

Maurizio FROLI – Riccardo BARSOTTI – Angelo LIBERTÀ – Luigi PERINI

**MAPPE DELLE TEMPERATURE ESTREME DELL'ARIA IN
ITALIA PER LA STIMA DELLE AZIONI TERMICHE NEI PONTI
SECONDO L'EUROCODICE 1**

ESTRATTO DAL *GIORNALE DEL GENIO CIVILE*
Fascicolo 4°-5°-6° – APRILE-MAGGIO-GIUGNO 1994

ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO – ROMA

MAPPE DELLE TEMPERATURE ESTREME DELL'ARIA IN ITALIA PER LA STIMA DELLE AZIONI TERMICHE NEI PONTI SECONDO L'EUROCODICE 1

Maurizio FROLI (*) - Riccardo BARSOTTI (**) - Angelo LIBERTÀ (***) - Luigi PERINI (****)

SOMMARIO: Nella presente nota si illustra il procedimento seguito per il tracciamento delle mappe delle isoterme delle massime e minime temperature dell'aria all'ombra attese sul territorio italiano, al livello del mare, con tempi di ritorno cinquantennali.

Le mappe consentono, attraverso la correlazione suggerita dalla versione ENV 1991 della parte 2.5: «Thermal Actions» dell'Eurocodice 1: «Basis of Design and Actions on Structures», di stimare i valori estremi delle temperature medie indotte dal clima nei ponti italiani durante la loro vita di esercizio, qualunque sia il sito di costruzione.

Un confronto tra le temperature medie previste per questa via e quelle misurate nel corso del monitoraggio del viadotto Casilina mette in evidenza il grado di accuratezza ottenuto nel caso specifico con il metodo proposto nell'Eurocodice.

Summary: This paper explains the procedure followed to plot the isotherms of the maximum and minimum air temperatures likely to be experienced in Italy, at sea level, with a return time of 50 years.

The maps allow, through the correlation suggested in the version ENV 1991 of Part 2.5 «Thermal Actions» of the Eurocode 1 «Basis of Design and Actions on Structures», the estimation of the extreme values of the mean temperatures which are induced by the climate in the Italian bridges during their service life, whatever be their place of construction.

A comparison between the mean temperatures of reinforced concrete bridges estimated by this procedure and those measured during the monitoring of Casilina bridge, evidences the accuracy degree reached in the specific case with the method proposed in the Eurocode.

1. — Introduzione.

Nel corso del suo esercizio ciascuna sezione trasversale di un ponte a travata compie dei movimenti longitudinali proporzionali alle variazioni che la temperatura media del ponte subisce rispetto a quella posseduta negli istanti in cui esso ha acquisito la sua configurazione finale di vincolamento esterno.

Questi movimenti influenzano in modo importante la progettazione strutturale al servizio dei ponti perché da essi dipendono le dimensioni ed il numero dei giunti di dilatazione e degli appoggi scorrevoli. Nel caso in cui alcuni vincoli impediscano in tutto o in parte l'esplicazione di questi movimenti, nella struttura vengono indotti inoltre stati di coazione che possono comprometterne la funzionalità e la sicurezza.

La disponibilità di indicazioni il più possibile vicine alla realtà sulle variazioni estreme della temperatura media attese, con una assegnata probabilità, su una struttura da ponte, risulta dunque necessaria per condurre la progettazione in modo corretto.

Il problema è reso complesso dal fatto che, anzitutto, la risposta termica di un ponte dipende, a rigore, dal decorso temporale di numerose variabili climatiche, di tipo aleatorio, che cambiano generalmente da regione a regione. Inoltre, esso dipende dalla geometria della sezione trasversale, dall'orientazione dell'asse del ponte rispetto al nord geografico e dal tipo di materiali utilizzati per la sua costruzione [1], [2], [3].

(*) Dipartimento di Ingegneria Strutturale dell'Università di Pisa.

(**) IX ciclo di Dottorato in Ingegneria delle Strutture - Università di Firenze.

(***) Finsiel SpA (SIAN) Roma.

(****) Ufficio Centrale Ecologia Agraria, Roma.

Nota pervenuta il 31 gennaio 1997.

Lo stato attuale delle conoscenze consente peraltro di descrivere per via teorica, con sufficiente accuratezza, l'andamento temporale del campo termico di un ponte a travata, di forma e materiale qualsiasi, posto in una località della quale si conoscano i decorsi giornalieri delle principali variabili climatiche [4], [5], [6]. Dall'andamento temporale del campo termico si deducono in particolare gli andamenti della temperatura media efficace e dei gradienti lineari verticale ed orizzontale, responsabili rispettivamente dei movimenti assiali e delle rotazioni delle sezioni del ponte nei piani verticale ed orizzontale. Non sono state però ancora compiute per questa via indagini parametriche in numero sufficiente per individuare i legami diretti tra le principali variabili climatiche e le componenti del campo termico che consentirebbero di ottenere le informazioni ricercate senza dover eseguire, volta per volta, un'analisi numerica ad hoc.

Un'eccezione in tal senso è costituita dalla componente temperatura media efficace⁽¹⁾ del ponte. Infatti, i risultati di una estesa indagine sperimentale svolta da *M. Emerson* ([8], [9], [10]) su ponti britannici in calcestruzzo, in sistema misto ed in acciaio, hanno consentito di stabilire correlazioni empiriche di tipo approssimativamente lineare tra le temperature medie massime e minime di queste tre categorie di ponti e le temperature massime e minime dell'aria all'ombra [v. figura (1)].

