

IL CARICO DELLA NEVE SULLE COSTRUZIONI IN ITALIA

Riccardo Del Corso, Paolo Formichi
Dipartimento di Ingegneria Strutturale
Università di Pisa

L'Eurocodice 1 - Azioni sulle Strutture - Carichi della neve è stato convertito da norma sperimentale ENV in norma EN, a conclusione di un lavoro di revisione che ha recepito i commenti inviati al CEN in forma ufficiale da parte dei Paesi membri e che ha nel contempo tenuto conto degli importanti risultati ottenuti nell'ambito di una ricerca scientifica, finanziata dalla Commissione Europea DGIII - D3 e condotta da otto istituzioni europee.

Nel presente lavoro si illustrano i risultati salienti della ricerca per quello che riguarda il territorio italiano e si propone una mappa normativa del carico neve al suolo, alternativa a quella contenuta nelle nuove norme tecniche nazionali, recentemente aggiornate con il D.M. 14/9/2005.





INTRODUZIONE

Alla fine degli anni '90 la Commissione Europea DGIII - D3 ha finanziato un'importante ricerca sulle azioni della neve sulle costruzioni, avente come obiettivo quattro argomenti di rilevante interesse: la determinazione dei carichi neve al suolo e la redazione di una mappa valida per l'intero territorio europeo, lo studio dei carichi della neve cosiddetti "eccezionali", l'individuazione dei coefficienti Ψ da impiegare nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi e di Servizio ed infine lo studio analitico dei fattori di forma per la conversione del carico neve al suolo in carico neve sulle coperture [3, 4].

La ricerca è stata condotta dalle otto istituzioni europee sotto indicate:

- Building Research Establishment LTD, Construction Division (United Kingdom),
- CSTB, Centre de Recherche de Nantes (France),
- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, (Switzerland),
- ISMES, Structure Engineering Department (Italy),
- Joint Research Centre, ISIS (EU),
- SINTEF, Civil and Environmen-

tal Engineering (Norway),

- University of Leipzig, Institute of Concrete Design (Germany),
- University of Pisa, Department of Structural Engineering (Italy).

La prima fase dell'attività di ricerca è stata rivolta alla definizione della mappa europea del carico neve.

Sono stati innanzitutto introdotti nuovi dati ricavati in stazioni meteorologiche opportunamente scelte per coprire in maniera omogenea il territorio europeo. In particolare per il territorio italiano sono stati integrati i dati già disponibili da precedenti ricerche [10] con quelli osservati in numerose stazioni poste a bassa quota. L'analisi statistica è stata affinata e sono state scelte con criteri selettivi le funzioni di probabilità, con le quali calcolare il dato saliente dell'azione della neve, vale a dire il valore caratteristico del carico.

La mappa della neve è stata elaborata con l'utilizzo di tecniche GIS (Geographical Information System), opportunamente adattate per una corretta descrizione della variazione del carico sull'intero territorio europeo.

L'operazione è stata condotta con il controllo della qualità dei risultati ad ogni passo, dalla raccolta dei dati, alla suddivisione del territorio in regioni climatiche omogenee ed ulteriormente in zone caratterizzate da specifica legge carico-altitudine. Il processo ha compreso anche una fase di verifica, tesa alla riduzione delle differenze fra i valori di mappa e quelli calcolati nelle stazioni meteorologiche, nonché alla attenuazione delle discontinuità dei valori di mappa in corrispondenza dei confini fra differenti regioni.

La seconda fase della ricerca ha consentito un importante affinamento delle conoscenze in merito ai coefficienti di forma delle coperture, frutto di numerosi risultati sperimentali ottenuti sia sul territorio europeo che italiano ed anche di esperienze su diverse tipologie di tetto, effettuate presso il tunnel del vento climatico CSTB di Nantes (F).

Il lavoro ha colmato molte delle lacune che erano state segnalate in sede di redazione e discussione delle norme sperimentali ENV 1991-2-3 [1] ed i risultati ottenuti, così come era nelle intenzioni della Commissione Europea, sono stati largamente impiegati nella redazione della norma definitiva EN 1991-1-3, approvata nel Dicembre 2002 [2].

La normativa italiana, oggetto di recentissimo aggiornamento con l'emanazione del DM 14.09.05, "Norme Tecniche per le Costruzioni" [29], ha recepito l'impostazione dell'Eurocodice per quanto riguarda i coefficienti di conversione del carico al suolo in carico sulle coperture, mentre ha seguito criteri diversi per la determinazione del carico al suolo e per la sua mappatura.

Nel seguito vengono illustrati i principali risultati della ricerca europea con riferimento al ter-

ritorio italiano e viene proposta una mappa normativa del carico neve al suolo derivata dai risultati della ricerca scientifica stessa.

OSSERVAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI NEVOSE

Qualità dei dati

Le osservazioni delle precipitazioni nevose di interesse per la determinazione dei carichi sulle costruzioni devono consistere, ove possibile, nel rilievo diretto con apposite bilance del carico neve al suolo o del valore di "acqua equivalente", ottenibile quest'ultimo mediante pesatura di carote prelevate dal campo di misura.

In Italia, come d'altra parte nel resto dell'Europa, le stazioni meteorologiche sono in generale attrezzate per la sola registrazione dello spessore del manto nevoso al suolo, facilmente rilevabile attraverso la lettura di aste graduate o per mezzo di strumenti automatici. Di conseguenza si rende necessario convertire i valori di altezza della neve in valori di carico mediante l'impiego di un modello di densità.

Per gli scopi dell'indagine sono stati adottati i seguenti criteri di scelta delle stazioni meteorologiche, dalle quali raccogliere informazioni:

a) le osservazioni meteorologiche debbono essere di accertata affidabilità, debbono riguardare serie di annate consecutive estese, possibilmente, agli stessi periodi per tutte le stazioni, al fine di evitare alterazioni dei risultati delle elaborazioni statistiche in conseguenza di possibili variazioni climatiche occorse nel tempo;

b) è preferibile scegliere stazioni ubicate a bassa quota (<500 m), in quanto occorre focalizzare l'attenzione sulle aree a maggiore sviluppo urbano;

c) le stazioni selezionate debbono garantire una copertura del territorio sufficientemente omogenea, per consentire, in fase di mappatura, la corretta applicazione delle formule di interpolazione per il calcolo dei valori di riferimento in tutti i punti del territorio.

Per la singola stazione meteorologica i dati nivometrici così raccolti costituiscono un campione dei carichi della neve al suolo, dal quale si possono ricavare i valori rappresentativi della popolazione di interesse in ambito normativo. Per i motivi che verranno ampiamente illustrati nel seguito, il periodo di osservazione dovrebbe essere di almeno 30 anni.

La raccolta dei dati

In Italia gli Enti che svolgono con continuità il servizio di registrazione di dati meteorologici sull'intero territorio nazionale sono essenzialmente due: il Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale e l'Istituto Tecnico di Assistenza al Volo (ITAV).

Altre organizzazioni raccolgono dati nivometrici esclusivamente presso stazioni ad alta quota sull'arco alpino e sulla dorsale appenninica.

Per gli scopi del presente studio, il Servizio Idrografico costituisce la principale fonte di riferimento sia per la disponibilità di lunghe serie temporali di dati, a partire dai primi anni del '900, che per la distribuzione sul territorio nazionale con circa 3.000 stazioni. Giornalmente gli osservatori del Servizio rilevano una serie di dati, tra i quali l'altezza del manto nevoso al suolo e della frazione caduta nelle ultime 24 ore e le temperature massime e minime registrate nelle 24 ore.

