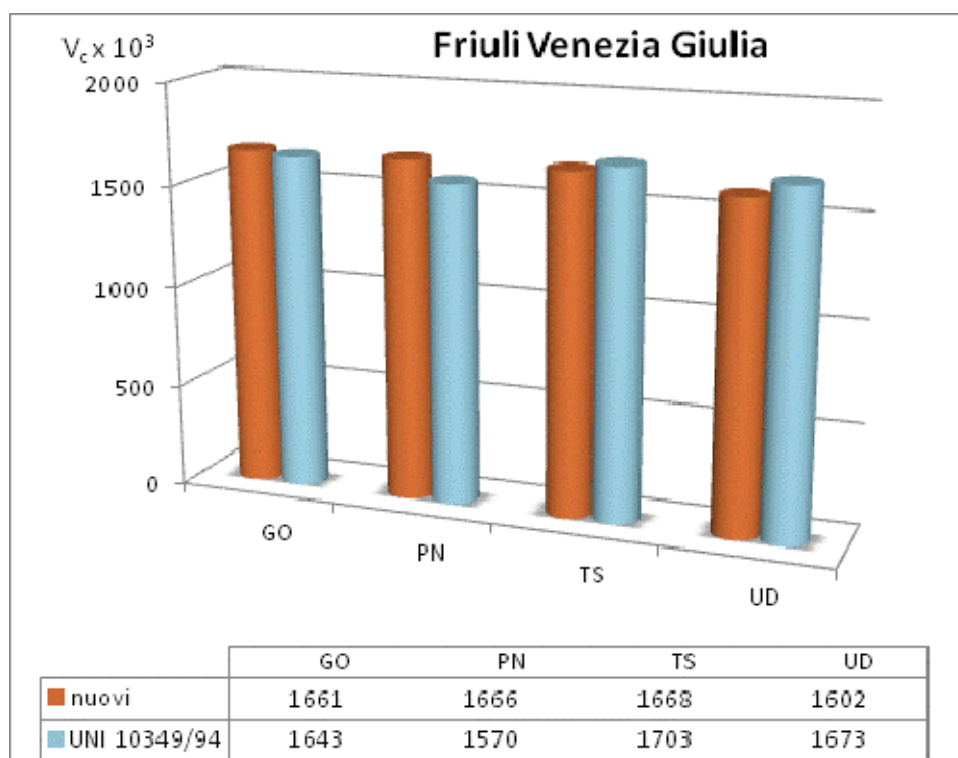
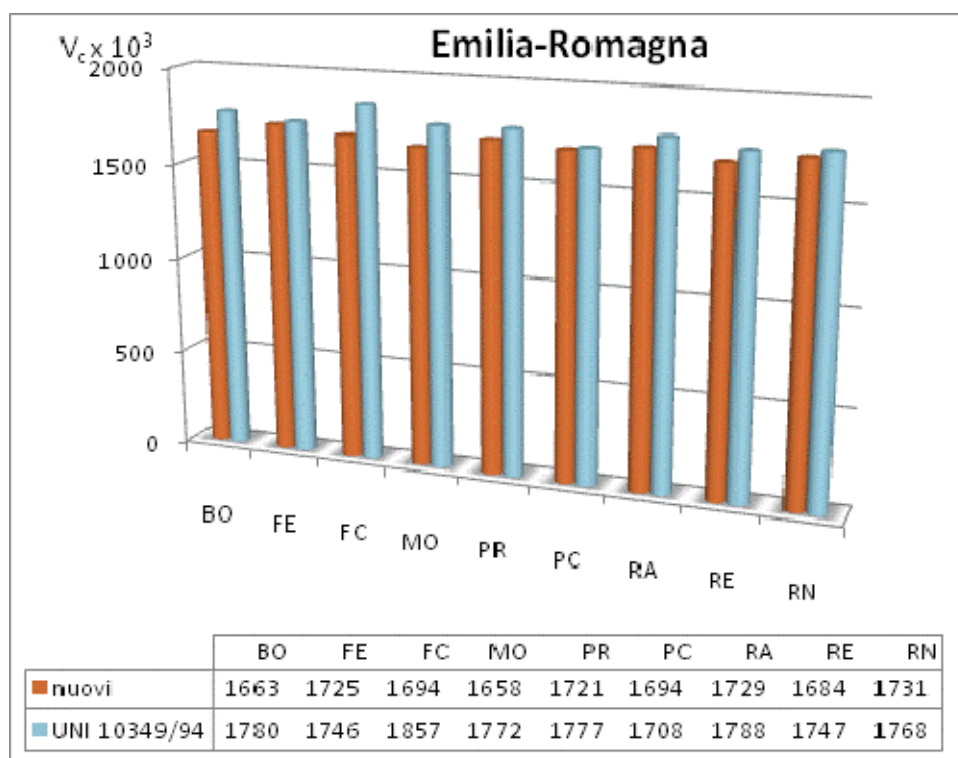
Le differenze osservate corrispondono sempre a una riduzione del modulo del vettore climatico ed hanno un valore medio del 15,6% e un picco del 24,2% (Trento).

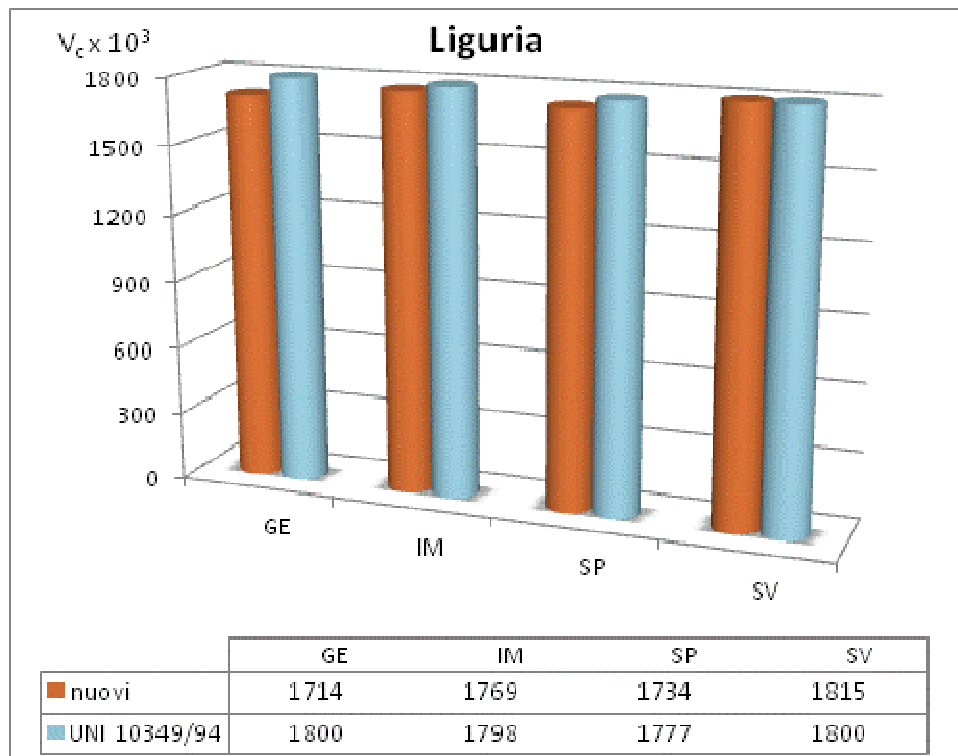
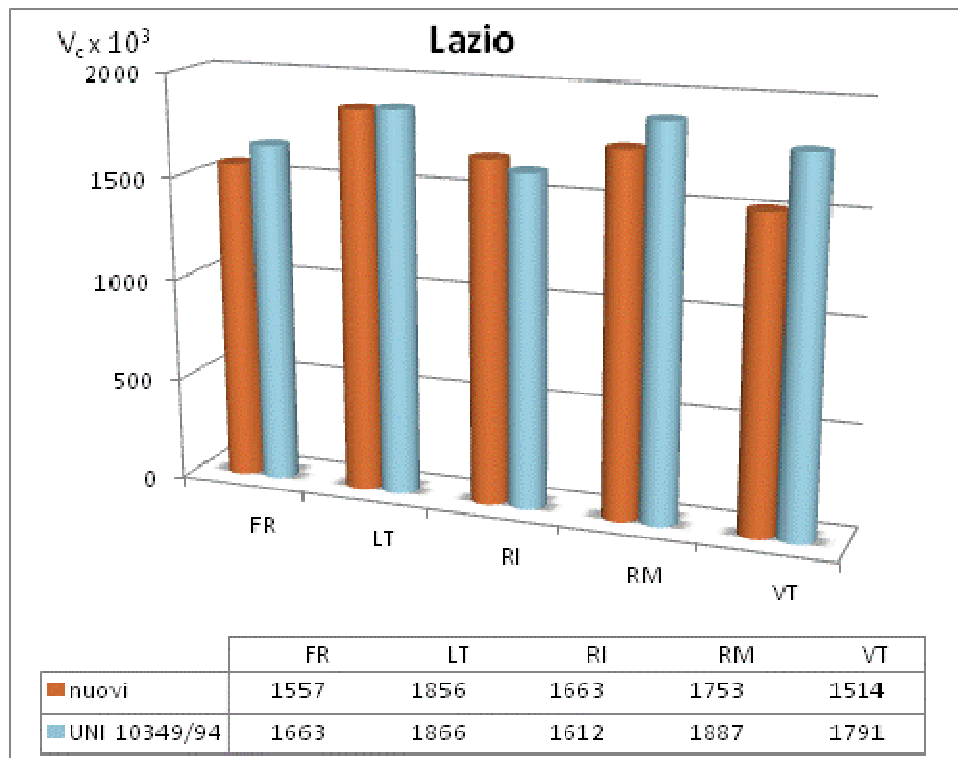
Nei grafici riportati nelle pagine successive sono rappresentati i confronti, per ognuna delle venti regioni italiane, tra i moduli del vettore climatico valutati secondo i dati climatici del nuovo database e quelli valutati secondo i dati climatici della norma attualmente vigente.

