



**Ing. Mirko Sebastiani**  
Libero professionista

L'“Indagine nazionale su neve e valanghe” ha consentito di effettuare una prima analisi sullo stato delle reti di monitoraggio nivologico attualmente operative nel Paese.

A supporto delle future scelte di potenziamento e razionalizzazione di sistema, si è ritenuto opportuno operare una valutazione generale sulla consistenza e rappresentatività delle reti, con riferimento alle aree montane convenzionalmente identificate con le quote superiori agli 800 m.s.l.m.

Allo scopo sono stati individuati degli indici generali di densità spaziale ritenuti adeguati alle funzioni delle reti nivologiche e si è rielaborata, adattandola alla realtà nazionale, una metodologia valutativa sviluppata originariamente da Latenser e Schneebeli per il territorio svizzero.

**METODOLOGIA**  
per la **VALUTAZIONE**  
della **RAPPRESENTATIVITA'**  
delle **RETI**  
**NIVO**



**LOGICHE**

Nell'ambito dell' "Indagine nazionale su neve e valanghe" condotta nel primo anno di attività (2006) della convenzione tra Dipartimento della Protezione Civile e AINEVA si è voluto cercare di valutare la consistenza/rappresentatività delle reti nivometeorologiche dell'arco alpino e della dorsale appenninica.

Rilevata una generale assenza di standard di riferimento per la distribuzione spazio - altitudinale delle stazioni nivometeorologiche, al fine di individuare un criterio razionale sulla base del quale condurre tale valutazione,

ci si è innanzitutto interrogati sul significato di consistenza e rappresentatività di una rete di stazioni.

Da quanto rinvenuto e dai colloqui intercorsi con operatori ed esperti del settore è emersa l'indicazione di una forte dipendenza dell'adeguatezza delle reti di raccolta dati:

- dalle finalità per cui la rete è realizzata;
- dalla conformazione su mesoscala e macroscale del territorio di installazione e dalla sua interazione con i fenomeni meteorologici originanti i parametri indagati.

La conformazione del territorio e l'interazione con i fenomeni meteorologici che vi hanno luogo non risultano particolarmente utili nel percorso di individuazione del criterio valutativo cercato mentre, invece, lo sono le finalità delle reti di raccolta dati nivologici.

Esse possono essere suddivise in due famiglie in funzione della rappresentatività dei dati raccolti in relazione alla situazione in atto. Tale rappresentatività dipende dal tempo che intercorre tra l'istante in cui il dato viene

generato e l'istante in cui viene utilizzato e si distinguono pertanto finalità:

- a)** operative o di "tempo reale";
- b)** e di analisi statistica.

Tra le finalità di tipo a) trovano collocazione:

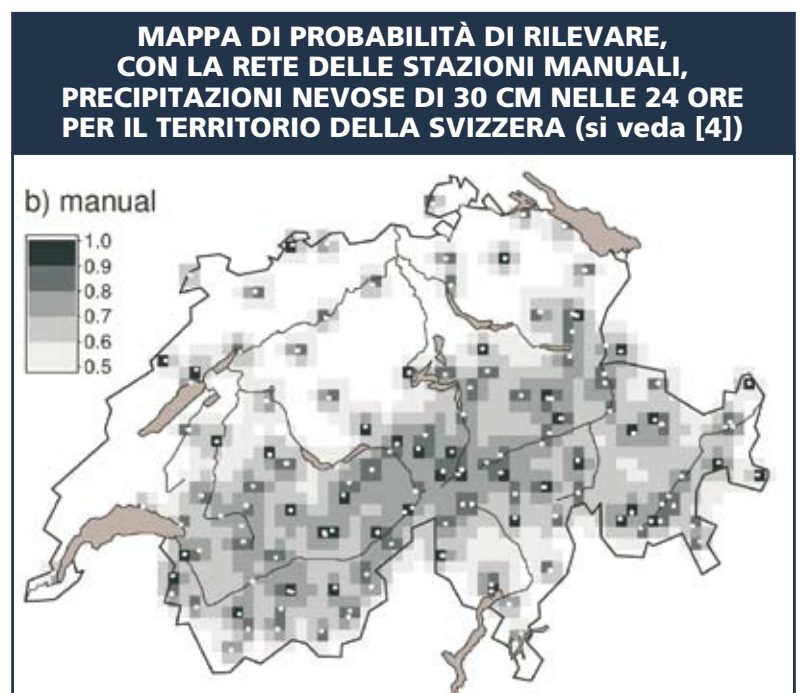
- a.1)** valutazione del rischio valanghe (si veda [3]);
  - a.2)** valutazione del rischio neve (si veda [3]);
  - a.3)** valutazione della risorsa neve;
  - a.4)** valutazione del rischio inondazioni;
- mentre tra le finalità di tipo b):