I dati sono disponibili in formato cartaceo. Recentemente è stata messa a punto una rete di tele-rilevamento, che però interessa, per il momento, solo poche stazioni ed alcune grandezze quali temperatura, umidità dell'aria e quantità di acqua caduta.

Le misure dell'altezza del manto nevoso sono pubblicate sugli



Fig. 1

Annali Idrologici. I dati sono disponibili su base giornaliera per le annate fino al 1940, mentre per il periodo dal 1941 al 1970 sono pubblicati i valori rilevati ogni dieci giorni e dal 1971 in poi quelli osservati alla fine di ciascun mese. La registrazione delle temperature massime e minime giornaliere è invece solitamente pubblicata con continuità.

Selezione delle stazioni meteorologiche

In un precedente lavoro, svolto all'inizio degli anni '80 [10],

venne fatto riferimento ai dati decadici disponibili negli Annali Ideologici del trentennio 1941-1970, per 105 stazioni meteorologiche sparse sul territorio nazionale.

Al fine di migliorare la qualità dei dati campionati, sono stati integrati i dati delle stazioni ubicate a bassa quota, ove, a causa della rarità delle precipitazioni nevose e della rapidità di scioglimento, i valori decadici dello spessore del manto non consentivano una caratterizzazione sufficientemente accurata del campione. In tali stazioni si è fatto ricorso alle letture giornaliere conservate negli archivi del Servizio. L'insieme dei dati è stato poi reso più omogeneo rispetto alla distribuzione territoriale, con l'inserimento di ulteriori stazioni poste a bassa quota, individuandone nel complesso 55 con misure giornaliere disponibili per un periodo di 30 anni e in qualche caso anche di 50 anni.

Le stazioni a quote medio-alte sono in numero di 70, con osservazioni relative ad un trentennio. Solo in alcune stazioni della

Sardegna l'arco temporale delle misure copre appena 16 anni, a causa della frammentarietà di funzionamento del Servizio in quella regione.

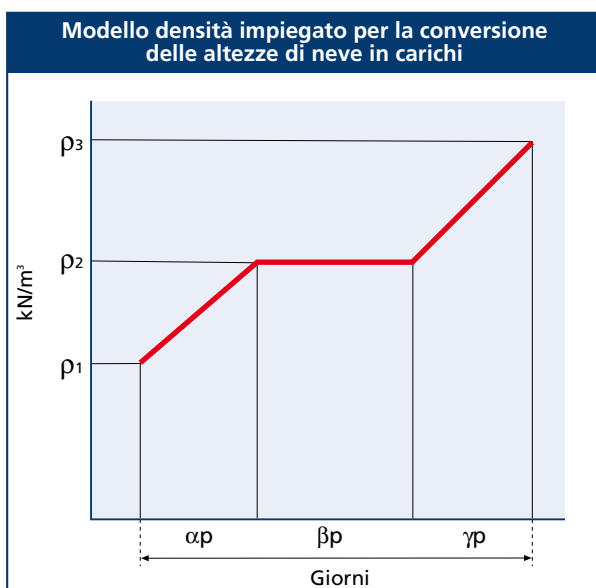
In totale sono state raccolte misure di spessore del manto nevoso al suolo in 125 stazioni, indicate nella fig. 1, delle quali 55 ubicate a quota inferiore ai 500 metri, 33 tra i 500 e i 1.000 metri, 26 tra i 1.000 e i 1.500 metri e 11 oltre i 1.500 metri.

Particolare attenzione è stata dedicata a quelle stazioni, che possono fornire risultati anomali a causa della loro collocazione geografica, riflettendo, ad esempio, le influenze dovute alla vicinanza di grandi bacini, di vallate, di montagne o di altri elementi fisici capaci di alterare localmente le condizioni climatiche e meteorologiche. I dati relativi a tali stazioni sono stati confrontati con quelli provenienti da località limitrofe sono stati esclusi se fortemente divergenti da questi ultimi.

Densità della neve

Le esperienze di osservazione e misura della densità del manto nevoso sono state in passato condotte in località ove la neve è presente tutto l'anno, per evidenti motivi di importanza del fenomeno e di facilità di campionamento. Nel nostro paese le osservazioni sono state raccolte in stazioni ad alta quota dell'arco alpino e più recentemente presso la stazione sciistica dell'Abetone, posta a circa 1400 metri di quota sull'Appennino Tosco-Emiliano [28].

I risultati di questi studi mostrano come molti siano i fattori che influenzano la densità della neve [13]. In primo luogo temperatura ed umidità dell'aria durante la nevicata giocano un ruolo essenziale sulla formazione dei cristalli, sulla loro morfologia e capacità di aggregazione, determinando basse densità in caso di



aria fredda e secca ed alti valori con aria calda ed umida.

La densità aumenta poi dopo poche ore dalla nevicata, a causa del cambiamento radicale della forma dei cristalli che dà origine ad una riduzione del volume della massa.

Se il manto si mantiene a lungo la densità ne risulta alterata a causa del processo di accumulo-compattazione-erosione, dovuto all'alternarsi di nuove precipitazioni, cambiamento di morfologia ed azione del vento e degli effetti termici.

In generale, a parità di altezza del manto al suolo, si osserva che manti "vecchi" pesano di più di quelli "recenti". Vari sono i motivi. Primo fra tutti è l'effetto di compressione degli strati inferiori gravati dai nuovi strati, che provoca una compattazione generale. Gli strati "vecchi" hanno poi subito cicli termici diversi e possono avere inglobato anche acqua di fusione degli strati superiori. La formazione di croste e di strati ghiacciati, infine, è anch'essa causa di aumento della densità.

Per le stazioni monitorate nello studio del Comitato Glaciologico Italiano [11], poste ad alta quota e in aree dove la permanenza della neve al suolo è dell'ordine di mesi, si osserva una generale tendenza di aumento della densità in funzione del tempo, dall'inizio dell'inverno in poi.

Più precisamente si assiste ad un incremento abbastanza rapido della densità agli inizi del periodo di permanenza, a causa dell'accumularsi di strati successivi di neve fresca. Si osserva poi una fase centrale, durante la quale la densità cresce moderatamente nel tempo, probabilmente a causa della stabilità delle condizioni morfologiche dei grani. Infine, durante il periodo finale della permanenza del manto al suolo, la densità cresce rapidamente,



a causa della sempre maggiore presenza di acqua nel manto e della diversa forma dei cristalli. Sulla base di queste osservazioni è stato definito [10] un modello per la densità della neve, valido per durate superiori a dieci giorni (fig. 2).

I valori r_1, r_2, r_3 rappresentano i limiti entro cui la densità r varia nel periodo "p", inteso come durata complessiva del manto al suolo. Nella figura sono stati indicati con α_p e γ_p i periodi iniziale e finale di rapida crescita della densità, mentre con b_p è stato indicato il periodo centrale, caratterizzato da densità costante r_2 .

Sulla base delle misure sperimentali, effettuate sul territorio nazionale, sono stati assunti i valori di $r_1, r_2, r_3, \alpha, \beta, \gamma$ di seguito riportati:

$$r_1 = 2,15 \text{ kN/m}^3, \alpha = 0,3$$

$$r_2 = 3,50 \text{ kN/ m}^3, \beta = 0,4$$

$$r_3 = 5,15 \text{ kN/ m}^3, \gamma = 0,3$$

Per periodi di permanenza del manto al suolo non superiori a 10 giorni, tipici delle località a quote medio-basse, il valore della densità è stato assunto costante e pari a 2.50 kN/m^3 .