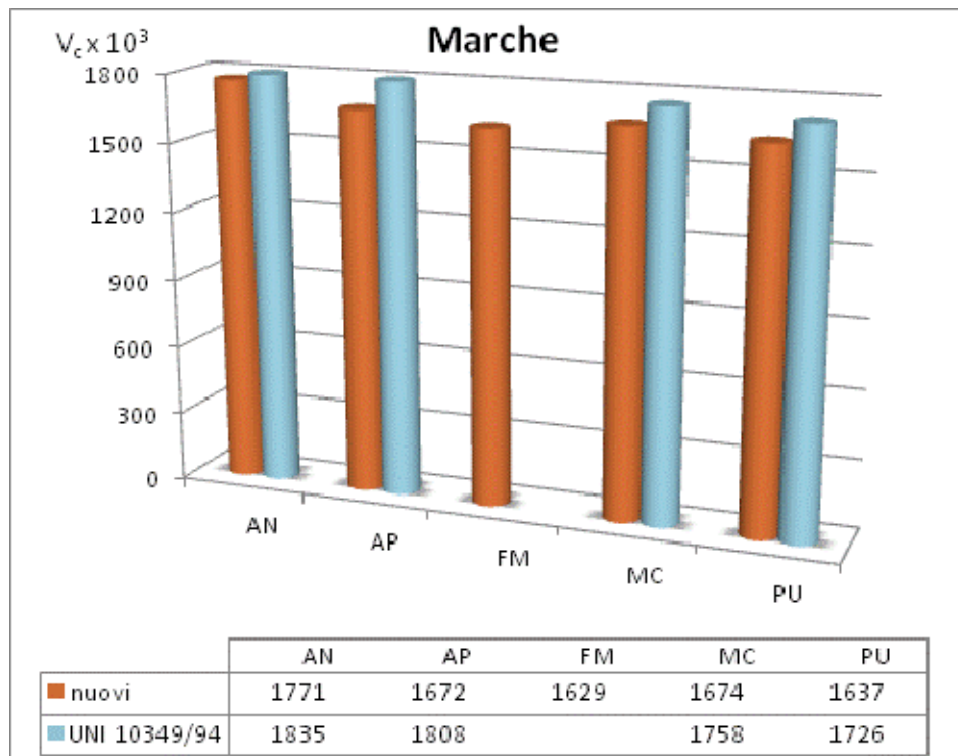
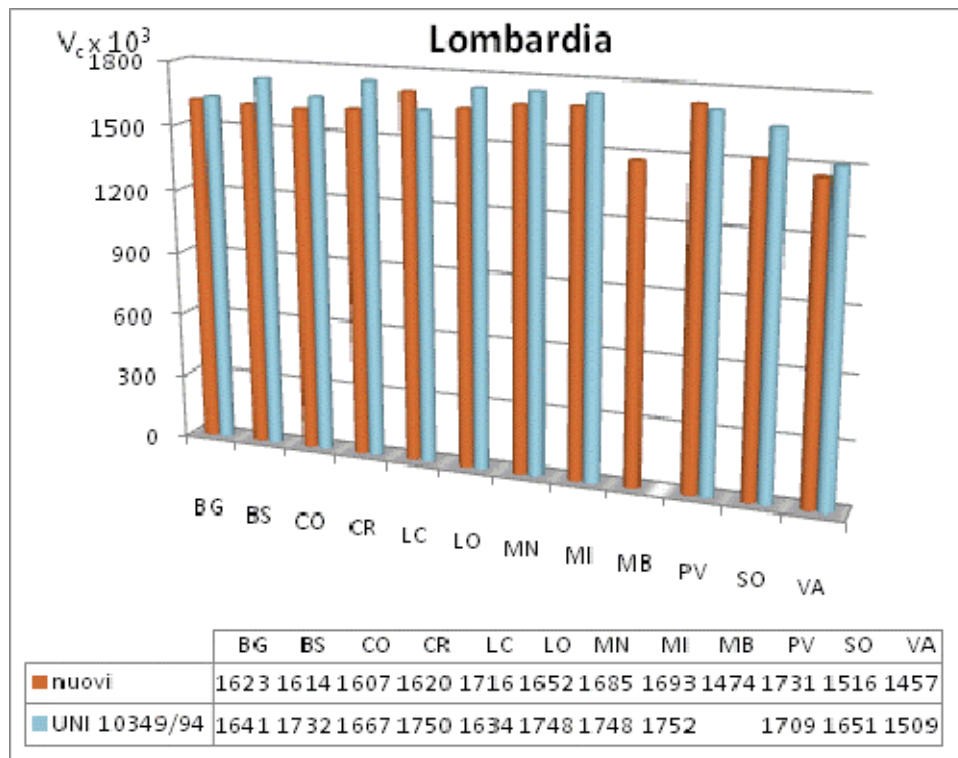