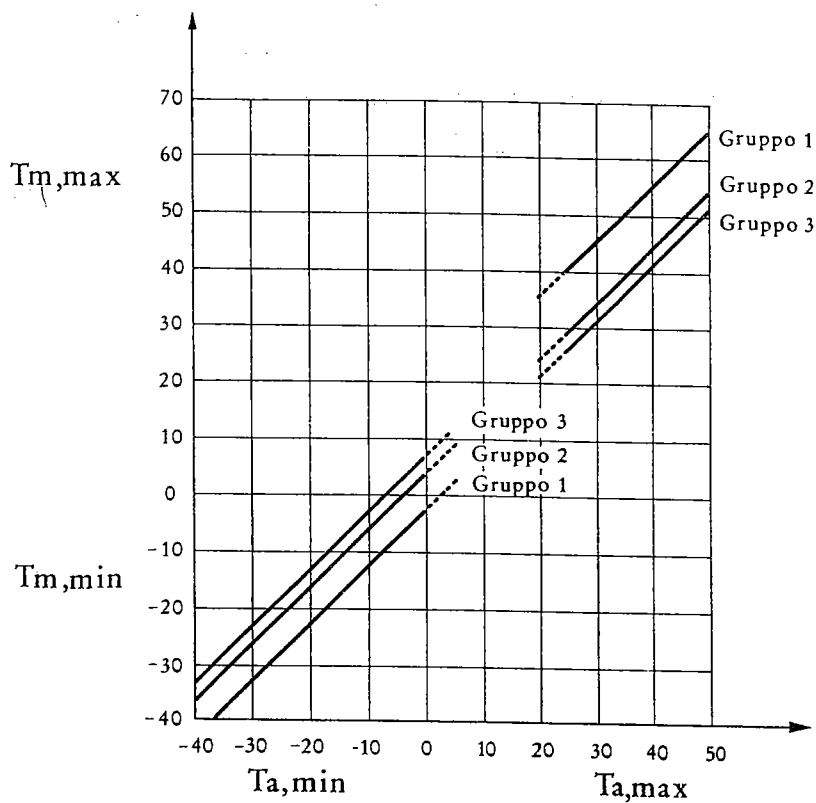


Fig. 1 - Correlazioni tra le massime e minime temperature medie dei ponti in acciaio (Gruppo 1), in sistema misto acciaio-calcestruzzo (Gruppo 2) ed in calcestruzzo (Gruppo 3) e la temperatura dell'aria adottate nell'Eurocodice 1 e basate sulle indagini di M. Emerson [8].

Introducendo in queste correlazioni empiriche i valori cinquantennali della temperatura dell'aria all'ombra sulle isole britanniche, la *Emerson* ha eseguito delle stime sui corrispondenti valori estremi delle temperature medie dei ponti che si sono rivelate in buon accordo anche con misure sperimentali eseguite su ponti britannici in epoche successive a quelle delle osservazioni.

(1) Per brevità parleremo nel seguito di temperatura media di un ponte intendendo con ciò la sua temperatura media efficace definita, ad esempio, nel riferimento [7].

Il procedimento è stato perciò posto alla base delle norme BS5400 [11] ed adottato anche dalle svizzere SIA 160 [12] in seguito ai risultati degli studi svolti da *Lebet* e *Badoux* [13] per la definizione delle variazioni di temperatura media nei ponti elvetic.

Nel corso dei recenti lavori di redazione della Parte 2.5 dell'Eurocodice 1 le correlazioni della *Emerson* sono state controllate sulla base delle misure di temperatura condotte in Germania su ponti di vario tipo al fine di accertarne l'applicabilità anche per ponti situati in regioni dal clima diverso da quello delle isole britanniche. I controlli hanno dato risultati soddisfacenti, tenuto debito conto della dispersione e della relativa carenza di dati sperimentali.

In Italia controlli di questo genere hanno potuto essere effettuati utilizzando i risultati del monitoraggio termico triennale condotto sul viadotto in calcestruzzo armato precompresso Casilina [6]. Ad esempio, la distribuzione delle minime giornaliere delle temperature medie del Casilina è riprodotta, assieme alla propria retta interpolare, nel grafico della figura (2) che contiene anche la corrispondente correlazione trovata dalla *Emerson* su ponti a travata in calcestruzzo dotati di sezioni trasversali di forma varia.

La quasi perfetta coincidenza tra la retta interpolare delle misure sul Casilina e la retta della *Emerson* conferma l'ipotesi (sulla quale sono fondate anche le SIA), che esista una corrispondenza non dipendente dal luogo di ubicazione e dal clima tra la temperatura media di ponti appartenenti alla stessa categoria e la temperatura dell'aria.

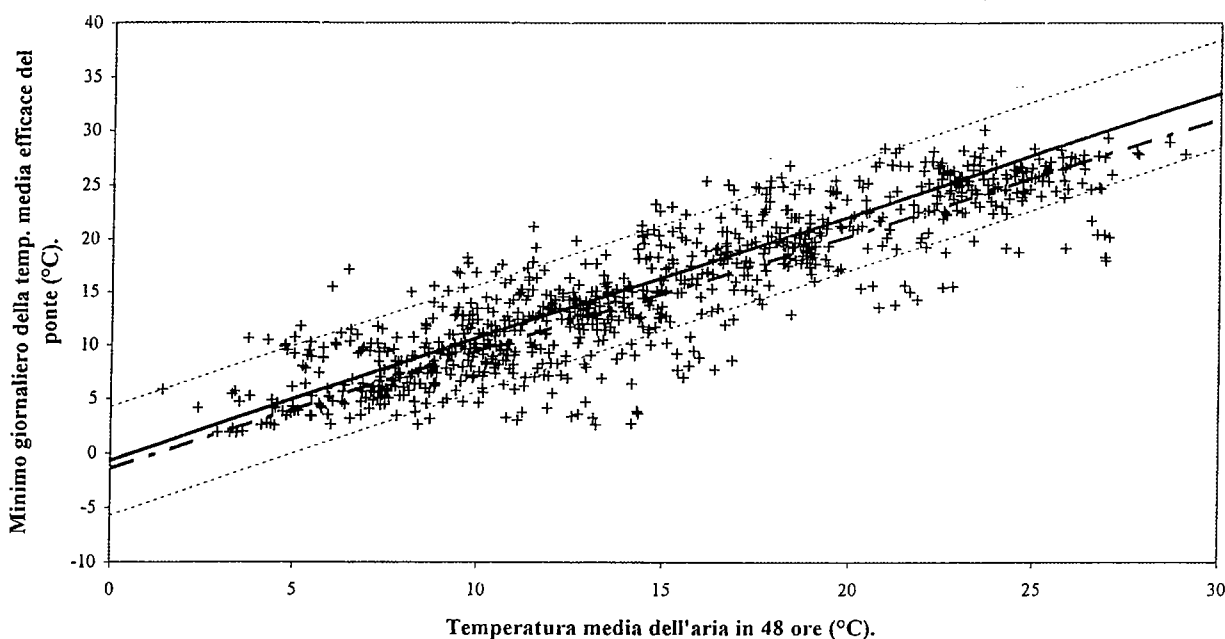


Fig. 2 - Correlazione sperimentale tra le minime giornaliere della temperatura media efficace del ponte Casilina e la media su 48 ore della temperatura dell'aria all'ombra. Nella figura è riportata la retta di compenso dell'insieme dei dati (linea tratto e punto) e quella suggerita da Emerson (linea continua) [8].

Per questo motivo, ed in virtù della estrema semplicità e praticità del procedimento di cui si è fatto cenno, esso è stato adottato nell'Eurocodice 1. A ciascun paese europeo è stato perciò chiesto di produrre le proprie mappe delle temperature dell'aria all'ombra cinquantennali, riportate al livello del mare attraverso opportuni gradienti altimetrici. Una volta individuati i valori estremi relativi alla località in esame è possibile dedurre in modo spedito, mediante le correlazioni empiriche di figura 1, i valori caratteristici superiore ed inferiore della temperatura media del ponte.