CARICO DELLA NEVE AL SUOLO

Valore caratteristico

Il valore caratteristico s_k del carico della neve al suolo è definito

nell'Eurocodice come quel valore che ha la probabilità del 2% di essere superato in un anno e che dunque viene raggiunto, in media, una volta ogni 50 anni.

Secondo un criterio ampiamente consolidato, l'analisi statistica del carico della neve al suolo non viene riferita alla popolazione dei valori giornalieri bensì a quella dei valori massimi annuali, dal momento che le precipitazioni nevose hanno un andamento tipicamente stagionale.

Pertanto il campione, estratto dalle osservazioni giornaliere di una determinata stazione meteorologica, contiene un valore per ogni singola annata e può essere considerato appartenente ad una distribuzione di valori estremi. In molti casi il campione presenta un certo numero di valori nulli, in conseguenza dell'assenza di precipitazioni nevose durante una intera stagione.

Per tenere in debito conto dell'intermittenza del fenomeno, tipico delle zone a clima mite e delle località a bassa quota, si esprime la probabilità che la variabile aleatoria X non superi il valore x con l'espressione (1)

$$F(X \leq x) = P_n F_n(X \leq x) + (1 - P_n)$$

nella quale $F_n(X \leq x)$ è la funzione di distribuzione cumulativa relativa alla popolazione dei valori non nulli e P_n è la probabilità di

presenza della neve, assunta uguale al rapporto fra il numero di anni nei quali si sono verificate nevicate ed il numero totale di anni del periodo di osservazione [17, 24].

Per la $F_n(X \leq x)$ sono state selezionate tre possibili funzioni. In primo luogo la funzione di Gumbel Tipo I [7], di gran lunga la più usata in questo tipo di analisi, caratterizzata dall'espressione (2)

$$F_n(X \leq x) = \exp(-\exp(-\alpha(x-u)))$$

nella quale α ed u sono parametri positivi;

la distribuzione Lognormale, data dalla funzione (3)

$$F_n(X \leq x) = \Phi\left(\frac{y - m_y}{s_y}\right)$$

nella quale Φ rappresenta la funzione di distribuzione normale standard e $y = \ln(x)$;

la distribuzione di Weibull, espressa dalla funzione (4)

$$F_n(X \leq x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{k}\right)^\beta\right)$$

con β e k parametri positivi.

I parametri delle tre distribuzioni sono stati calcolati con il metodo dei "minimi quadrati" e con quello dei "momenti", in vista della ottimizzazione del coefficiente di correlazione del campione.

I risultati delle analisi, estese a 125 stazioni sparse sul territorio italiano, hanno consentito di verificare come il metodo dei minimi quadrati sia il migliore per i campionamenti disponibili, dal momento che i valori nulli presentano una minore influenza sui parametri della curva interpolante i valori diversi da zero.

Nella fig. 3 sono riportati, a titolo di esempio, le carte di probabilità per le tre distribuzioni sopra indicate con le curve di regressione ottenute applicando il metodo dei minimi quadrati al campione dei dati relativi alla stazione meteorologica dell'Abetone.

Sulla base della comparazione del coefficiente di correlazione, per ogni stazione meteorologica è stata individuata la funzione di probabilità che meglio approssima i dati [24].

La migliore interpolazione è stata ottenuta con la distribuzione di Gumbel Tipo I in 70 stazioni (pari al 56% del totale), con la distribuzione di Weibull in 42 stazioni (pari al 34% del totale) ed infine con la Lognormale in 13 stazioni (pari al 10% del totale).

Le figure 4 e 5 mostrano la disposizione geografica e la distribuzione altimetrica delle stazioni in relazione alle funzioni cumulative di densità di probabilità che meglio approssimano i dati.

Nell'ambito della ricerca europea precedentemente citata [3, 4] si sono raggiunte conclusioni analoghe per la maggior parte del territorio europeo; la distribuzione di Gumbel Tipo I conduce a coefficienti di correlazione

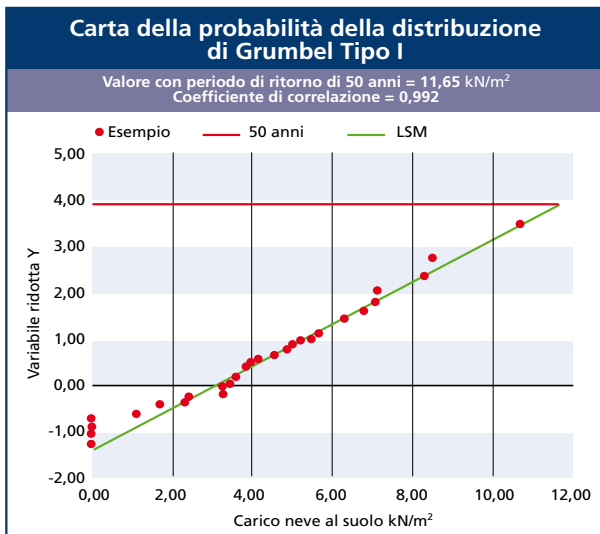


Fig. 3a

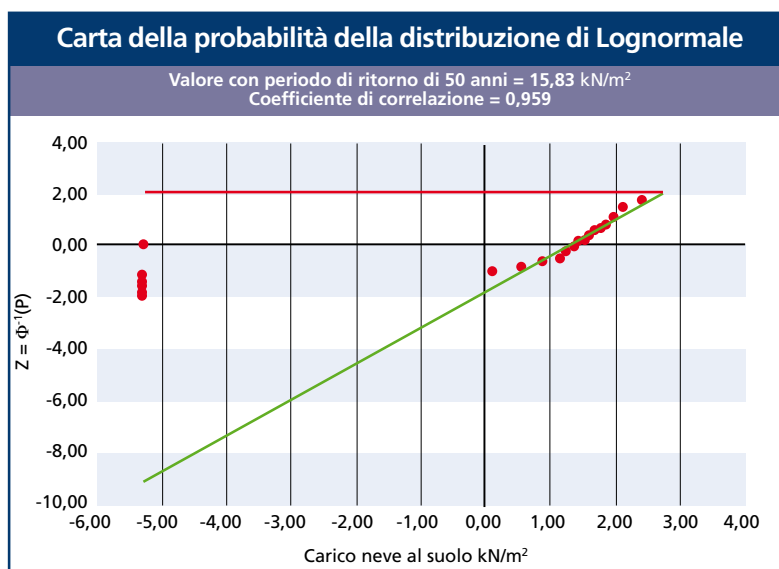


Fig. 3b

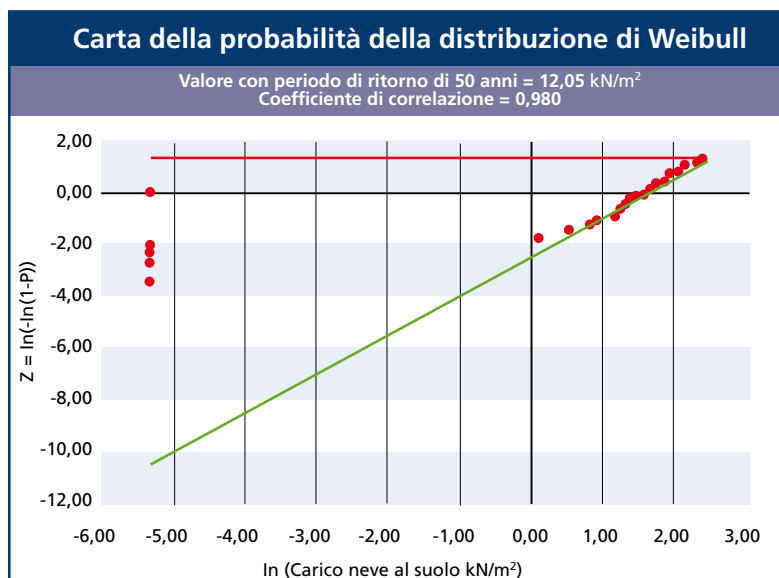


Fig. 3c

Stazioni meteorologiche dove le tre distribuzioni cumulative approssimano meglio il campione