- b.1)** analisi degli eventi estremi;
- b.2)** definizione di valori di progetto;
- b.3)** previsione riserve idriche;
- b.4)** studi climatologici.

Nella definizione delle finalità delle reti di misura vanno inoltre specificati:

- i)** la scala spaziale;
- ii)** la scala temporale;
- iii)** il tempo di ritorno eventualmente associato al fenomeno esaminato;
- iv)** la natura del fenomeno osservato.

I dati raccolti dalle reti di monitoraggio dei parametri nivologici vengono normalmente impiegati per molte delle finalità sopra individuate. Per alcune di esse, in particolare per la valutazione del rischio valanghe (finalità a.1), per l'analisi degli eventi valanghivi estremi (finalità b.1; di cui esistono numerosi studi applicati al territorio) e per la definizione di valori di progetto (finalità b.2; si veda per esempio [2]), esistono delle metodologie di analisi largamente impiegate, sebbene anche in questi ambiti la ricerca sia in forte evoluzione, mentre per le altre, in particolare per la valutazione del rischio neve (finalità a.2), per la valutazione della risorsa neve (finalità a.3) e per la valutazione del rischio inonda-



zioni (finalità a.4), esistono studi che non si sono ancora tradotti in metodologie univocamente determinate e applicate abitualmente (si vedano, per esempio, [6], [7], [8], [9] e [10]).

Poiché l'obiettivo preponderante, per cui sono state realizzate e sono utilizzate le reti di monitoraggio dei parametri nivometeorologici, rimane la stima del rischio valanghe (finalità a.1) a scala regionale, che si traduce nella redazione dei Bollettini valanghe a cui segue, attualmente solo in alcuni casi, la determinazione dei relativi livelli di criticità secondo lo schema operativo, già in buona parte consolidato, basato sui Centri Funzionali (si veda [3]), il criterio di valutazione cercato, in base al quale determinare gli standard di distribuzione spaziotemporale delle stazioni o valutare la consistenza, la rappresentatività di una rete nivometeorologica, dovrà innanzitutto essere funzionale a questo scopo.

Come conseguenza della definizione di un fine particolare, la valutazione del rischio valanghe a scala regionale appunto, sulla base del quale costruire il criterio di valutazione della rappresentatività delle reti di monitoraggio, la loro adeguatezza in relazione ad alcune finalità, quali le esigenze di monitoraggio destinate al controllo di fenomeni valanghivi particolari e localizzati o le esigenze di monitoraggio dei fenomeni di innevamento a bassa quota, non potrà essere valutata. D'altro canto una rete nivometeorologica caratterizzata da una distribuzione di stazioni ritenuta adeguata per il monitoraggio del rischio valanghe a scala regionale, potrà ragionevolmente essere ritenuta adeguata per molte delle finalità di cui sopra, specialmente per quelle caratterizzate da esigenze di descrizione del comporta-



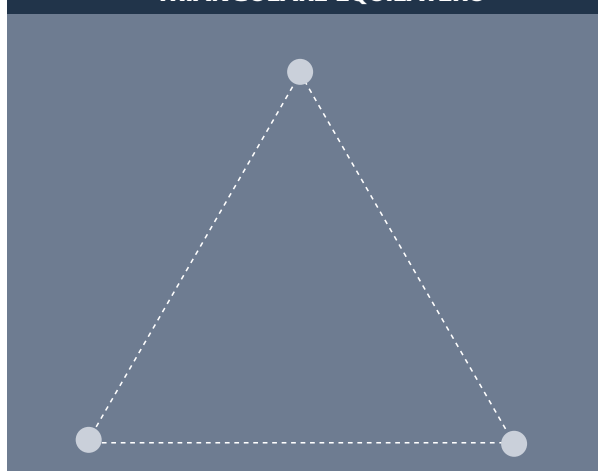
mento nivometeorologico del territorio meno stringenti.