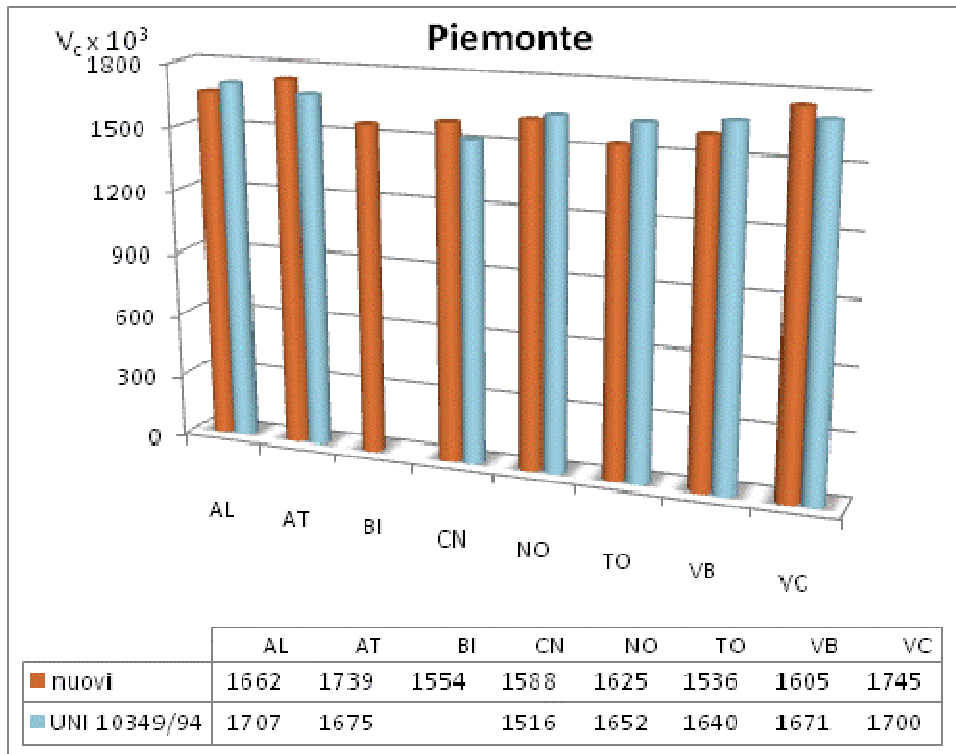
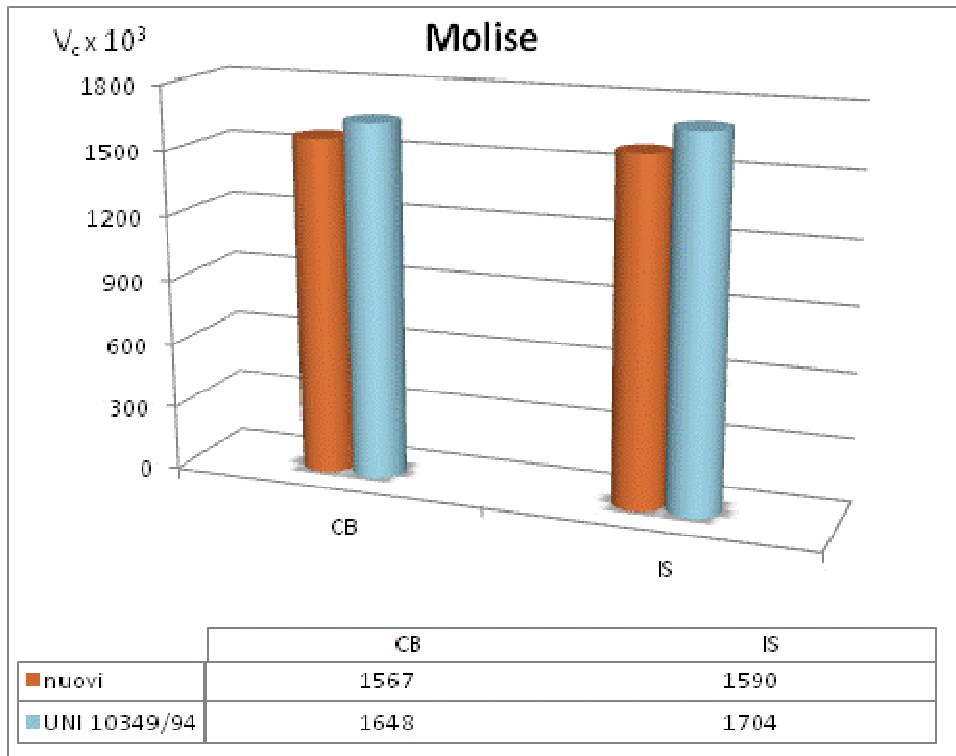


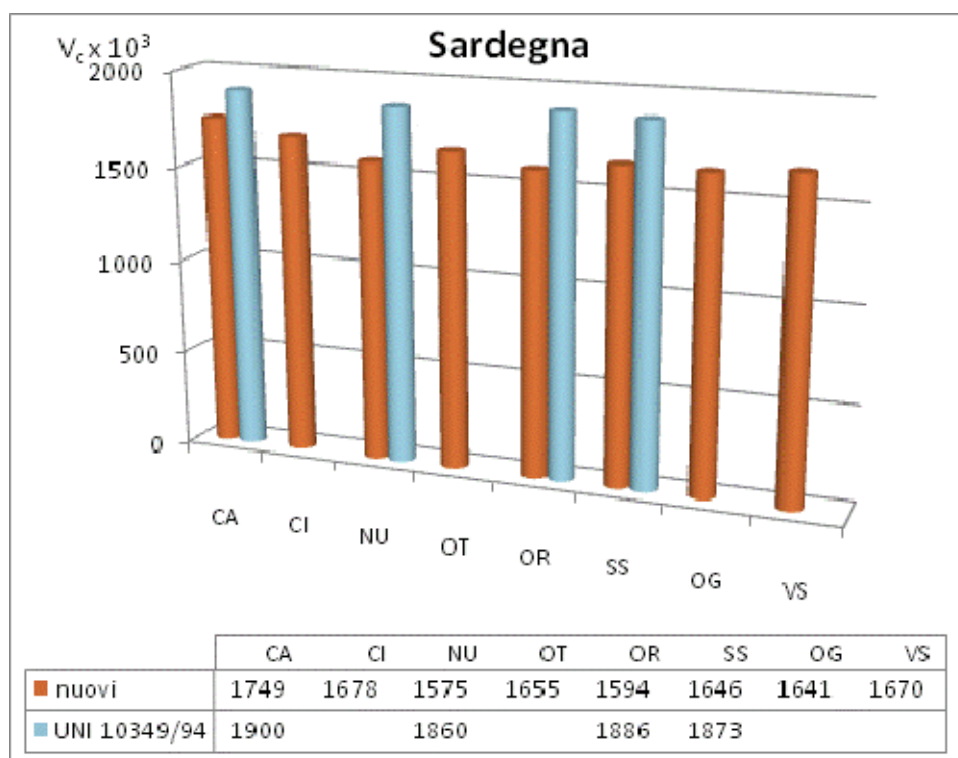
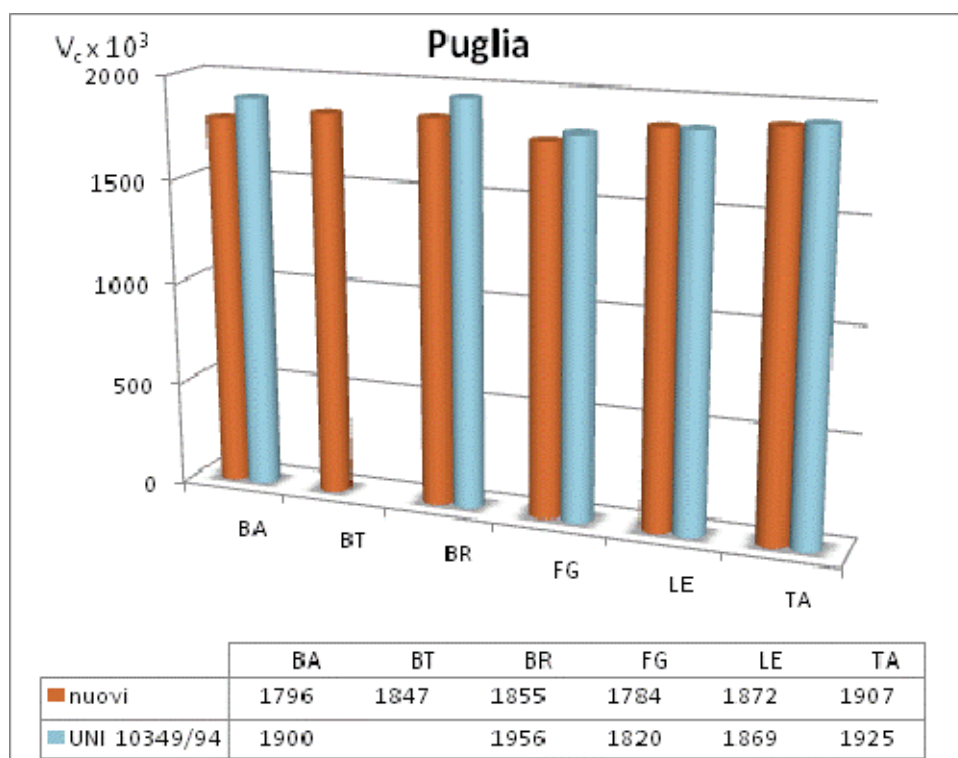