La presente nota illustra il metodo seguito per tracciare, in questo ambito, le mappe italiane delle isoterme delle temperature estreme cinquantennali dell'aria all'ombra, al livello del mare.

2. — Misura e raccolta delle temperature dell'aria.

I dati di temperatura utilizzati in questo lavoro sono stati desunti dalla Banca Dati Agrometeorologica Nazionale del SIAN (Servizio Informativo Agricolo Nazionale del Ministero delle Risorse Agricole Alimentari e Forestali - MiRAAF) che rappresenta la prima raccolta organica di informazioni meteorologiche riguardanti l'Italia.

Questa base informativa oltre a disporre delle serie storiche relative alle stazioni dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA) raccoglie anche, grazie a specifici accordi di collaborazione o di convenzioni, i dati prodotti da diversi altri enti che gestiscono reti di monitoraggio meteorologico come, ad esempio, il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (SMAM), il Servizio Idrografico e vari servizi regionali.

Tenuto conto degli obiettivi della presente indagine, sono stati selezionati su tutto il territorio nazionale 373 punti stazione, afferenti all'UCEA e al SMAM, caratterizzati da serie storiche di dati sufficientemente lunghe da poter essere significativamente considerate di interesse climatico e, comunque, riferite al periodo 1951-1990. La distribuzione delle stazioni è illustrata in figura 3.

I dati utilizzati si riferiscono alle misure di temperatura minima giornaliera (T_m) e di temperatura massima giornaliera (T_M) rilevate in condizioni standard di capannina meteorologica (circa 2 m di altezza dal suolo) opportunamente controllate e validate.

Per ciascun punto stazione, l'UCEA ha fornito la media (m), la deviazione standard (δ), l'asimmetria (γ) e la curtosi (κ) dell'insieme dei valori T_M , T_m .

Sono stati inoltre calcolati e forniti dall'UCEA:

- la temperatura giornaliera minima assoluta e l'escursione termica giornaliera ad essa associata,
- la temperatura giornaliera massima assoluta e l'escursione termica giornaliera ad essa associata,
- l'escursione termica giornaliera più ampia in assoluto,
- la temperatura giornaliera minima corrispondente al 1° percentile,
- la temperatura giornaliera massima corrispondente al 99° percentile,
- l'escursione termica giornaliera al 99° percentile.



Fig. 3 - Distribuzione delle stazioni meteorologiche sul territorio nazionale.

3. — Analisi statistica dei dati.

La stima delle temperature massime e minime dell'aria aventi un periodo di ritorno pari a 50 anni, $T_{M,50}$ e $T_{m,50}$, è stata effettuata elaborando i dati messi a disposizione dall'UCEA.

In ciascuna stazione di misura è stata eseguita una stima delle distribuzioni di probabilità della massima temperatura annuale dell'aria $T_{M,year}$ e della minima temperatura annuale dell'aria $T_{m,year}$ partendo dai parametri statistici disponibili.

Nell'ipotesi che le temperature misurate in due giorni differenti siano delle variabili aleatorie statisticamente indipendenti e ugualmente distribuite, qualunque sia la loro distribuzione, la probabilità che $T_{M,year}$ sia minore o uguale a \bar{T} è tale che

$$P_{M,year}(T \leq \bar{T}) = P_M(T \leq \bar{T})^{365/2}, \quad (1)$$

dove $P_{M,year}$ è la distribuzione di probabilità di $T_{M,year}$ e P_M è quella di T_M . Analogamente, per le temperature minime è

$$P_{m,year}(T \geq \bar{T}) = P_m(T \geq \bar{T})^{365/2}, \quad (2)$$

Va osservato che le ipotesi che sono state introdotte sulla natura delle variabili aleatorie sono di fatto arbitrarie, ma al tempo stesso necessarie per poter elaborare i dati disponibili, in quanto non è stato possibile operare direttamente sulla popolazione delle temperature registrate. Una verifica dell'accettabilità di tali ipotesi potrà compiersi in successivi approfondimenti del problema.

Se adesso indichiamo con $T_{M,R}$ e $T_{m,R}$ rispettivamente le temperature massime e minime con un dato periodo di ritorno R , $T_{M,R}$ e $T_{m,R}$ possono essere calcolate [14], una volta note $P_{M,year}$ e $P_{m,year}$ mediante la

$$P_{M,year}(T \leq T_{M,R}) = 1 - \frac{1}{R}, \quad (3)$$

e la

$$P_{m,year}(T \geq T_{m,R}) = 1 - \frac{1}{R}. \quad (4)$$

L'esame delle misure di temperatura dell'aria effettuate nel periodo 1951 - 1990, ha posto in evidenza che le temperature massime e minime giornaliere di ciascuna stazione possono essere trattate come variabili aleatorie aventi distribuzione normale consentendo di ottenere, dalle (1) e (2) le distribuzioni delle temperature massime e minime annuali. Ulteriori affinamenti sul tipo di distribuzione scelto per le temperature giornaliere, eseguibili operando direttamente sulle popolazioni delle misure, non sembra al momento possano modificare sostanzialmente i risultati poiché in questo problema l'interesse è limitato alle code delle distribuzioni. Le (3) e (4), per $R = 50$ anni, forniscono quindi le temperature massime e minime cinquantennali, $T_{M,50}$ e $T_{m,50}$, relative a ciascuna stazione.

4. — Individuazione dei gradienti altimetrici e delle zone climatiche.

Anche la stima delle leggi di dipendenza dall'altitudine del sito delle temperature massime e minime annuali dell'aria all'ombra è stata eseguita utilizzando i dati forniti dall'UCEA. Una volta calcolate, in ciascuna stazione, le temperature massime e minime cinquantennali secondo il procedimento descritto nel paragrafo precedente, queste grandezze sono state poste su di un grafico, regione per regione, in funzione dell'altitudine. Mediante regressione lineare, si sono quindi ricavate le rette che esprimono tali leggi di dipendenza.

Confrontando tra loro queste relazioni, si è osservato che era possibile suddividere il territorio nazionale in quattro zone, pressoché omogenee sotto questo aspetto.

Per ciascuna di queste zone, le rette delle temperature massime e quelle delle temperature minime delle regioni concorrenti risultano tra loro poco differenti sia in termini di pendenza che di valori intercettati sull'asse delle temperature.

In ciascuna zona si sono riportate le $T_{M,50}$, $T_{m,50}$ in funzione dell'altitudine e si è calcolata la retta interpolatrice per ognuna di esse. Indicati infine con k_M e k_m i gradienti altimetrici di $T_{M,50}$ e $T_{m,50}$, in ciascuna zona si sono calcolate le temperature massime e minime cinquantennali riportate a livello del mare, $\hat{T}_{M,50}$ e $\hat{T}_{m,50}$, come

$$\hat{T}_{M,50} = T_{M,50} - k_M h, \quad (7)$$

$$\hat{T}_{m,50} = T_{m,50} - k_m h, \quad (8)$$

dove h è l'altitudine della stazione.