Tra i molteplici parametri che vengono monitorati per la valutazione del rischio valanghe (finalità a.1), l'altezza di neve fresca è tra i maggiormente significativi (si veda [5]). Si è inoltre trovato in letteratura uno studio di Schneebeli e Laternser (si veda [4]), in cui viene proposto un metodo per la quantificazione della probabilità che un evento di precipitazione nevosa di determinata intensità, che avviene su una generica area, venga rilevato da una rete di stazioni di misura.

L'idea di base di questo modello probabilistico, alla luce delle considerazioni appena fatte, ha tutte le caratteristiche per essere adottata come criterio di valutazione della consistenza/rappresentatività delle reti.

Con riferimento alla figura 1, il modello probabilistico proposto consente di quantificare la probabilità che una generica rete di stazioni, rappresentate da cerchietti grigi, sia in grado di rilevare una precipitazione di neve fresca di 30 cm nelle 24 ore, piuttosto che di 10 cm nelle 24 ore o di 90 cm nelle 96 ore o

#### RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DI UNA RETE IDEALE CON LE STAZIONI DISTRIBUITE IN MODO TRIANGOLARE EQUITERICO



altra soglia, nell'area quadrata Fig. 3 evidenziata.

Data questa possibilità del modello si è in grado di costruire delle mappe di probabilità, di rilevare una precipitazione nevosa di determinata intensità, come quelle elaborate per il territorio elvetico da Laternser e Schneebeli e di cui si riporta un esempio in figura 2. Mappe che consentono di individuare le zone dove il numero di stazioni o la loro distribuzione sono inadeguati, oppure dove la rete è inutilmente sovrappopolata.

Si può anche ipotizzare una rete ideale (figura 3.) con le stazioni

**DISTANZA E RELATIVA DENSITÀ TERRITORIALE DELLE STAZIONI CHE CONSENTE DI AVERE OVUNQUE, IN FUNZIONE DELLE SOGLIE DI PRECIPITAZIONE NEVOSA, UNA PROBABILITÀ DI RILEVARE L'EVENTO MAGGIORE DELL'80%.**

Soglia di precipitazione nevosa	Distanza tra le stazioni (km)	Densità territoriale delle stazioni (stazioni/km <sup>2</sup> )
Hn20	17	1/250
Hn30	14	1/170
Hn50	12	1/125
Hn75/3	14	1/170

In particolare sono state adottate una:

**densità di riferimento minima: una stazione ogni 170 km<sup>2</sup>**  
 pari a 0,60 stazioni/100 km<sup>2</sup>; collegata alle soglie di precipitazione Hn30 e Hn75/3