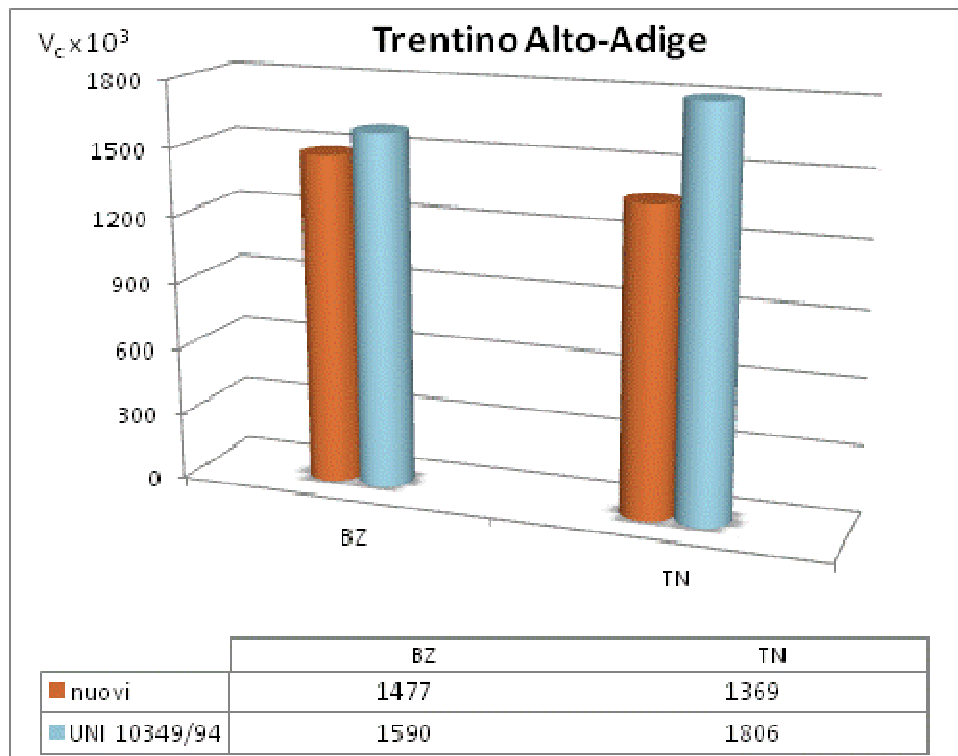
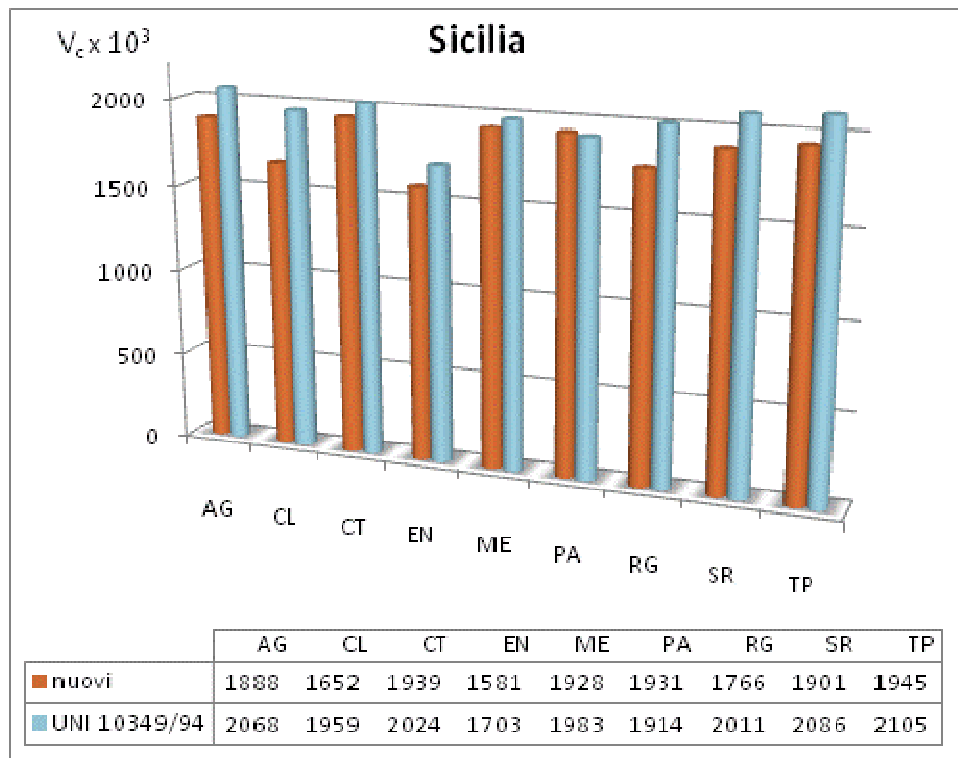


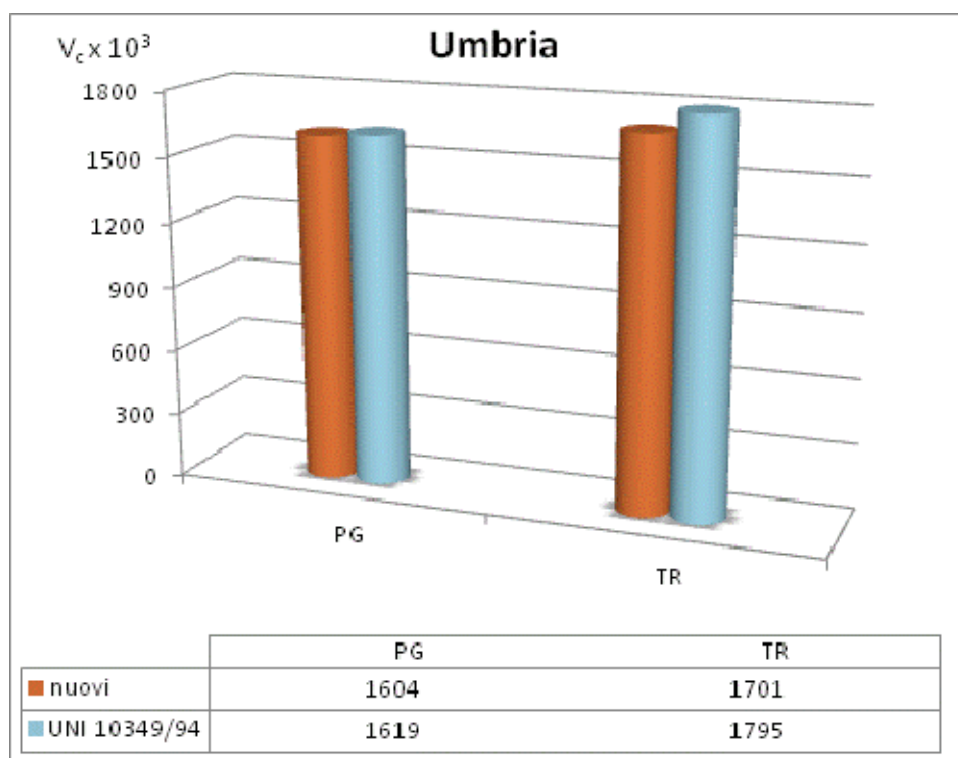
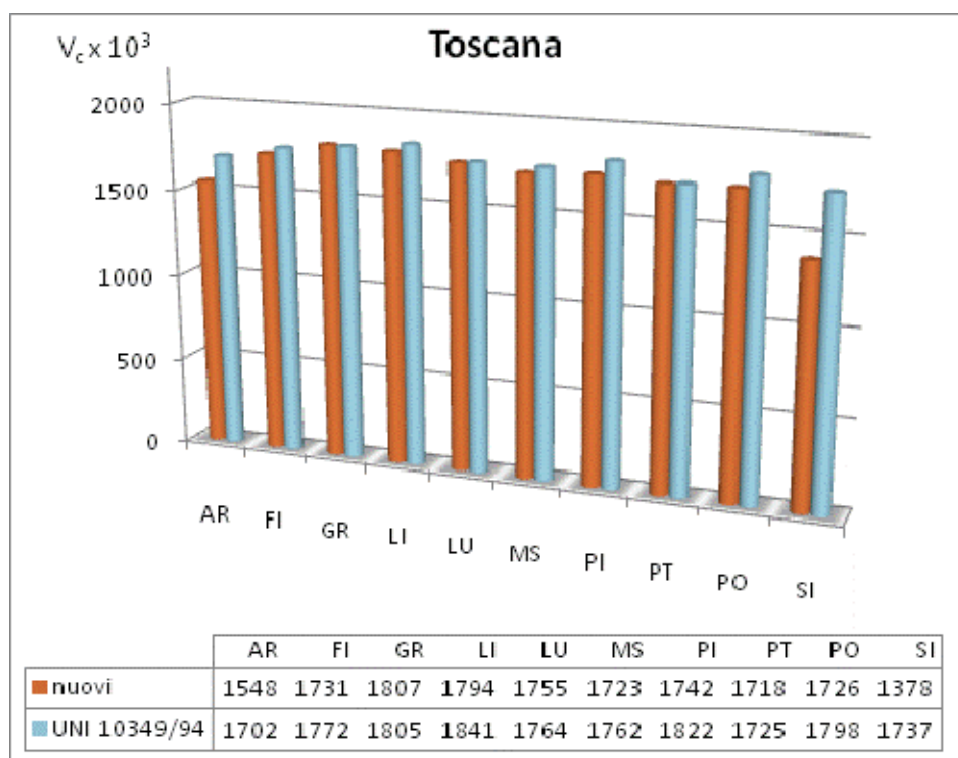