Le zone climatiche sono risultate le seguenti [v. figura (4)]:

- zona I (Val d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Emilia Romagna, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Trentino Alto Adige),
- zona II (Liguria, Toscana, Umbria, Lazio, Sardegna, Campania, Basilicata),
- zona III (Marche, Abruzzi, Molise, Puglia),
- zona IV (Calabria, Sicilia).

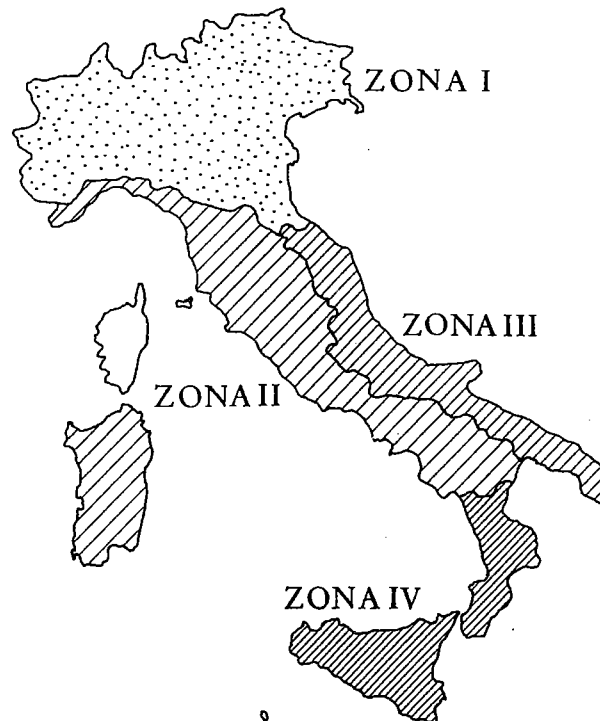


Fig. 4 - Zone climatiche di uguale gradiente altimetrico.

Nelle figure (5), (6), (7), (8) sono riprodotti i grafici che legano le massime e minime temperature cinquantennali con l'altitudine, in ciascuna zona climatica.

ZONA I (Nord)

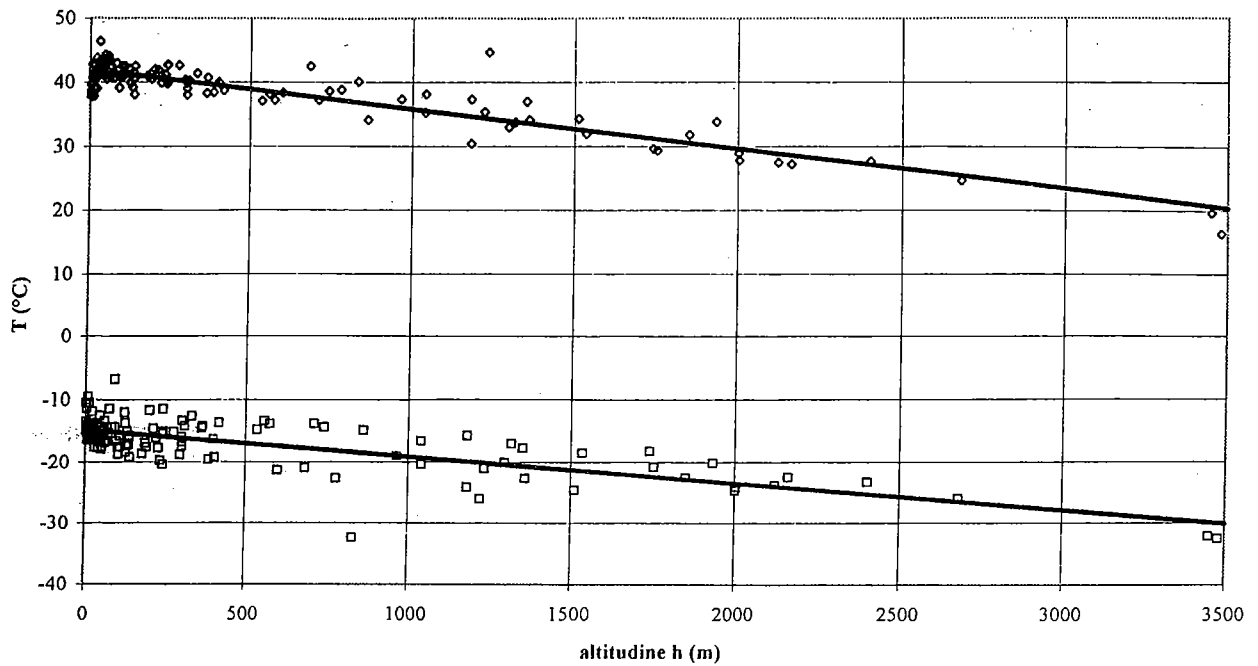


Fig. 5 - Temperature massime e minime cinquantennali dell'aria all'ombra in funzione dell'altitudine nella zona climatica I.

ZONA II (Ovest)