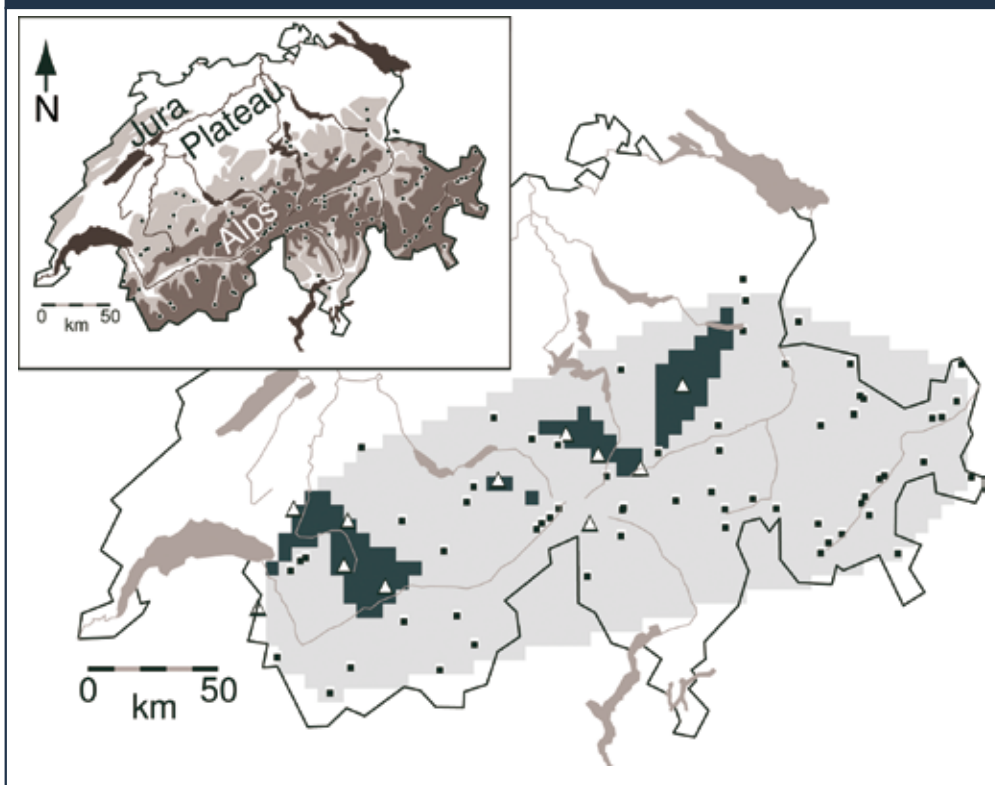
e una

**densità di riferimento ottimale: una stazione ogni 125 km<sup>2</sup>**  
 pari a 0,80 stazioni/100 km<sup>2</sup>; collegata alle soglie di precipitazione Hn50

Fig. 4

Fig. 5

**DISTRIBUZIONE DI NEVE FRESCA AL SUOLO (HN30) PER UN GIORNO DI ESEMPIO**



distribuite in modo triangolare equilatero e cercare la minima distanza tra esse che consenta di avere ovunque, sul territorio, una probabilità (di rilevare una precipitazione nevosa di determinata intensità) maggiore di una determinata soglia, che Schneebeli e Laternser gli autori fissano all'80%.

Mappe di probabilità e distanze minime tra le stazioni possono essere rispettivamente disegnate e calcolate in relazione a differenti soglie di precipitazione

ne nevosa. I valori di altezza di neve fresca considerati, per i quali è noto esistere una buona correlazione con un certo grado di rischio valanghe (si veda [5]), sono:

- 20 cm nelle 24 ore (Hn20);
- 30 cm nelle 24 ore (Hn30);
- 50 cm nelle 24 ore (Hn50);
- 75 cm su 3 giorni consecutivi (Hn75/3).

Per avere una conoscenza accurata della rappresentatività delle reti dell'arco alpino e della dorsale appenninica si sarebbe dovuta condurre un'analisi come quella eseguita per le reti della Svizzera da Laternser e Schneebeli (si veda [4]). Un'analisi così dettagliata esulava tuttavia dagli obiettivi dell' "«Indagine nazionale su neve e valanghe»", sia per l'impegno che uno studio simile richiede, sia perché l'applicabilità del metodo probabilistico di cui sopra è subordinata alla disponibilità delle serie storiche delle precipitazioni nevose delle stazioni costituenti le reti, dati che sarebbe stato difficile reperire nei tempi a disposizione.

Nell' "«Indagine nazionale su neve e valanghe»" si è pertanto deciso di mantenere il modello probabilistico come indicazione di metodo per l'analisi approfondita della rappresentatività delle reti nivometeorologiche e come utile strumento di progettazione degli interventi sulle reti stesse, e di utilizzare invece come valori di riferimento iniziali, con cui eseguire una verifica ricognitiva del livello di adeguatezza delle reti italiane, quelle densità territoriali di stazioni (tabella di fig. 4) che garantiscono per reti ideali, con distribuzione triangolare equilatera, una probabilità (di rilevare le precipitazioni nevose eccedenti le soglie suindicate) ovunque maggiore dell'80%.

I valori di densità di riferimento adottati sono stati calcolati da La-

ternser e Schneebeli (si veda [4]) sulla base delle serie storiche delle precipitazioni nevose delle stazioni svizzere. In mancanza di uno studio analogo basato sulle serie storiche delle precipitazioni nevose delle stazioni italiane, si è ritenuto di poter comunque utilizzare, per una verifica ricognitiva del livello di adeguatezza delle reti italiane, questi valori di densità.