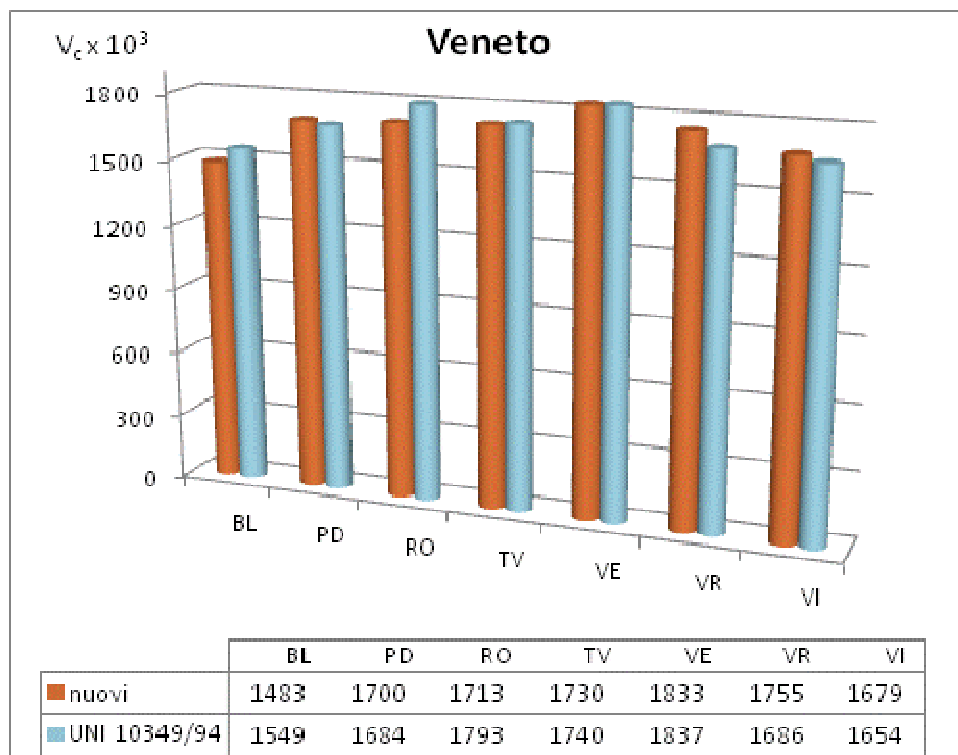
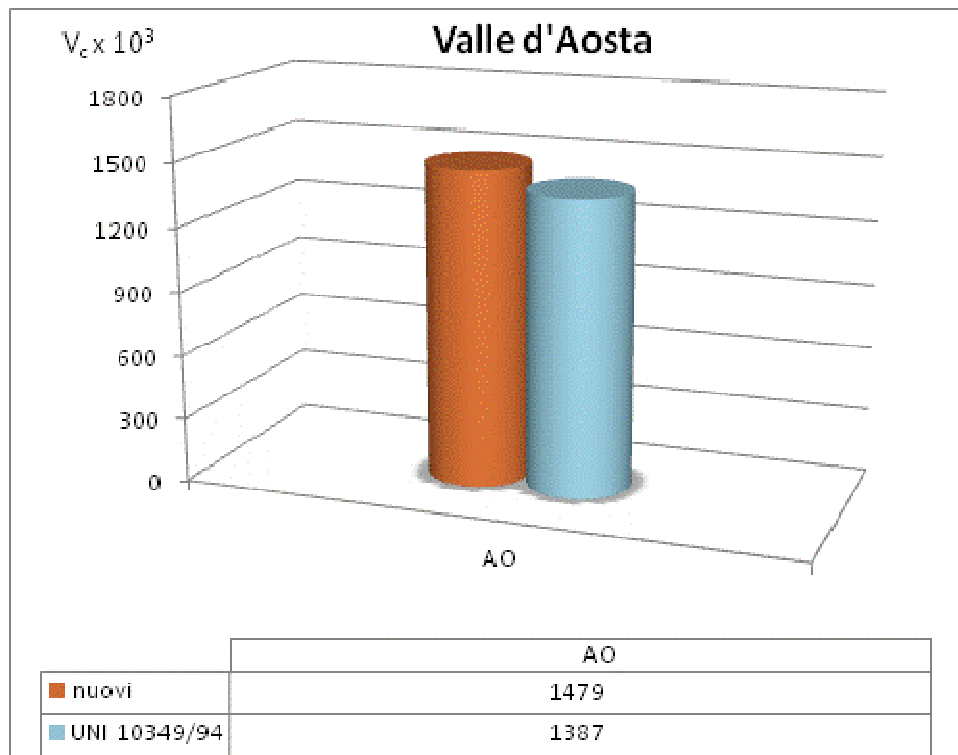












Nelle regioni del centro-sud Italia si hanno, nel passaggio dal vecchio al nuovo database di dati climatici, le variazioni maggiori del modulo del vettore climatico.

In particolare, per la regione Sardegna si hanno riduzioni medie di quasi il 13%, almeno per le località confrontabili (ci sono quattro nuovi capoluoghi di provincia).

Un caso a parte è il Trentino Alto-Adige che è la regione con le variazioni più marcate (> 15%), per effetto dell'importante riduzione dei valori cumulati delle grandezze climatiche di Trento (il nuovo modulo del vettore climatico è circa il 75% del precedente).

## 7 Conclusioni

Nel presente lavoro sono stati calcolati i valori del modulo del vettore climatico sulla base dei nuovi dati della norma UNI 10349 (ancorché non ancora emanata ufficialmente e soggetta, quindi a possibili variazioni) per le 110 località ivi considerate.