generalmente più elevati rispetto alle altre funzioni. Tale risultato acquista maggiore evidenza nelle regioni a clima temperato, caratterizzate a basse quote da inverni senza precipitazioni. La distribuzione di Gumbel tipo I è stata assunta quale funzione cumulativa di riferimento per il calcolo dei valori caratteristici del carico della neve al suolo.

Carichi eccezionali

In alcune stazioni meteorologiche sono state registrate precipitazioni isolate, che hanno determinato carichi molto maggiori di quelli che normalmente si verificano.

Tali osservazioni possono appartenere ad una popolazione di eventi "estremi" differente da quella degli eventi che potremmo definire "moderati", oppure appartenere alla stessa popolazione degli eventi "moderati", ma essere caratterizzate da un periodo di ritorno molto maggiore del periodo di osservazione [23].

In entrambi i casi l'inserimento di questi valori nel campione dei massimi annuali provoca un effetto di disturbo dell'analisi statistica e peggiora il coefficiente di correlazione della funzione di distribuzione cumulativa.

La fig. 6, relativa alla stazione di Vercelli, mostra la funzione distribuzione cumulativa Gumbel tipo I che interpola il campione privato del valore massimo (Linea A) e la funzione che interpola l'intero campione (Linea B).

Da un lato la migliore interpolazione si ottiene con l'esclusione del valore massimo, dall'altro non pare giustificato non tenere in alcun conto di tale valore.

Si è pertanto introdotta la definizione di "valore eccezionale del carico" per il carico isolato che supera di 1,5 volte il carico caratteristico determinato dal campione privato del valore massimo.

Per il territorio italiano sono stati registrati valori eccezionali in otto stazioni, su un totale di 125

Frequenza delle stazioni meteorologiche dove le tre distribuzioni cumulative approssimano meglio il campione in funzione dell'altitudine

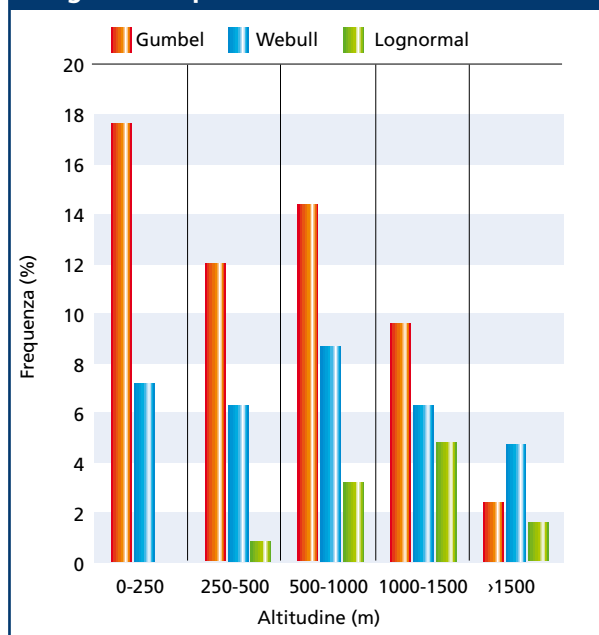
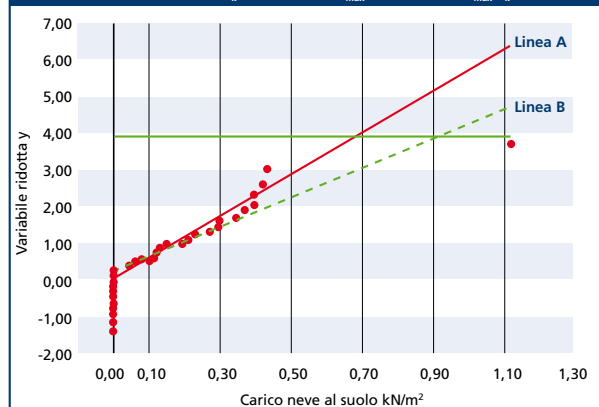


Diagramma della funzione di probabilità in presenza di un valore molto elevato

(Vercelli, 135 m.s.l.m.; $s_k = 0,69 \text{ kN/m}^2$, $s_{max} = 1,13 \text{ kN/m}^2$, $s_{max}/s_k = 1,64$)



esaminate. Di queste, soltanto quattro presentano valori del carico eccezionale rilevanti ai fini delle verifiche strutturali, mentre

Regioni climatiche nelle quali è stato suddiviso il territorio europeo

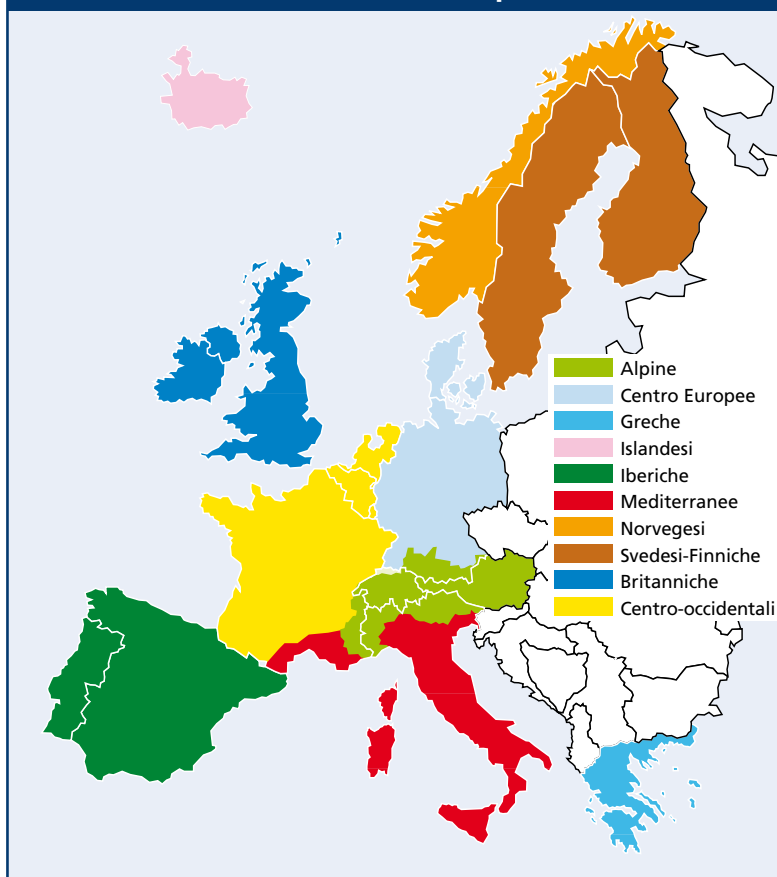
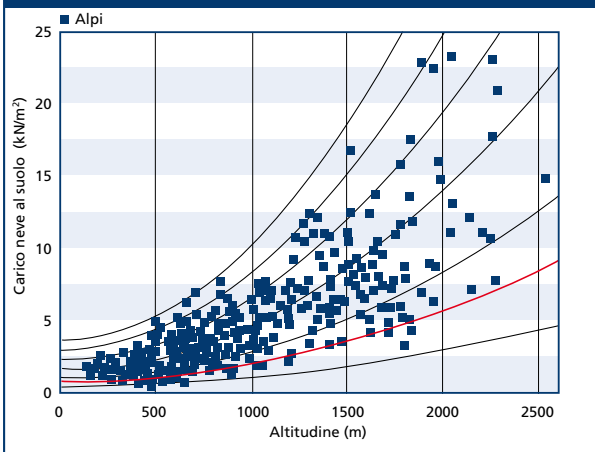