## PROCEDIMENTO

Nello studio condotto da Laternser e Schneebeli per il territorio elvetico, le stazioni nivometeorologiche, divise secondo la loro appartenenza alle reti automatica, manuale, operativa (data dalla somma di automatica e manuale) e climatologica (operativa con l'integrazione di stazioni manuali con misure a cadenza mensile), sono state considerate appartenere ad un'unica regione geografica, la Svizzera appunto.

Una simile scelta è ragionevole per il territorio svizzero, in cui non si riscontrano forti differenze, da una regione all'altra tra le regioni potenzialmente interessate da problematiche valanghive significative, nel comportamento nivometeorologico.

Nel caso di applicazione del metodo probabilistico al territorio italiano una scelta di questo tipo non appare opportuna. Infatti l'estrema complessità sia dell'orografia dell'Italia, caratterizzata da due catene montuose importanti molto allungate e disomogenee con presenza di considerevoli sistemi premontani e vallivi variamente orientati e profondamente incidenti il territorio, sia delle situazioni sinottiche che interessano la penisola, suggeriscono la suddivisione delle due catene montuose in aree a comportamento nivometeorologico omogeneo.

Tale suddivisione può essere operata per mezzo di tecniche di analisi statistica quali:

- cluster analysis;
- analisi per componenti principali;
- analisi multivariata;
- altre tecniche di analisi statistica superiore.

Eseguita questa suddivisione del territorio in aree a comportamento nivometeorologico omogeneo, per ognuna di esse si passa alla determinazione della relazione area probabilità \_ cumulata.

Innanzitutto, per ogni giorno di precipitazione nevosa registrata, si costruisce la distribuzione

Figura 5 - In nero le aree (5) con altezza di neve fresca (Hn) maggiore di 30 cm. I triangoli bianchi le stazioni in cui Hn > 30 cm, i punti neri le stazioni in cui Hn ≤ 30 cm, l'area grigia l'area di interpolazione. Nell'insero le stazioni utilizzate per l'interpolazione con l'evidenziazione, in grigio, delle fasce altimetriche < 1000 m, 1000-2000 m e > 2000 m.

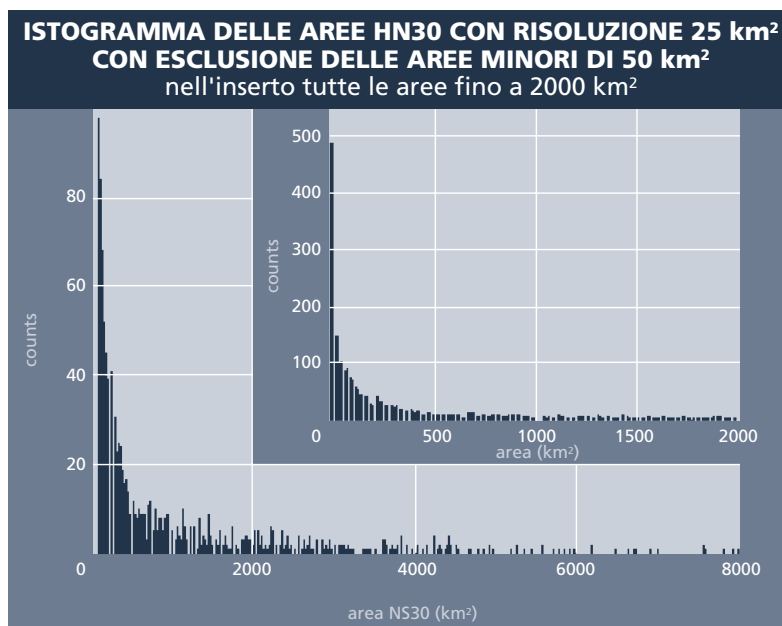


Fig. 6

della neve fresca al suolo. Questo è un passo molto importante della procedura, dipendendo da esso la forma delle relazioni area probabilità\_cumulata per le varie soglie di precipitazione considerate, e, sebbene nello studio condotto per le reti svizzere sia stata impiegata una interpolazione lineare, si ritiene sarebbero maggiormente appropriati strumenti più sofisticati, quali il "kriging" o modelli di distribuzione che consentano di prendere in considerazione un numero superiore di variabili indipendenti, ad esempio la quota, come il Moving Least Square Approximant a rango variabile