I nuovi valori sono stati confrontati con quelli in precedenza ottenuti dalla UNI 10349/94 attualmente vigente e ne sono state evidenziate le differenze.

Le differenze riscontrate sono limitate nella massima parte delle località (per il 90% dei casi la variazione media è del 2,5%), anche se in qualche caso (10 località) lo scostamento appare maggiormente evidente (variazione media di circa il 16%).

Prima dunque di procedere a una revisione della zonizzazione del territorio nazionale proposta in [3] sarà necessario attendere la versione definitiva del nuovo database climatico.

## 8 Ringraziamenti

Gli autori sono grati al caro e stimato collega ing. Francesco Spinelli per le informazioni e i riferimenti che ci ha fornito sulla teoria e la pratica della costruzione dell'anno meteorologico tipo.

## 9 Riferimenti bibliografici

Technical reports:

- [1] Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico, Romeo Carlo, Federici Alessandro (2010).  
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. ENEA Technical Report (RT/2010/18/ENEA).
- [2] Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico (2011). Edifici del settore terziario: seconda applicazione dell'indice di severità climatica "ALL WEATHER". ENEA Technical Report (RT/2011/12/ENEA).
- [3] Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico (2012). Classificazione dei comuni italiani ai fini della classificazione estiva degli edifici. ENEA Technical Report (RT/2012/23/ENEA).
- [4] Terrinoni Luciano (2013). Indice di severità climatica: sul calcolo della superficie orizzontale equivalente di un involucro edilizio ai fini degli effetti termici della radiazione solare. ENEA Technical Report (RT/2013/4/ENEA)
- [5] Terrinoni Luciano (2006). Applicazione di un criterio razionale per la classificazione degli edifici nella certificazione energetica in edilizia. ENEA Technical Report (RT/2006/587/TER).
- [6] Terrinoni Luciano (2008). Un approccio razionale alla definizione delle zone climatiche di un territorio per la regolamentazione dei consumi energetici derivanti dalla climatizzazione degli edifici. ENEA Technical Report (RT/2008/20/TER).

Papers

- [7] Terrinoni Luciano, Iatauro Domenico (2009). 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". Proceedings, AIGE Energy Management Conference, Parma, 4-5 giugno, 2009
- [8] Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico, Romeo Carlo, Federici Alessandro Definizione, analisi e applicazione di un Indice di Severità climatica per la zonizzazione del territorio nazionale ai fini della climatizzazione estiva degli edifici Proceedings, IV Congresso AIGE Energy Management Conference, Roma 26-27 Maggio 2010
- [9] Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico, Romeo Carlo, Federici Alessandro (2010). Definition, analysis and application of a climatic severity index aimed at zoning the Italian territory for summer air conditioning of buildings. International Journal of Heat & Technology, Vol 28, n.2.

- [10] Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico, Romeo Carlo, Federici Alessandro (2010).  
Summer air conditioning of buildings: definition, analysis and application of a climatic severity index aimed at zoning the Italian territory. Proceedings, PALENC 5th European Conference on Energy Performance & Indoor Climate in Buildings
- [12] Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico, Romeo Carlo, Federici Alessandro (2013).  
Climatic Severity Index: definition of summer climatic zones in Italy through the assessment of air conditioning energy need in buildings. CLIMA 2013, 11th REHVA World Congress & the 8th International Conference on IAQVEC Praga 6-19 giugno

## 10 Appendice

Si riporta in quest'appendice il documento, presentato da ENEA al CTI, GL102/SG09, che costituirà una delle appendici informative alla nuova norma UNI 10349-3 come sua parte integrante

	<b>Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente</b> Ente Federato all'UNI Iscritto c/o la Prefettura di Milano nel Registro delle Persone Giuridiche al n. 604 Via Scarlatti 29 - 20124 Milano - P.IVA 11494010157 Tel. +39.02.266.265.1 Fax +39.02.266.265.50 cti@cti2000.it - www.cti2000.it	  
	<b>GL 102 - SG09 "Dati climatici"</b> Coordinatore: prof. Paolo Baggio Project Leader: arch. Anna Martino (02.266265.23 - martino@cti2000.it) Project Assistant: arch. Giovanni Murano (02.266265.22 - murano@cti2000.it)	<b>010209037</b> SC   GL   SG   N.DOC
<b>11/07/2013</b>		

**BOZZA**

**Appendice X (informativa) alla UNI 10349-3:2013**  
**Definizione del Vettore Climatico e dell'Indice di Severità Climatica per la**  
**zonizzazione climatica estiva del territorio nazionale e per la stima del**  
**fabbisogno di energia per la climatizzazione.**

---

**NOTE DI CARATTERE GENERALE:**

Tutti i componenti del GL sono invitati a:

- prendere visione del testo e dei suoi aggiornamenti;
- esprimere eventuali commenti;
- formulare proposte di modifica, sia di carattere tecnico che editoriale/redazionale.

Si invitano altresì i membri del GL ad utilizzare l'apposito *template* scaricabile al link

<http://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=docsupportonormazioneeve>

eventualmente completato da allegati tecnici o altri documenti a supporto delle proposte presentate.

I commenti devono essere inviati all'indirizzo mail: [murano@cti2000.it](mailto:murano@cti2000.it)

---

CTI - Milano. Riproduzione Vietata. Il presente documento può essere utilizzato e circolato esclusivamente nell'ambito del gruppo in intestazione. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza il consenso scritto di CTI.

010209037 - DRAFT\_Appendice\_UNI 10349-3

Pagina 1 di 8



### X.1 Scopo e campo di applicazione

La presente appendice definisce:

- un parametro climatico (avente la caratteristica di una grandezza vettoriale) che integra le caratteristiche climatiche che influenzano il fabbisogno di energia per la climatizzazione (temperatura e umidità dell'aria esterna, irradianza solare sul piano orizzontale) nel periodo temporale di climatizzazione  $T$  e che è denominato *vettore climatico*  $\vec{V}_C$ .
- un parametro fisico-geometrico (avente anch'esso la caratteristica di una grandezza vettoriale) che integra le proprietà geometriche e fisiche dell'edificio che influenzano il fabbisogno di energia per la climatizzazione (volume interno, numero di ricambi d'aria, trasmittanze dell'involucro, superfici soggette a irraggiamento solare...) e che è denominato *vettore edificio*  $\vec{V}_B$ .
- un parametro energetico (avente le caratteristiche di una grandezza scalare) che rappresenta l'energia necessaria per la climatizzazione nel periodo temporale  $T$ , normalizzata tramite il modulo del vettore edificio  $\vec{V}_B$  e che è denominato *Indice di Severità Climatica C*.

È possibile stabilire una relazione semplice tra l'Indice di Severità Climatica  $C$  e il vettore climatico  $\vec{V}_C$ , definibile per ogni località, che consente quindi di assegnare a ogni sito un fabbisogno di energia di climatizzazione normalizzato e che, organizzato in classi discrete di valori  $C$ , definisce la zona climatica estiva di appartenenza del sito. Se, per un edificio qualsiasi, è noto il vettore edificio  $\vec{V}_B$ , è possibile anche stimare il fabbisogno di energia di climatizzazione in un'assegnata località avente vettore climatico  $\vec{V}_C$ .

### X.2 Il fabbisogno di energia di climatizzazione

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 interno (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 e umidità assoluta -titolo di vapore- dell'aria esterna e irradianza 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. Si può scrivere la seguente relazione:

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

Le variabili  $\Theta$ ,  $X$  e  $Y$  rappresentano, rispettivamente, la temperatura e l'umidità assoluta dell'aria esterna e l'irradianza globale sul piano orizzontale,  $\left\{\theta_e, x_e, I_h\right\}$ , medie nel periodo  $T$  (caratteristiche climatiche del sito), mentre  $\Theta_{ref}$ ,  $X_{ref}$  e  $Y_{ref}$  sono valori di riferimento per le stesse variabili. Si ha quindi:

$$\Theta = \frac{1}{T} \int_T \theta_e dt \quad X = \frac{1}{T} \int_T x_e dt \quad Y = \frac{1}{T} \int_T I_h dt$$

Se il fabbisogno energetico  $E$  per la climatizzazione è calcolato con un metodo stazionario (in accordo con le UNI/TS 11300, per esempio), la relazione precedente è esplicitabile, ed è semplice verificarlo, come:

$$\frac{E}{VT} = A\Theta + BX \pm CY - [A\Theta + BX \pm CY]_{ref}$$

dove il segno negativo vale per il riscaldamento invernale e il segno positivo per il raffrescamento estivo. I coefficienti  $A$ ,  $B$  e  $C$  sono legati alle caratteristiche fisico-geometriche dell'edificio.