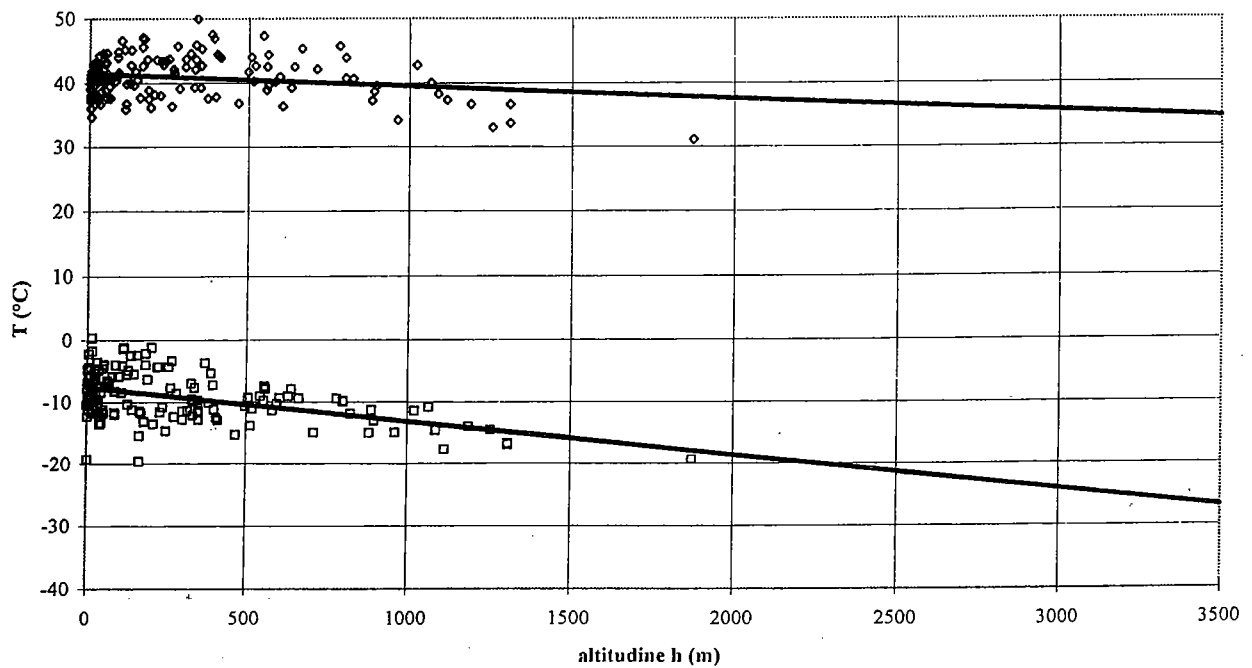


Fig. 6 - Temperature massime e minime cinquantennali dell'aria all'ombra in funzione dell'altitudine nella zona climatica II.

ZONA III (Est)

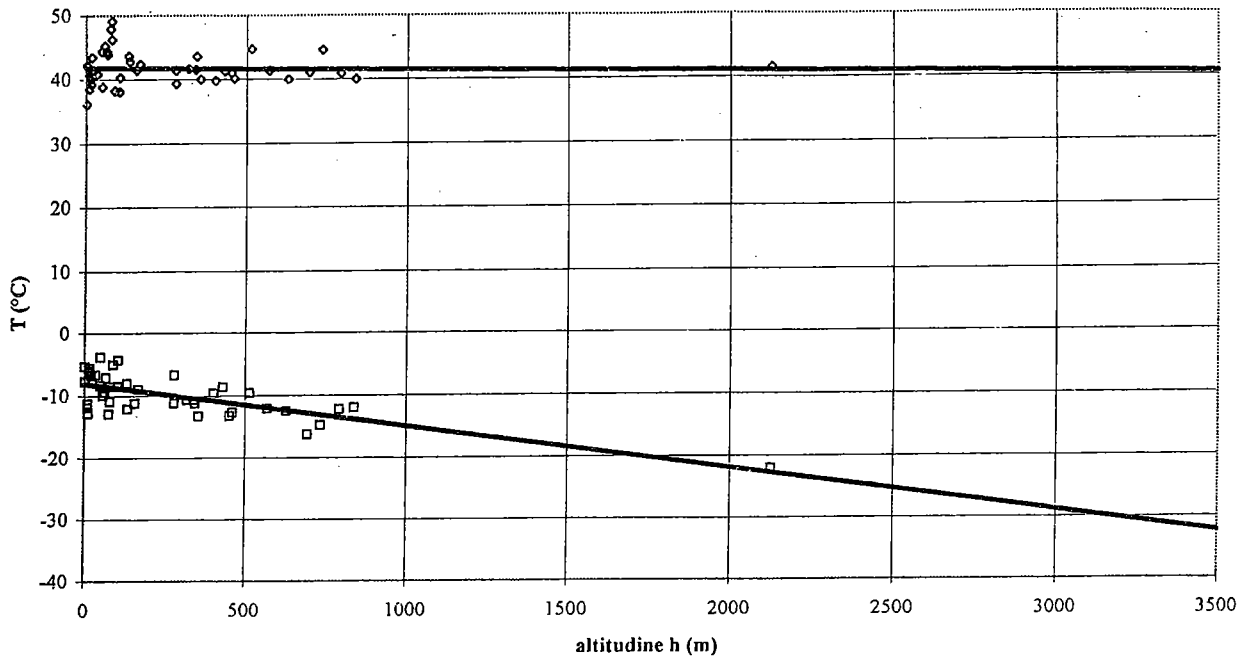


Fig. 7 - Temperature massime e minime cinquantennali dell'aria all'ombra in funzione dell'altitudine nella zona climatica III.

ZONA IV (Sud)

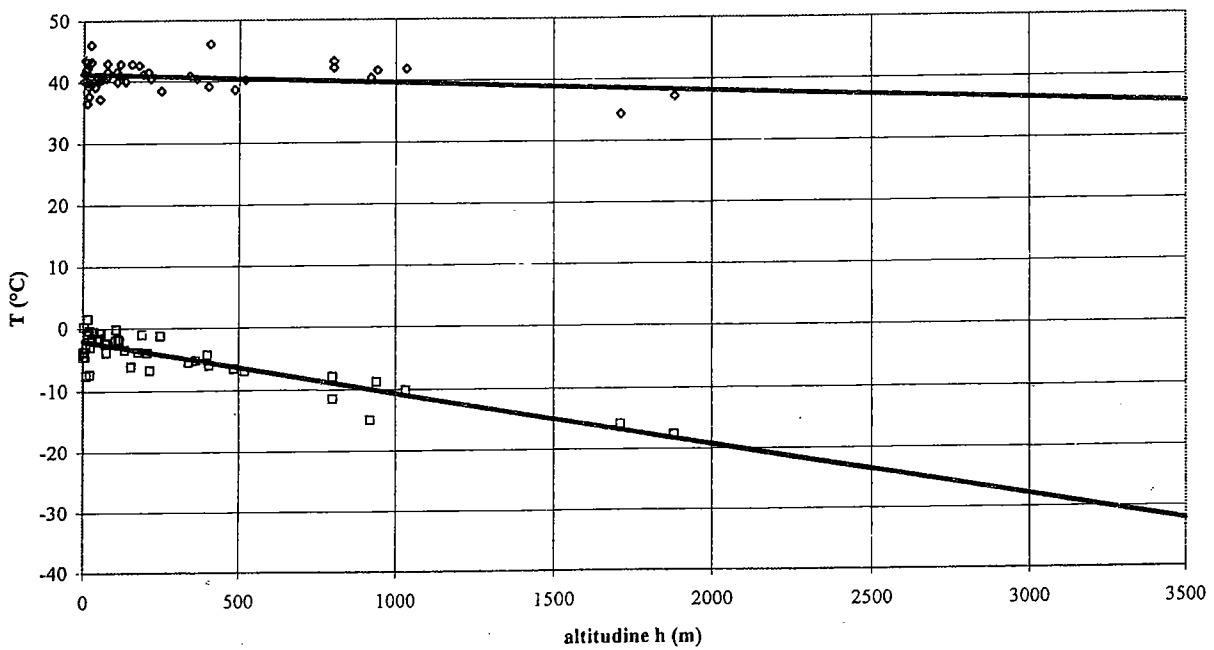


Fig. 8 - Temperature massime e minime cinquantennali dell'aria all'ombra in funzione dell'altitudine nella zona climatica IV.