Fig. 7

Fig. 8

Valore caratteristico al suolo nella regione alpina



nelle altre l'eccezionalità è relativa a fenomeni nevosi di bassa intensità e quindi di sensibile intermittenza ed irregolarità.

Nella recente norma EN 1991-1-3 "Azioni sulle strutture. Carico neve" [2], per la prima volta in sede di normativa internazionale, è stato affrontato il tema dei carichi neve al suolo di entità eccezionale. La norma ha adottato la stessa definizione proposta nell'ambito del lavoro di ricerca condotto su base europea [3, 4], lasciando ai Paesi membri la decisione di introdurre o meno tali valori nelle combinazioni di carico accidentali.

Da parte italiana, considerato che per il territorio nazionale il fenomeno è assai raro e che, laddove si presenta, il valore eccezionale risulta in gran parte compensato dal valore di mappa, è stato ritenuto opportuno omettere specifiche prescrizioni normative sull'argomento.

MAPPA FISICA DEL VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO DELLA NEVE AL SUOLO

Mappa europea

La mappa europea del valore caratteristico del carico neve al suolo rappresenta il risultato di un ampio lavoro di ricerca compiuto fra il 1997 ed il 1999, sui dati rilevati in 2600 stazioni meteorologiche di 18 diversi Paesi [3, 4]. E' importante sottolineare come questo lavoro costituisca il primo tentativo su scala europea e come si siano dovute affrontare importanti problematiche connesse alla individuazione dei valori da rappresentare ed alle tecniche di mappatura e di controllo di qualità dei risultati. Lo scopo del lavoro consisteva essenzialmente nell'affinamento della corrispondenza dei valori di mappa a quelli effettivi e nella eliminazione delle discontinuità in corrispondenza dei confini di Stato, originati dalla differenti normative nazionali.

A prima vista, la soluzione più semplice consiste nel fornire direttamente il valore caratteristico del carico della neve in ogni luogo. In realtà un simile approccio darebbe origine a mappe estremamente dettagliate, specialmente nelle aree montuose, determinando una notevole difficoltà di impiego. Il progettista ha invece necessità di strumenti chiari e di facile lettura.

In termini generali il carico della neve al suolo può essere considerato come una variabile aleatoria multidimensionale, funzione cioè di molti parametri fra i quali si possono indicare la regione climatica, la quantità di precipitazione media, l'altitudine del luogo, la sua distanza dal mare e dai grandi laghi, la temperatura e l'umidità media dell'aria, l'espo-





sizione alle radiazioni solari, ecc. Di tutte queste condizioni la più importante risulta essere l'altitudine del sito, come dimostra anche l'esperienza normativa di molti Paesi.

Per gli scopi della progettazione è sufficiente pertanto elaborare una mappa del valore caratteristico al suolo alla quota del livello medio del mare e fornire la legge di variazione del carico con l'altitudine, ottenibile quest'ultima come curva di regressione nel piano valore caratteristico-altitudine dei punti rappresentativi di ciascuna stazione meteorologica. Solamente per la Norvegia e per l'Islanda, nelle quali non è stata riscontrata alcuna tendenza di variazione del carico al suolo con l'altitudine, il carico caratteristico della neve al suolo è stato direttamente determinato per ciascuna municipalità.

A causa delle notevoli differenze di clima riscontrate sull'intero territorio europeo, è stato necessario individuare, attraverso un procedimento iterativo di affinamento, delle regioni clima-

ticamente omogenee, nelle quali la tendenza del carico rispetto all'altitudine fosse chiaramente individuata.

Le regioni climatiche sono risultate in numero di dieci, come rappresentato in fig. 7.

L'Italia è stata suddivisa in due diverse aree: il territorio pianeggiante del nord, il centro- sud e le isole sono comprese nella "regione mediterranea", della quale fanno parte anche la Grecia e parte della Francia meridionale; il territorio montuoso del settentrione appartiene alla "regione alpina", che comprende anche la Svizzera, l'Austria nonché parte della Francia e della Germania. Per ciascuna delle regioni climatiche sono state definite le curve più appropriate, descritte da funzioni espresse in forma parametrica in maniera da poter ulteriormente suddividere il territorio in zone per la migliore approssimazione possibile dei dati. Il parametro caratterizzante le singole zone è costituito dal carico alla quota al livello del mare.

La definizione delle funzioni e dei parametri è stata effettuata mediante l'utilizzo di una procedura iterativa di tentativi ed aggiustamenti, adeguando ad ogni passo i limiti di ampiezza della variazione del carico fra zona e zona, il numero delle zone, il grado di regolarizzazione impiegato per interpolare i dati e generare i confini delle zone.

Nella fig. 8 è riportato, a titolo di esempio, il posizionamento sul piano carico-altitudine dei dati relativi alla regione alpina e la famiglia di curve che delimitano le cinque zone nelle quali è stato suddiviso il campo di variazione dei carichi neve. Per ciascuna zona la curva rappresentativa della variazione del carico con l'altitudine è quella media, indicata a tratteggio in figura.

La localizzazione geografica di tutte le stazioni meteorologiche appartenenti alla stessa zona ha consentito di tracciarne i confini, utilizzando tecniche GIS (Geographical Information System). Il risultato di questo procedimento è rappresentato quindi da una

Mappa del valore caratteristico del carico neve al suolo per la regione alpina

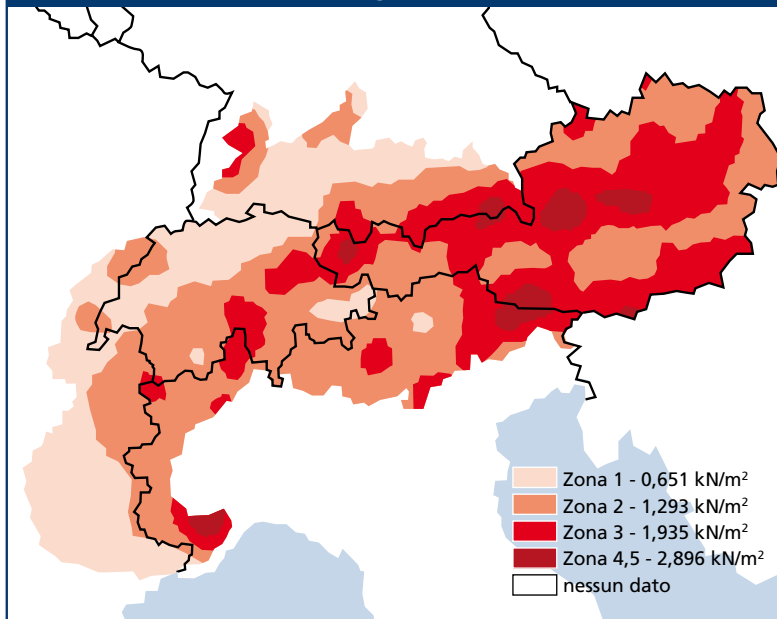


Fig. 9

Mappa del valore caratteristico del carico neve al suolo per la regione mediterranea