(si vedano [6], [7], [8] e [9]). Ottenute, per ogni giorno di precipitazione nevosa, le distribuzioni della neve fresca al suolo, si contano e si ordinano per dimensione le aree in cui si ha il superamento delle soglie di precipitazione indagate e, per ognuna di esse, si costruiscono gli istogrammi area numero\_di\_ aree da cui poi si ottengono agevolmente i diagrammi area probabilità\_cumulata. A questo punto si costruiscono le distribuzioni di probabilità cumulata bidimensionali facendo l'ipotesi di isotropia (da cui la forma circolare della funzione probabilità\_cumulata) ed im-

ponendo un limite superiore di 5000 km<sup>2</sup> (raggio di ~ 40 km) all'area di influenza di ogni stazione, oltre il quale la probabilità cumulata viene posta uguale a 0; altro limite che viene imposto è che per un'area di 3 km<sup>2</sup> (raggio di ~ 1 km) attorno alla stazione, la probabilità cumulata di rilevare un evento di precipitazione nevosa sia pari a 1. L'effettiva forma di un'area di precipitazione è complessa ma, tra le centinaia di giorni nevosi considerati da Laternser e Schneebeli per la Svizzera, non è stata visivamente individuata una direzione preferenziale, tranne in pochi casi per Hn30 in cui si è avuta una distribuzione della precipitazione allungata e parallela alla catena delle Alpi. Pertanto l'ipotesi di isotropia è una ragionevole approssimazione per i dati utilizzati. Ovviamente per eventuali altri studi, ad esempio per le catene montuose italiane, tale ipotesi dovrà essere verificata. Nelle figure seguenti (figure 6, 7 e 8) si riportano degli esempi, sempre tratti dallo studio di Laternser e Schneebeli (si veda [4]), rispettivamente di distribuzione di neve fresca al suolo (Hn30), di istogramma area numero\_di\_ aree e di relazione area probabilità\_cumulata (sem-