Tabella I

*Gradienti altimetrici delle massime e minime temperature dell'aria
aventi un periodo di ritorno di 50 anni (h in metri).*

Zona	Regione	Tmin [°C]	Tmax [°C]
I	Valle d'Aosta	-14.74 - 4.38h/1000	41.94 - 6.16h/1000
	Piemonte		
	Lombardia		
	Trentino-Alto Adige		
	Veneto		
	Friuli-Venezia Giulia		
	Emilia-Romagna		
II	Liguria	-7.59 - 5.49h/1000	41.43 - 1.95h/1000
	Toscana		
	Umbria		
	Lazio		
	Sardegna		
	Campania		
	Basilicata		
III	Marche	-8.05 - 6.91h/1000	41.76 - 0.35h/1000
	Abruzzi		
	Molise		
	Puglia		
IV	Calabria	-2.11 - 8.58h/1000	41.28 - 1.59h/1000
	Sicilia		

5. — Tracciamento delle mappe delle isoterme.

Sono state realizzate quindi le mappe relative ai valori di temperatura minima e massima attesi al livello del mare con un tempo di ritorno cinquantennale [v. figg. (9) e (10)].

La produzione in automatico delle mappe richiede, come passo preliminare, l'interpolazione ai nodi di una griglia regolare di tutte le informazioni disponibili che, normalmente, sono distribuite sul territorio in modo non uniforme.

Nel caso specifico questa operazione è stata ottenuta mediante un processo di *kriging*, ovvero di una particolare metodologia di interpolazione pesata dei dati per la quale ci si è avvalsi delle conoscenze e dei risultati dell'analisi climatologica già raggiunti nell'ambito dei programmi agrometeorologici del SIAN. Sulla base dei criteri adottati, i dati meteorologici possono essere considerati come variabili regionalizzate, cioè variabili aleatorie legate in qualche modo al luogo dello spazio in cui sono definite. Infatti, se in un particolare punto viene misurato un certo valore di temperatura, per tutti i punti immediatamente adiacenti è lecito attendersi valori di temperatura molto prossimi al primo, cosa che ovviamente diviene sempre meno probabile per punti progressivamente più lontani. Pertanto, al fine di analizzare e rappresentare l'ampiezza delle variazioni spazio-temporali dei parametri meteorologici, è stata utilizzata una funzione di correlazione spaziale, detta variogramma, attraverso la quale è normalmente possibile stimare la variabilità del campo meteorologico.

logico e, di conseguenza, anche l'errore commesso nell'attribuire ad un qualsivoglia punto del territorio il valore misurato altrove ma compreso in una ben definita area di influenza o vicinaggio.

La funzione variogramma, nella sua formulazione generale, viene definita come (cfr. [15]):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E | [Z(x+h) - Z(x)]^2 | \quad (9)$$

dove h rappresenta il vettore distanza, x è la posizione del punto nello spazio considerato ed E è la speranza matematica.

Il variogramma, a sua volta, viene calcolato a partire dalle misure meteorologiche effettivamente disponibili nel dominio spaziale di interesse tenendo in debita considerazione che la interdipendenza tra i dati misurati in siti diversi è funzione della distanza tra essi, della direzione lungo la quale tale distanza viene misurata, della stagione dell'anno considerata e della differenza di quota tra i siti.

Utilizzando serie storiche di dati sufficientemente lunghe, la funzione variogramma consente di determinare la struttura climatica o modello strutturale della variabilità dei campi meteorologici al suolo.

Nel presente lavoro sono stati utilizzati i modelli strutturali relativi alla temperatura minima ed alla temperatura massima con i quali è stato possibile interpolare oggettivamente nello spazio le grandezze di interesse.

Anche la griglia utilizzata è la stessa messa a punto dal SIAN, con dimensioni della maglia di circa 30×30 Km sull'Italia settentrionale e di circa 20×20 Km sul resto del territorio nazionale.

In corrispondenza dei nodi di tale reticolo sono stati stimati i valori di temperatura con tempi di ritorno di 50 anni, utilizzando i dati delle stazioni presenti in un vicinaggio con un raggio medio di circa 150 Km.