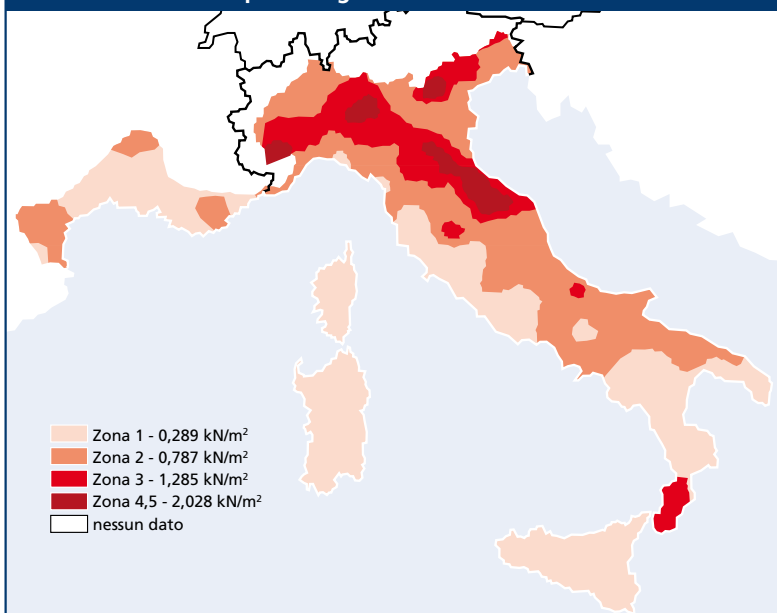


Fig. 10

mappa delle zone, in ciascuna delle quali si applica una ben determinata legge di variazione carico-altitudine. Assegnate la posizione di un sito e la relativa quota sul livello medio del mare, si ricava molto facilmente il valore caratteristico del carico al suolo. Un altro importante problema, al quale si è tentato di dare una soluzione, è costituito dalla discontinuità dei valori in corrispondenza dei confini fra regioni climatiche. Possono nascere infatti notevoli discrepanze, a se-

conda che si consideri un punto sul confine appartenente ad una o all'altra regione.

Per ridurre a livelli accettabili tali discontinuità sono state definite delle aree di compensazione. Tali aree, derivanti dalla estensione per una profondità di 100 km oltre il confine della regione considerata, consentono di includere anche le stazioni ivi ricadenti nell'insieme utilizzato per la definizione delle zone e delle funzioni carico-altitudine. Il processo di elaborazione del-

la mappa di ciascuna regione risente così in maniera determinante dell'influenza delle regioni limitrofe, con il risultato di attenuare le differenze ai bordi.

Le figure 9 e 10 mostrano le mappe ottenute per le regioni alpina e mediterranea, nelle quali è compreso tutto il territorio italiano. A fianco di ciascuna mappa sono indicati il numero di zona ed il valore caratteristico del carico della neve al suolo alla quota del livello medio del mare.

Controllo di qualità della mappa fisica

Una fase molto importante della ricerca europea è stata quella del controllo di qualità della mappa.

La procedura consiste in un affinamento della mappa sulla base del confronto, per ogni stazione meteorologica, fra il valore ottenuto dalla mappa per il sito specifico ed il valore caratteristico della stazione stessa.

La fig. 11 mostra l'istogramma delle differenze fra il valore di mappa ed il valore caratteristico per le stazioni della regione alpina. Nella maggioranza delle stazioni la differenza è compresa fra $-0,2$ kN/m² e $0,6$ kN/m² e dunque la mappa descrive bene la variazione del carico sul territorio.

Altro argomento oggetto di valutazione è rappresentato dalla discontinuità in corrispondenza dei confini delle regioni climatiche. Per analizzare questo aspetto sono stati calcolati in corrispondenza del confine, in punti posti ad intervalli di 20 km, i valori determinati dalle differenti funzioni carico-altitudine previste nelle due regioni limitrofe.

La fig. 12 mostra il risultato ottenuto, dopo l'ottimizzazione della mappa, in corrispondenza del confine fra regione alpina e regione centrale orientale.

Naturalmente la riduzione delle

differenze comporta delle contropartite, quali l'aumento delle zone e una peggiore compatibilità fra valori di mappa e valori caratteristici in prossimità del confine. Di tutto questo è stato tenuto conto, determinando un buon compromesso fra le esigenze di semplicità e quelle di buona descrizione del carico.

Proposta per un aggiornamento della mappa normativa italiana del carico neve al suolo

Il nuovo Decreto Ministeriale [29] ripropone la stessa mappa della neve al suolo contenuta nelle precedenti norme datate 1996, riferita ad un carico con periodo di ritorno di 200 anni.

Tuttavia, alla luce dei risultati scientifici sin qui esposti e tenuto conto della necessità di uniformare la normativa nazionale a quella europea, vi sono sufficienti elementi per un aggiornamento della mappa italiana. Tra l'altro questo processo di affinamento ed armonizzazione è attualmente in corso in molti Paesi europei, con l'obiettivo primario di ridurre le discontinuità, in corrispondenza dei confini di Stato, dei valori del carico derivanti dall'applicazione dalle singole norme nazionali.

Le principali variazioni della proposta di mappa normativa italiana rispetto alla mappa fisica europea sono costituite da un minor numero di zone, da funzioni carico-altitudine leggermente diverse, dai bordi delle zone coincidenti con i confini amministrativi provinciali.

Il valore caratteristico del carico della neve, secondo l'impostazione dell'Eurocodice 1, è relativo al periodo di ritorno di 50 anni. Nelle tre zone, indicate nella figura 13, nelle quali è stato suddiviso il territorio italiano, la funzione carico-altitudine è quella sotto indicata:

Zona I

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

$$a_s \leq 200 \text{ m}$$

Per le province di: Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza:

$$q_{sk} = 1,39 \left[1 + \left[\frac{a_s}{728} \right]^2 \right] \text{ kN/m}^2$$

$$a_s > 200 \text{ m}$$

Per le province di: Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese:

$$q_{sk} = 1,35 \left[1 + \left[\frac{a_s}{602} \right]^2 \right] \text{ kN/m}^2$$

$$a_s > 200 \text{ m}$$

Zona II

Per le province di: Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Foggia, Genova, Gorizia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona

$$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2$$

$$a_s \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 0,85 \left[1 + \left[\frac{a_s}{481} \right]^2 \right] \text{ kN/m}^2$$

$$a_s > 200 \text{ m}$$

Zona III

Per le province di: Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Messina, Napoli, Nuoro, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo

$$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/m}^2$$

$$a_s \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 0,51 \left[1 + \left[\frac{a_s}{481} \right]^2 \right] \text{ kN/m}^2$$

$$a_s > 200 \text{ m}$$

Essendo a_s l'altitudine s.l.m. della località espressa in m.