Se il fabbisogno energetico  $E$  per la climatizzazione è calcolato, invece, con un metodo non stazionario (dinamico), la dipendenza di  $E$  dalle caratteristiche climatiche sarà, in generale, non lineare ed entreranno, inoltre, in gioco effetti capacitivi che influenzeranno l'evoluzione nel tempo del fabbisogno stesso. L'influenza di tali effetti su  $E$ , calcolato su un periodo lungo (stagionale) e che comprende quindi molti cicli giornalieri, saranno comunque limitati a causa della tendenza delle fasi di accumulo di energia a compensare le fasi di cessione della stessa da parte delle capacità dell'edificio.

In tal caso l'espressione di  $E$  si può sviluppare in serie di potenze di Taylor intorno a un valore qualsiasi appartenente al dominio delle variabili  $\Theta$ ,  $X$  e  $Y$ . Arrestando lo sviluppo al termine lineare si ottiene:

$$\frac{E}{VT} = A\Theta + BX \pm CY - [A\Theta + BX \pm CY]_{ref}$$

formalmente analoga alla precedente.

### X.3 Il fabbisogno di energia di climatizzazione come prodotto scalare tra vettori caratteristici

S'introducono ora i 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:

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

- la componente  $A$  contiene essenzialmente informazioni relative alla trasmittanza delle superfici disperdenti, alla superficie disperdente totale e al numero dei ricambi d'aria del volume interno ai fini del salto termico esterno-interno.
- la componente  $B$  dipende dal numero dei ricambi d'aria del volume interno ai fini della differenza di umidità relativa esterna-interna.
- la componente  $C$  contiene informazioni sulle superfici dell'involucro soggette a radiazione solare e sulle loro caratteristiche radianti.

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

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

È allora possibile scrivere l'espressione lineare di  $E$  nella seguente forma di prodotto scalare tra vettori:

$$\frac{E}{VT} = \vec{V}_B \cdot \vec{V}_C - \vec{V}_B \cdot \vec{V}_{C,ref}$$

Esplicitando i prodotti scalari si ha:

CTI - Milano. Riproduzione Vietata. Il presente documento può essere utilizzato e circolato esclusivamente nell'ambito del gruppo in interstazione. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopi e, microfilm o altro, senza il consenso scritto di CTI.



$$\frac{E}{VT} = |\vec{V}_B| |\vec{V}_C| \cos \omega - |\vec{V}_B| |\vec{V}_{C,rif}| \cos \omega_{rif}$$

dove, manifestamente,  $\omega$  e  $\omega_{rif}$  sono gli angoli tra i vettori  $[\vec{V}_B, \vec{V}_C]$  e  $[\vec{V}_B, \vec{V}_{C,rif}]$ , rispettivamente.

L'orientamento nello spazio dei vettori è definito dai tre coseni direttori della loro direzione nei rispettivi spazi tridimensionali delle loro componenti (in uno spazio bidimensionale l'orientamento sarebbe rappresentato dalla fase dei vettori).

#### X.4 L'Indice di Severità Climatica estivo

Considerando che il vettore  $\vec{V}_C$ , pur variando il suo modulo, nelle varie località del territorio nazionale, entro un campo notevole, è comunque contenuto in un angolo solido dello spazio  $\{\Theta, X, Y\}$  delle variabili climatiche limitato (esiste infatti una buona correlazione tra tali variabili), con un'opportuna scelta di  $\vec{V}_{C,rif}$  e quindi anche dei suoi coseni direttori, ci si può riportare alla condizione media:

$$\cos \omega \cong \cos \omega_{rif}$$

la quale implica una dipendenza di  $\omega$  solo dall'orientamento del vettore edificio  $\vec{V}_B$ , dipendente, a sua volta, dai rapporti tra le sue componenti.

In tal caso si può scrivere l'espressione linearizzata di  $E$  come:

$$C = \frac{E}{VT |\vec{V}_B| \cos \omega_{rif}} \cong |\vec{V}_C| - |\vec{V}_{C,rif}|$$

che realizza la separazione pratica tra fattori che dipendono dal clima e fattori che dipendono dall'edificio, separazione che è essenziale per la definizione di un qualsiasi indice di severità climatica.

**Il parametro  $C$  così definito rappresenta il fabbisogno di energia per la climatizzazione estiva normalizzata con le caratteristiche globali dell'edificio, indipendente quindi da queste, ma dipendente dalle caratteristiche climatiche globali.**

Il fattore  $C$ , nel modello proposto, dipende linearmente dal modulo del vettore climatico  $|\vec{V}_C|$ , funzione delle sole variabili climatiche.

Il modulo del vettore climatico,  $|\vec{V}_C|$  può essere quindi utilizzato per una suddivisione del territorio nazionale in fasce climatiche estive (zonizzazione) che rispecchino il fabbisogno energetico per la climatizzazione poiché, secondo quanto esposto, è univocamente legato all'**Indice di Severità climatica  $C$**  che costituisce l'**immagine energetica** delle variabili climatiche "proiettate" sull'edificio.

#### X.5 Validazione del modello proposto per la climatizzazione estiva

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 analysis) delle 101 località per le quali sono attualmente disponibili i dati climatici in accordo alla norma UNI 10349/1994. I volumi lordi delle due tipologie di edifici considerati variavano nel rapporto 1:7.

CTI - Milano. Riproduzione Vietata. Il presente documento può essere utilizzato e circolato esclusivamente nell'ambito del gruppo in intestazione. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopia, microfilm o altro, senza il consenso scritto di CTI.



Nel corso di tale verifica è emersa l'opportunità di calibrare l'espressione proposta con l'introduzione di un fattore  $k(\mu)$ , dipendente così debolmente dalla massa dell'edificio tanto da poterlo considerare come costante, che tiene conto dei residui effetti capacitivi:

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

Per tenere, inoltre, nel dovuto conto il fatto che la linearizzazione è stata effettuata su un punto dello spazio delle variabili climatiche  $\{\Theta, X, Y\}$  e che si cerca una espressione valida in tutto il campo delle variabili climatiche che comprende il territorio nazionale, i risultati delle simulazione effettuate sono stati interpolati con un polinomio di secondo grado in  $\left| \vec{V}_C \right| - k(\mu) \left| \vec{V}_{C,rf} \right|$ .

In definitiva la relazione che lega l'Indice di Severità Climatica con il modulo del vettore climatico è del tipo:

$$C = c_1 + c_2 \left[ \left| \vec{V}_C \right| - k(\mu) \left| \vec{V}_{C,rf} \right| \right] + c_3 \left[ \left| \vec{V}_C \right| - k(\mu) \left| \vec{V}_{C,rf} \right| \right]^2$$

#### X.6 Applicazione semplificata del modello proposto per la climatizzazione invernale

È di qualche interesse considerare l'applicazione dell'Indice al caso di riscaldamento invernale considerando, come variabile climatica dominante, la sola variabile temperatura e non considerando altresì i ricambi d'aria.