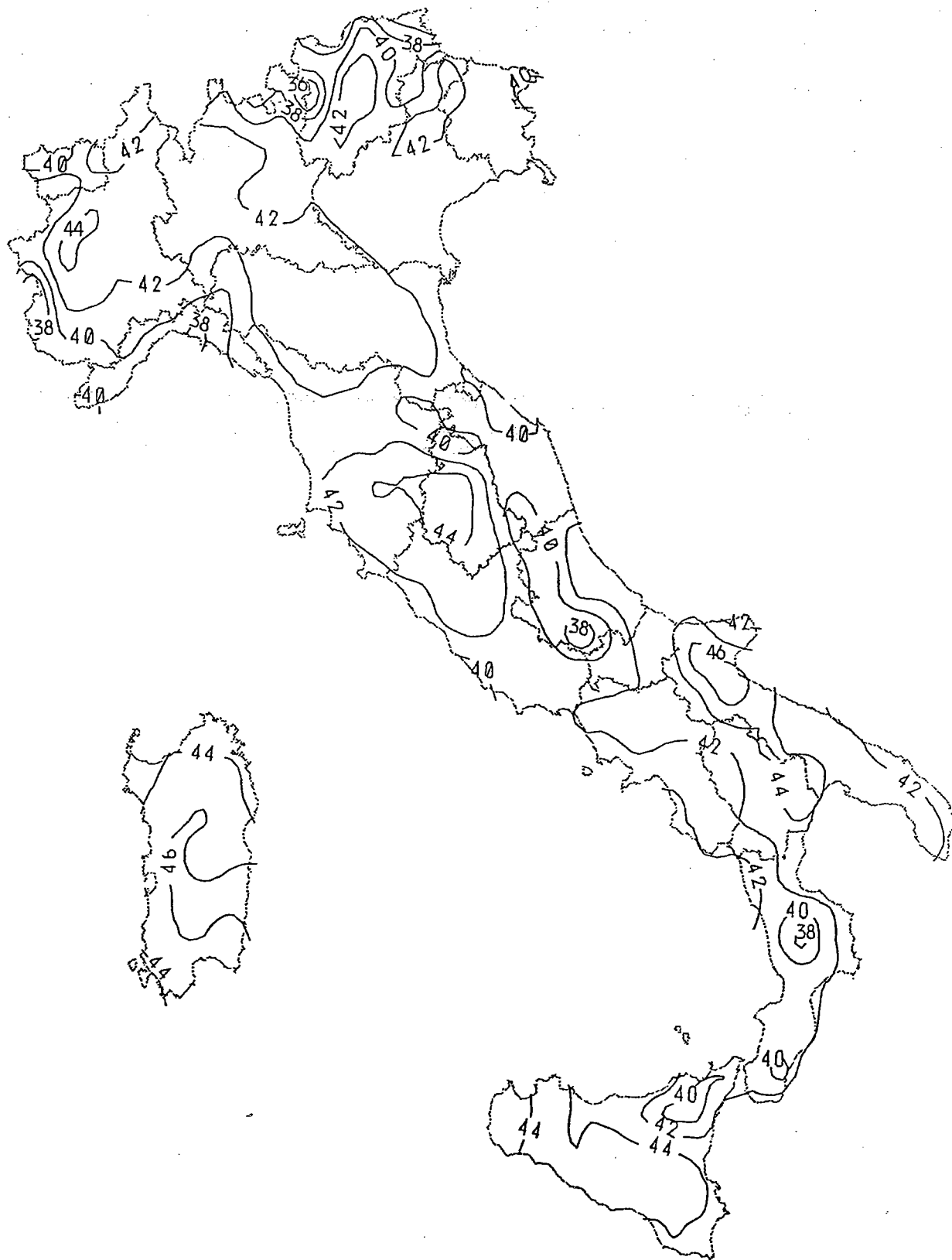


Fig. 9 - *Mapa delle massime temperature dell'aria all'ombra attese con tempo di ritorno cinquantennale al livello del mare.*



Fig. 10 - *Mapa delle minime temperature dell'aria all'ombra attese con tempo di ritorno cinquantennale al livello del mare.*

6. — Applicazione.

Lo studio delle misure ottenute dal monitoraggio termico del viadotto in cemento armato precompresso Casilina, consente di verificare il grado di approssimazione delle stime sui valori estremi della temperatura media di un ponte in calcestruzzo, collocato in Italia, condotte mediante il metodo proposto nell'attuale versione dell'EC 1.

6.1 — Stima diretta.

La stazione meteorologica più vicina al viadotto Casilina è la n. 88 del Lazio. Elaborando i dati di temperatura dell'aria all'ombra misurati in questa stazione si trova che i valori estremi cinquantennali sono

$$T_{M,50} = 45.6^{\circ}\text{C}, \quad T_{m,50} = -11.4^{\circ}\text{C}. \quad (10)$$

Da essi, attraverso i diagrammi di correlazione ottenuti direttamente dal monitoraggio termico del ponte [v. figura (11)] si ottengono i seguenti valori delle massime e delle minime temperature medie efficaci aventi un periodo di ritorno di 50 anni:

$$T_M = 46.7^{\circ}\text{C}, \quad T_m = -9.04^{\circ}\text{C}. \quad (11)$$

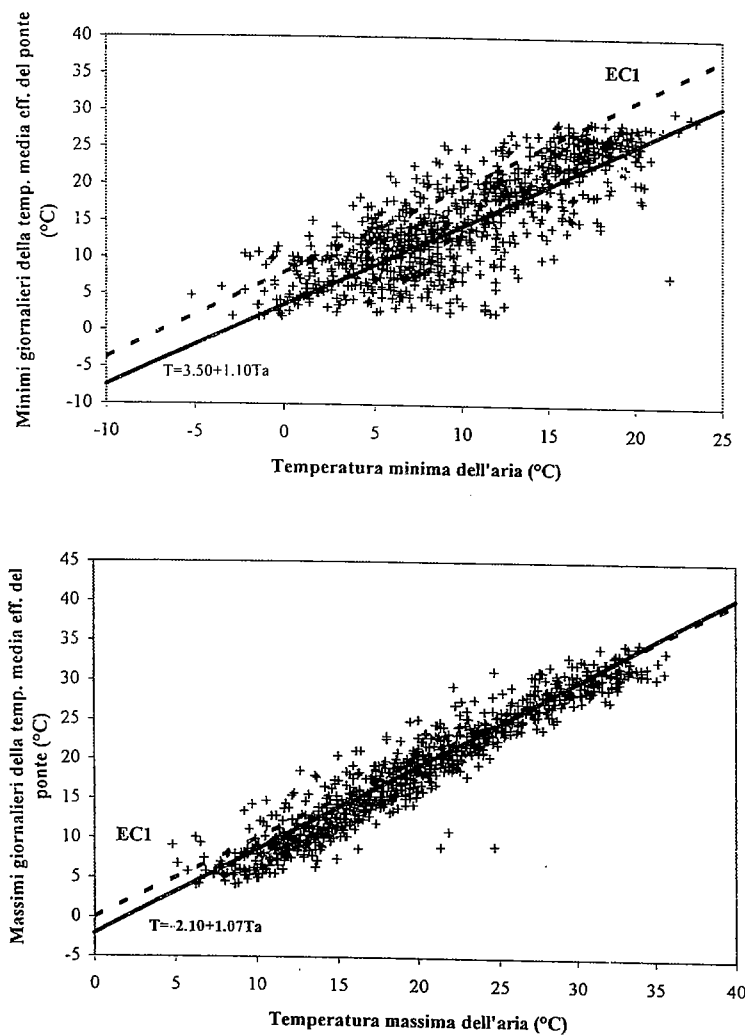


Fig. 11 - (a) Correlazione sperimentale tra le minime giornaliere della temperatura media efficace del ponte Casilina e la temperatura minima dell'aria.
 (b) Correlazione sperimentale tra le massime giornaliere della temperatura media efficace del ponte Casilina e la temperatura massima dell'aria. Le rette di compenso dei dati sperimentali sono riportate con linea continua mentre le linee tratteggiate rappresentano le correlazioni adottate nell'attuale versione dell'EC 1.

6.2 - Metodo dell'Eurocodice 1

Dalle mappe delle isoterme riportate nelle figure (8) e (9) si ricavano i seguenti valori cinquantennali delle temperature massime e minime dell'aria nella località in cui si trova il viadotto Casilina:

$$T_{M,50} = 42^{\circ}\text{C}, T_{m,50} = -10^{\circ}\text{C}. \quad (12)$$

Osserviamo anzitutto che entrambi questi valori si collocano, all'interno dell'intervallo definito dalle (10), in posizione ragionevolmente prossima agli estremi dato che la massima è di 3.6°C in difetto e la minima di 1.4°C in eccesso rispetto ad essi.

Introducendo le (12) nelle correlazioni dell'EC 1 si ottiene che

$$T_M = 42^{\circ}\text{C}, T_m = -3.8^{\circ}\text{C}. \quad (13)$$

Come si vede, la massima e la minima temperatura media del ponte stimate secondo l'EC 1 differiscono rispettivamente di 4.7°C in difetto e di 5.24°C in eccesso rispetto a quelle stimate in modo diretto.