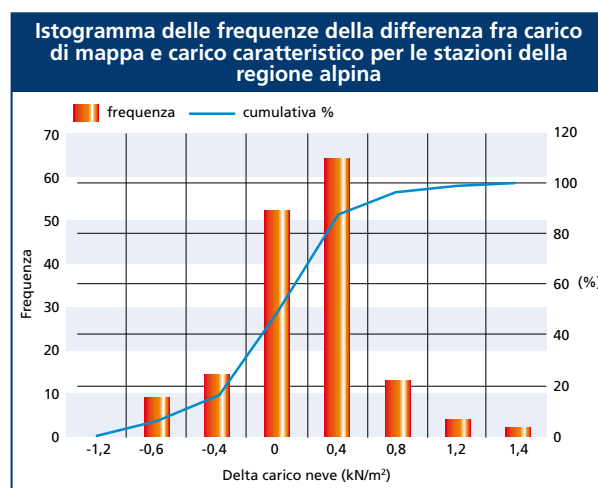


Fig. 11

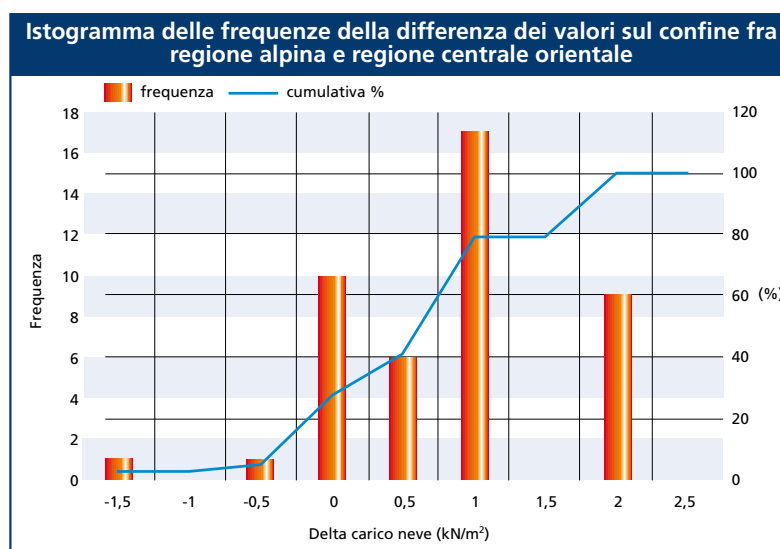
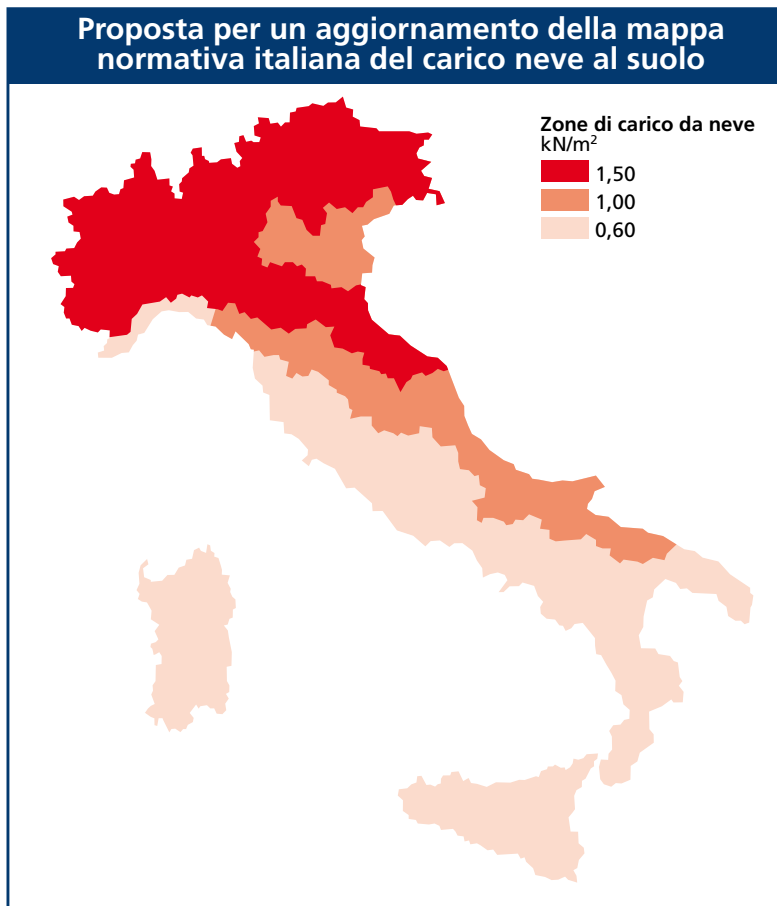


Fig. 12

Fig. 13



CARICHI SULLE COPERTURE

Il carico sulle coperture è definito nella normativa italiana secondo l'usuale formato delle normative internazionali (5):

$$S = S_k \mu$$

nella quale s rappresenta il carico sulla copertura, s_k il carico caratteristico e μ il coefficiente di forma.

Proprio il coefficiente di forma è stato oggetto di una campagna di misure ed osservazioni, volte ad indagare diverse tipologie di coperture in differenti regioni climatiche del territorio europeo. Nei siti prescelti sono state misurate le grandezze meteorologiche salienti, oltre naturalmente al carico della neve al suolo ed a quello sui tetti. Lo studio è stato poi integrato da prove su modelli, sottoposti a neviccate artificiali nel tunnel del vento climatico Jules Vernes di Nantes (CSTB).

I risultati di tale lavoro hanno consentito di aggiornare i coeffi-

cienti di forma indicati dall'Eurocodice 1 e, per estensione, hanno determinato degli affinamenti analoghi anche nella normativa italiana.

Recenti misure sperimentali sul territorio italiano

Nuovi risultati sono stati ottenuti nel corso di una campagna di osservazioni, svolta durante l'inverno 1997/98 presso alcune località dell'arco alpino e dell'Appennino Tosco-Emiliano [4, 28]. Fra queste, particolare interesse rivestono le misure effettuate nella stazione sciistica dell'Abetone, essendo riferite a quote inferiori a 1500 m s.l.m. .

Per ciascun sito è stato effettuato un rilievo con cadenza sufficientemente ravvicinata da poter determinare la variazione nel tempo dello spessore del manto nevoso sulle coperture ed al suolo, della densità della neve, della temperatura dell'aria, della direzione e della velocità del vento dominante.

La densità media del manto è stata ricavata dalla misura del peso e del volume di campioni, prelevati per mezzo di un tubo metallico introdotto nella neve fino a toccare il fondo del manto. In alcuni casi sono state rilevate forti disomogeneità del manto ed il campionamento è stato effettuato strato per strato, consentendo così di determinare la variazione di densità con lo spessore.

Le misure di altezza sono state eseguite in maniera assai semplice, con l'ausilio di aste graduate, posizionate sulle coperture oggetto di osservazione e su una porzione di terreno situata nelle immediate vicinanze. La misura dell'altezza del manto e della densità della neve ha consentito di determinare il peso della neve, quale grandezza derivata. In altre indagini sono stati invece usati appositi cuscini, in grado di fornire direttamente ed in maniera automatica il carico della neve [4].

Pur nella limitatezza del periodo di osservazione, i risultati illustrati a titolo di esempio nella fig. 14, relativi ad uno dei 12 edifici posti sotto osservazione presso la stazione meteorologica dell'Abetone, mostrano come la densità media si mantenga per lunghi periodi su livelli di 3,50 kN/m³ e come raggiunga valori di poco inferiori a 5,0 kN/m³ alla fine della stagione, confermando così la legge densità-tempo indicata in fig.2 [28].