In tal caso il modulo del vettore edificio si riduce alla sola componente  $\hat{A}$ , rappresentata dal rapporto  $\frac{S}{V}$  tra la superficie disperdente totale  $S$  e volume interno  $V$ , moltiplicato per la trasmittanza media, valutata come media ponderata con le superfici disperdenti delle singole trasmittanze, dell'involucro,  $U_{eq}$ :

$$\hat{A} = \frac{S}{V} U_{eq}$$

Per l'Indice di Severità Climatica invernale semplificato si ottiene:

$$C = \frac{E}{VT \hat{A}} = \frac{E}{TSU_{eq}} = [\Theta - \Theta_{rf}] = \frac{GGI}{T}$$

In altre parole, nel caso considerato, l'Indice s'identifica con i gradi-giorno invernali GGI.

#### X.7 Le proprietà dell'Indice di Severità Climatica per la stima del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva.

Riprendiamo la relazione tra Indice di Severità Climatica e modulo del vettore climatico:

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

dove:

$$C = \frac{E}{VT \left| \vec{V}_B \right| \cos \omega_{rf}}$$



Si abbiano due località (contraddistinte dai pedici 1 e 2) individuate da due differenti valori del modulo del vettore climatico  $|\vec{V}_{c1}|$  e  $|\vec{V}_{c2}|$ . In corrispondenza di questi due valori si calcolano i valori  $C_1$  e  $C_2$  tramite la relazione proposta.

- Il rapporto tra i fabbisogni energetici per la climatizzazione per uno stesso edificio, posto una volta nella località 1 e una volta nella località 2, indicati con  $E_1$  e  $E_2$  sarà coincidente con il rapporto tra  $C_1$  e  $C_2$ :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

Conoscendo quindi il fabbisogno energetico per la climatizzazione di un edificio in una località, si può stimare il fabbisogno nel caso che lo stesso edificio sia posto in un'altra località.

Si abbiano ora, invece, due edifici differenti,  $a$  e  $b$ , con parametri  $[\vec{V}_b | \cos \omega_{ij}]_a$  e  $[\vec{V}_b | \cos \omega_{ij}]_b$ , rispettivamente, che insistono in una stessa località il cui vettore climatico sia  $|\vec{V}_c|$  e il cui valore dell'Indice di Severità Climatica sia  $C$ :

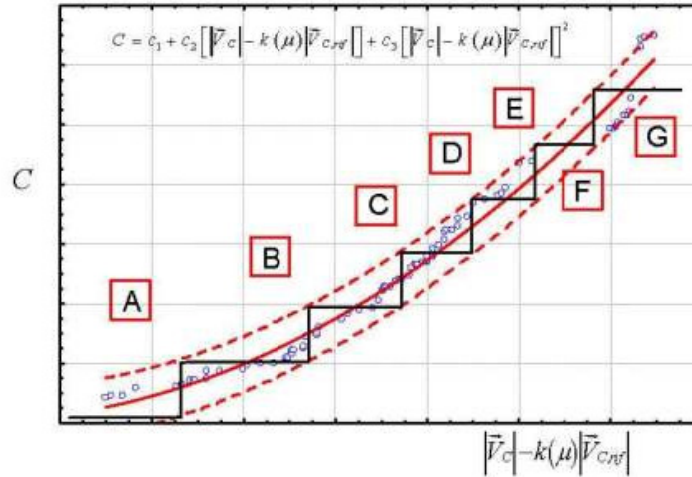
- Il rapporto tra i fabbisogni energetici per la climatizzazione dei due edifici sarebbe dato da:

$$\frac{E_a}{E_b} = \frac{[\vec{V}_b | \cos \omega_{ij}]_a}{[\vec{V}_b | \cos \omega_{ij}]_b}$$

**X.8 Impiego dell'Indice di Severità Climatica per la zonizzazione climatica estiva del territorio.**

Il grafico seguente rappresenta i risultati ottenuti dal calcolo dinamico del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva nelle venti località campione considerate, insieme con la zonizzazione climatica proposta:

Indice di Severità Climatica C  
intervallo di previsione 0.95



Le classi, individuate in accordo al criterio dell'intervallo di previsione al 95% ( $\pm 2\sigma$ ), sono sette, contraddistinte dalle lettere da A a G in ordine crescente di severità climatica estiva, cioè di fabbisogno di energia per la climatizzazione.

Per la zonizzazione estiva del territorio nazionale è stato in realtà impiegato un vettore climatico trasformato secondo la seguente procedura:

*si intende come vettore climatico di un sito quel vettore le cui componenti sono date dal rapporto tra le grandezze climatiche cumulate per il sito nel periodo T, normalizzate ciascuna rispetto al valor medio delle stesse componenti negli n siti del campione climatico del territorio nazionale per i quali è stato calcolato esplicitamente, con metodo dinamico, il fabbisogno energetico estivo. Operando in tal modo si sono rese indipendenti dalle rispettive dimensioni e unità di misura le variabili climatiche considerate:*

$$\left| \bar{V}_c \right| = \sqrt{\bar{\Theta}_e^2 + \bar{X}_e^2 + \bar{Y}_e^2}$$

$$\bar{\Theta}_e = \frac{\int \vartheta_e dt}{T} = \frac{\Theta_e}{T} \quad \text{con} \quad \Theta_e = \frac{1}{n} \sum_n \left[ \int \vartheta_e dt \right]_n$$

$$\bar{X}_e = \frac{\int x_e dt}{T} = \frac{X_e}{T} \quad \text{con} \quad X_e = \frac{1}{n} \sum_n \left[ \int x_e dt \right]_n$$

$$\bar{Y}_e = \frac{\int I_h dt}{T} = \frac{Y_e}{T} \quad \text{con} \quad Y_e = \frac{1}{n} \sum_n \left[ \int I_h dt \right]_n$$

Di conseguenza sarà modificata anche la definizione del vettore edificio:

CTI - Milano. Riproduzione Vietata. Il presente documento può essere utilizzato e circolato esclusivamente nell'ambito del gruppo in interazione. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopia, microfilm o altro, senza il consenso scritto di CTI.



$$|\bar{V}_B| = \sqrt{[A\Theta_*]^2 + [B X_*]^2 + [C Y_*]^2}$$

**Bibliografia**

Terrinoni Luciano (2006). Applicazione di un criterio razionale per la classificazione degli edifici nella certificazione energetica in edilizia. ENEA Technical Report (RT/2006/587/TER).

Terrinoni Luciano (2008). Un approccio razionale alla definizione delle zone climatiche di un territorio per la regolamentazione dei consumi energetici derivanti dalla climatizzazione degli edifici. ENEA Technical Report (RT/2008/20/TER).

Terrinoni Luciano, Iatauro Domenico (2009). 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". Proceedings, AIGE Energy Management Conference, Parma, 4-5 giugno, p. 59.

Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico, Romeo Carlo, Federici Alessandro (2010). 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. ENEA Technical Report (RT/2010/18/ENEA).

Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico, Romeo Carlo, Federici Alessandro (2010). Definition, analysis and application of a climatic severity index aimed at zoning the Italian territory for summer air conditioning of buildings. International Journal of Heat & Technology, Vol 28, n.2.

Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico, Romeo Carlo, Federici Alessandro (2010). Summer air conditioning of buildings: definition, analysis and application of a climatic severity index aimed at zoning the Italian territory. Proceedings, PALENC 5th European Conference on Energy Performance & Indoor Climate in Buildings

Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico (2011). Edifici del settore terziario: seconda applicazione dell'indice di severità climatica "ALL WEATHER". ENEA Technical Report (RT/2011/12/ENEA).

Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico (2012). Classificazione dei comuni italiani ai fini della classificazione estiva degli edifici. ENEA Technical Report (RT/2012/23/ENEA).

Terrinoni Luciano (2013). Indice di severità climatica: sul calcolo della superficie orizzontale equivalente di un involucro edilizio ai fini degli effetti termici della radiazione solare. ENEA Technical Report (RT/2013/4/ENEA)

Terrinoni Luciano, Signoretti Paolo, Iatauro Domenico, Romeo Carlo, Federici Alessandro (2013). Climatic Severity Index: definition of summer climatic zones in Italy through the assessment of air conditioning energy need in buildings. CLIMA 2013, 11th REHVA World Congress & the 8th International Conference on IAQVEC Praga 6-19 giugno