Se invece si introducono nelle correlazioni EC 1 i valori cinquantennali (10) si ottiene

$$T_M = 45.6^{\circ}\text{C} \text{ e } T_m = -4.33^{\circ}\text{C}. \quad (14)$$

Risulta perciò che le quote di errore imputabili agli scostamenti delle correlazioni EC 1 da quelle sperimentali del Casilina sono rispettivamente di 1.1°C in difetto sulla massima e di 4.7°C in eccesso sulla minima.

Tenuto conto che le correlazioni EC 1 interpretano la legge che lega alle temperature estreme dell'aria all'ombra le temperature medie di tutta la categoria dei ponti in calcestruzzo, indipendentemente dalla forma e dalle dimensioni delle sezioni trasversali, il risultato appare assai soddisfacente allo stato attuale delle conoscenze, e conferma la buona applicabilità del metodo proposto nella normativa europea ai ponti costruiti in Italia.

Per fornire qualche indicazione sull'entità delle massime escursioni che può subire la temperatura media di un ponte in cemento armato situato sul territorio del nostro paese, si è scelta in ciascuna zona la località che presenta il più grande divario tra i valori cinquantennali delle temperature massime e minime dell'aria e si sono calcolati i corrispondenti valori delle temperature medie del ponte. Poiché queste località ricadevano tutte in zone montagnose, si è scelta una altitudine di riferimento di 500 m. La tabella III raccoglie questi risultati

Tabella III

Temperature medie massime e minime, attese con 50 anni di periodo di ritorno nei ponti in calcestruzzo situati nelle quattro zone climatiche del territorio italiano alla quota di 500 m, e relative escursioni.

Zona	Altitudine h = 500 m		
	$T_{m(\max)}$	$T_{m(\min)}$	ΔT_m
I	38	-13	51
II	39	-7	46
III	40	-12	52
IV	41	-5	46

Dall'esame dei risultati si osserva anzitutto una sostanziale coincidenza delle escursioni di temperatura media dei ponti collocati nelle zone I, III e di quelli collocati nelle zone II, IV anche se gli estremi risultano a seconda dei casi spostati dalla parte delle massime temperature o dalla parte delle minime. In via di semplificazione delle prescrizioni normative, e a favore di sicurezza, si potrebbero assegnare due soli valori di escursione termica:

$\Delta T = 52^{\circ} C$ per ponti in calcestruzzo situati nelle zone I e III e $\Delta T = 46^{\circ} C$ per ponti in calcestruzzo situati nelle zone II e IV.

È opportuno osservare inoltre che, alla quota di 500 m, l'amplificazione delle escursioni è così modesta da indurre la conclusione, in accordo con *Lebet* e *Badoux* [13], che le corrispondenti escursioni di temperatura media nei ponti siano all'incirca indipendenti dall'altitudine del sito.

7. — Conclusioni.

Nel presente lavoro sono stati elaborati i dati di temperatura dell'aria all'ombra raccolti in 373 località italiane nel corso di 39 anni di osservazione.

Per ciascuna stazione meteorologica sono state calcolate le temperature dell'aria all'ombra massime e minime dotate di 50 anni di periodo di ritorno individuando inoltre quattro zone climatiche dotate di eguali correlazioni tra le temperature dell'aria cinquantennali e l'altitudine. Questi dati hanno consentito di tracciare le mappe delle isoterme delle massime e delle minime temperature dell'aria al livello del mare. Attraverso le correlazioni empiriche tra le temperature medie dei ponti e le temperature estreme dell'aria, trovate sperimentalmente dalla *Emerson* su ponti britannici e adottate nella versione odierna dell'Eurocodice 1, è così possibile stimare i valori estremi, con tempo di ritorno cinquantennale, delle temperature medie dei ponti italiani, qualunque sia il loro luogo di costruzione. Le correlazioni proposte nell'Eurocodice 1 e quelle ottenute da misure dirette su un ponte italiano in c.a.p. risultano sufficientemente prossime tra loro per i fini della progettazione strutturale indicando che il metodo della norma europea è applicabile anche in Italia.

Riferimenti bibliografici

- [1] F. KEHLBECK: «*Einfluß der Sonnenstrahlung bei Brückenbauwerken*», Werner Verlag, Düsseldorf, 1975.
- [2] T. ZICHNER: «*Temperaturunterschiede infolge Witterungseinfluß und Beheizung von massiven Brücken*», Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 212, 1976.
- [3] Autori vari. «*Thermal Effects*», C.E.B., Bulletin d'Information, n. 167, January 1985.
- [4] M. RAMEZANKHANI, P. WALDRON: «*Segmental Construction of Bridges: Differential Temperature Effects in the Cogan Spur Viaduct*», Report n. UBCE/C/91/10, University of Bristol, November 1991.
- [5] E. MIRAMBELL, A. AGUADO: «*Acciones térmicas de diseño in puentes cajón de hormigón*», Hormigón y Acero, n. 165, pp. 113-151, Ott./Nov./Dic. 1987.
- [6] M. FROLI, N. HARIGA, M. ORLANDINI, G. NATI: «*Indagine teorica e sperimentale sul comportamento termico del viadotto in c.a.p. Casilina: effetti longitudinali*», Giornale A.I.C.A.P., (allegato all'Industria Italiana del Cemento) n. 3, n. 4, n. 5, pagg. 1-15, 1995.
- [7] M. FROLI: «*Significato e limiti delle prescrizioni normative sulle azioni termiche climatiche nei ponti*», in corso di pubblicazione sull'Industria Italiana del Cemento.
- [8] M. EMERSON: «*Bridge Temperatures estimated from the Shade Temperature*», Transport and Road Research Laboratory Report n. LR 696, Crowthorne, 1976.
- [9] M. EMERSON: «*Temperatures in Bridges during the hot Summer of 1976*», Transport and Road Research Laboratory Report n. 783, Crowthorne, 1977.
- [10] M. EMERSON: «*Temperatures in Bridges during the cold Winter of 1978/1979*», Transport and Road Research Laboratory Report n. 926, Crowthorne, 1980.
- [11] BS5400: «*BS5400 Steel Concrete and Composite Bridges, Part 2: Specification for Loads*», British Standard Institution, 1978.
- [12] SIA 160: «*Swiss Standard SIA 160- Actions on Structures*», 1989.
- [13] J.P. LEBET, J.C. BADOUX: «*Variations de temperature dans les ponts*», Ingénieurs et Architectes Suisses, Vol. 113, n. 7, 1987.
- [14] BENJAMIN, CORNELL: «*Probability, Statistics and Decisions for Civil Engineers*», McGraw Hill, 1970.
- [15] G. MATHERON: «*La Théorie des variables regionalisées et ses applications*», Ecole des Mines de Paris-Fontainebleau, 1970.