La conoscenza del carico sulla copertura ed al suolo ha permesso di ottenere il coefficiente di forma del tetto, inteso come rapporto fra le due grandezze. Nella fig. 15, relativa ad un edificio con copertura a falde piane di inclinazione di 10°, posto anch'esso presso la stazione dell'Abetone, è riportata la variazione, rispetto al tempo, del fattore di forma e della frazione del carico in copertura

rispetto al valore massimo stagionale.

Il rapporto ha un valore prossimo a 0,8 per carichi elevati, mentre attinge valori assai superiori quando lo spessore della neve sul tetto è molto esiguo.

Coefficienti di forma

I risultati della ricerca europea [3, 4] hanno suggerito alcune semplificazioni in merito ai coefficienti di forma da utilizzare per convertire il carico al suolo in carico sulle coperture.

In primo luogo è stato osservato come non sia giustificata, per il territorio europeo e dunque anche per quello italiano, la differenziazione del coefficiente di forma delle coperture piane in due distinti valori, relativi uno alla falda sopravvento e l'altro a quella sottovento, e come risulti invece sufficiente un unico fattore μ 1 per determinare il carico su entrambe le falde (fig. 16). Si tratta di un importante contributo che dimostra l'importanza della sperimentazione su un territorio che, per quanto vasto e caratterizzato da notevoli varietà di clima, tuttavia non presenta, se non in alcune aree del nord, quelle condizioni così severe come quelle relative alle località ove erano state in passato effettuate le indagini specifiche sui coefficienti di forma. L'utilizzo di un unico valore del coefficiente di forma per entrambe le falde riduce, rispetto a quanto previsto dalla normativa fin qui in uso, il numero di condizioni di carico da dover considerare e determina quindi un minor impegno di calcolo.

Le esperienze condotte su varie tipologie di copertura ha consentito poi di introdurre direttamente nelle nuove norme italiane, sulla scorta anche dell'aggiornamento dell'Eurocodice 1, il caso delle coperture a falda, ivi incluse quelle che presentano compluvi, e delle coperture cilindriche.

CONCLUSIONI

La normativa italiana sui carichi da neve, oggetto di aggiornamento con il D.M. 14/09/05, ha recepito solo parte dei risultati più recenti ottenuti in campo nazionale ed europeo. Tuttavia, nello spirito di una sempre maggiore integrazione con le norme europee EN 1991-1-3 - Eurocodice 1 - Azione della neve, è auspicabile una modifica dei criteri assunti per il calcolo del carico neve al suolo e per la redazione della relativa mappa.

Infatti si sono resi disponibili nuovi dati, provenienti da stazioni meteorologiche, che in passato non erano state esaminate.

La qualità dei risultati è certamente migliorata, dal momento che sono stati effettuati approfonditi controlli sui dati, sull'analisi statistica e sulle mappe stesse. Infine le mappe sono derivate da accurate e mirate applicazioni delle tecniche GIS.

La mappa normativa della neve qui proposta, molto dettagliata e di facile utilizzo, consente di calcolare in maniera semplice il valore caratteristico del carico della neve al suolo.

Rispetto alla versione normativa delle nuove norme tecniche italiane vi è una significativa variazione dell'entità dei carichi, dato che questi sono calcolati per periodo di ritorno di 50 anziché di 200 anni.

I fattori di forma delle coperture, fino ad ora desunti da studi effettuati in regioni a clima molto freddo, sono stati oggetto di sperimentazione presso coperture di edifici posti in diverse località del territorio europeo e su modelli nel tunnel del vento. E' stato così possibile introdurre nella nuova normativa italiana valori ridotti rispetto a quelli indicati nella precedente versione, a vantaggio di una economia dei costi di costruzione.

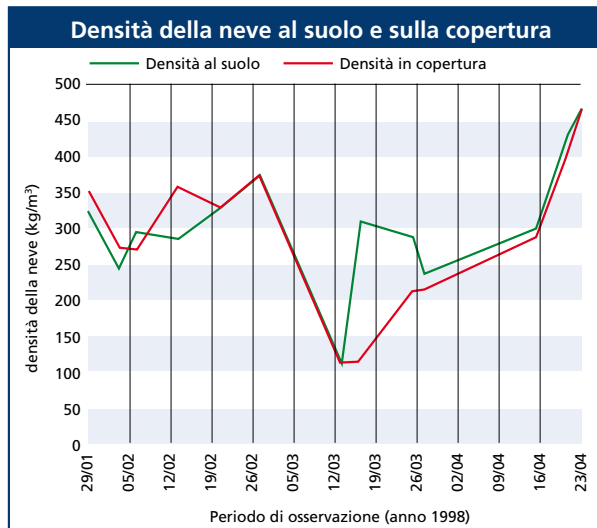


Fig. 14

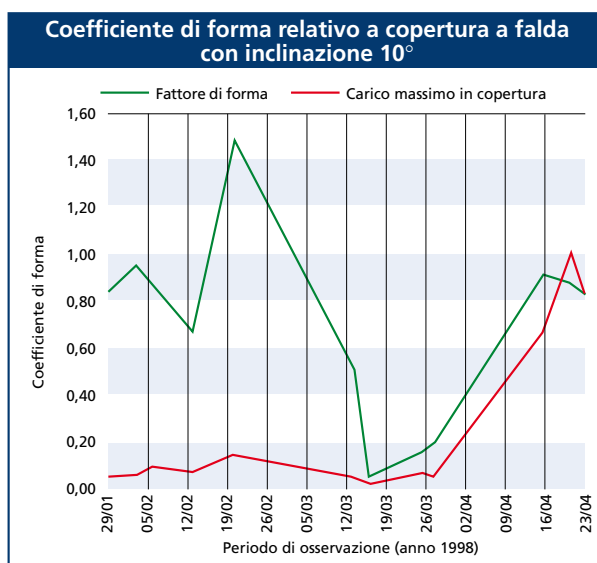


Fig. 15

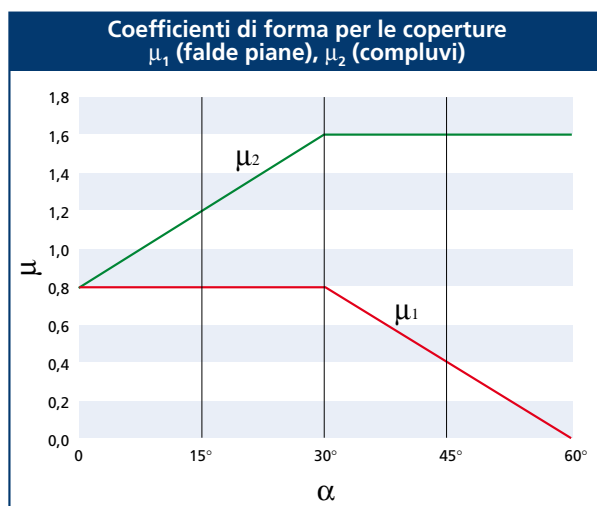


Fig. 16

Bibliografia

- La bibliografia, citata nel testo fra parentesi quadre, è consultabile sul web all'indirizzo <http://www.ing.unipi.it/dis/carichineve/bibliografia.htm>.
- Infine l'articolo è stato presentato, in forma meno estesa, al convegno Fifth International Conference on Snow Engineering, 5-8 July 2004, Davos, Switzerland.