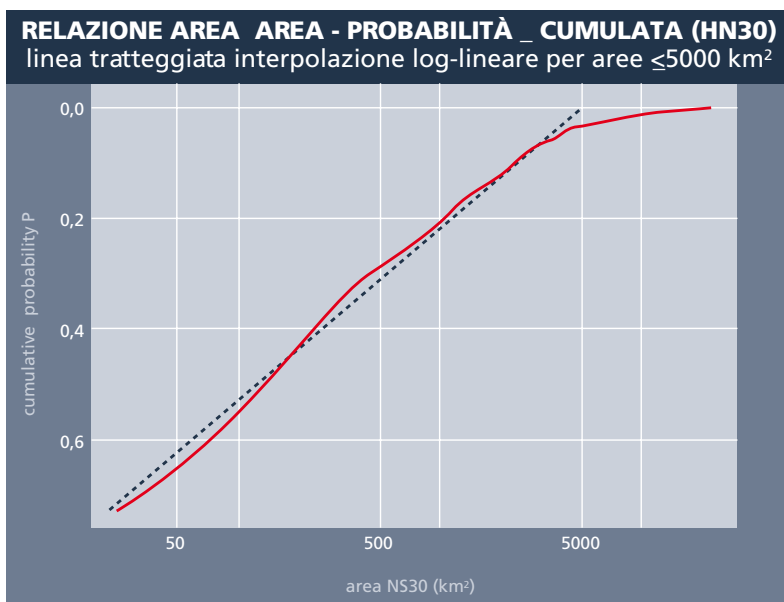
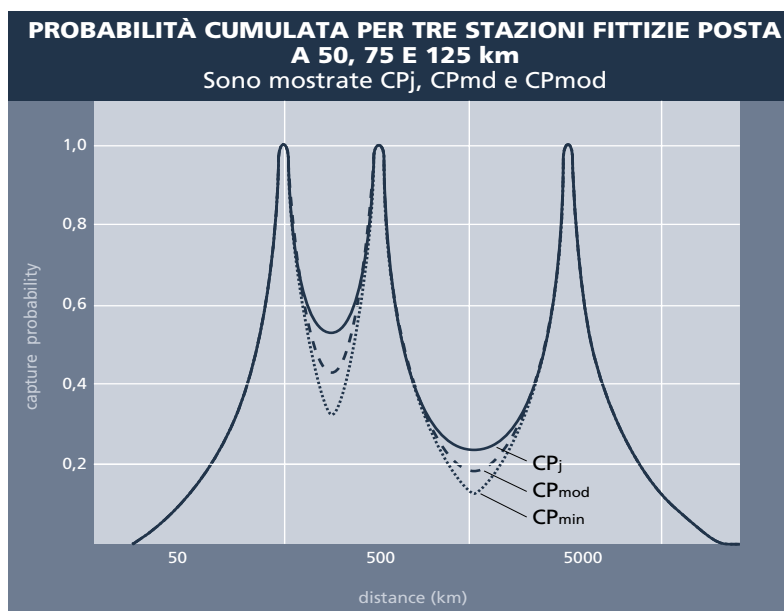
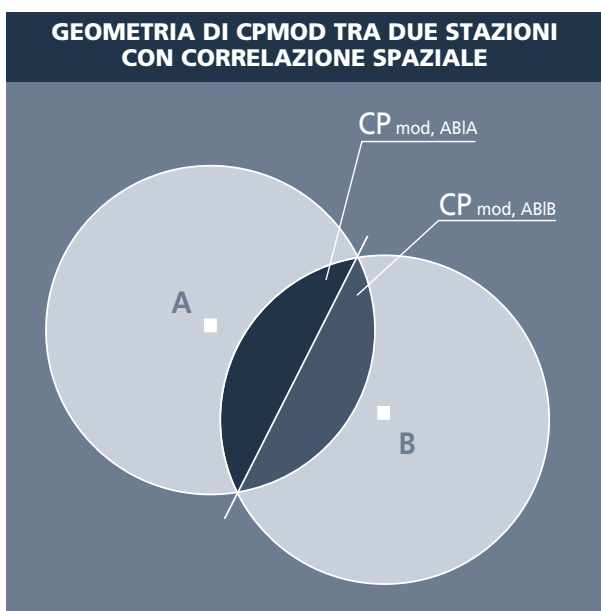


Fig. 7

Fig. 8

Fig. 9



pre per Hn30).

Ottenute le distribuzioni di probabilità cumulata bidimensionali, per ognuna delle soglie di precipitazione considerate, si passa infine al calcolo della probabilità di rilevare una precipitazione nevosa in una generica area. In questa ultima fase del modello probabilistico, poiché non si devono fare estrapolazioni rispetto all'insieme delle osservazioni, per le distribuzioni di probabilità cumulata si possono indifferentemente impiegare le forme empiriche (così come ottenute dagli istogrammi area numero\_di\_ree) o funzioni ottenute inferenzialmente (ad esempio l'interpolazione log-lineare di figura 7).

Nel caso in cui l'area, di cui si sta calcolando la probabilità, ricada nel raggio di influenza di un'unica stazione di misura il computo del valore di probabilità risulta immediato, mentre nel caso in cui l'area ricada nel raggio di influenza di più stazioni si dovranno considerare i differenti contributi, al calcolo della probabilità di rilevare la precipitazione, delle stazioni stesse. Nel caso in cui le n stazioni, influenti sulla generica area, fossero statisticamente indipendenti, la probabilità cumulata sarebbe data da:

$$CP_j = 1 - [(1-CP_A)(1-CP_B)...];$$

$CP_j$  = probabilità cumulata nella j-esima area;

$CP_A$  = probabilità cumulata della j-esima area dovuta alla stazione A;

$CP_B$  = probabilità cumulata della j-esima area dovuta alla stazione B.

Altra possibile soluzione, per il calcolo della probabilità, sarebbe quella di utilizzare solamente la stazione più vicina all'area in esame, ovvero:

$CP_{md} = CP_A$  con A stazione più vicina all'area ( $md = \textit{minimum distance}$ ).

Tuttavia  $CP_{md}$  sicuramente sottostima la probabilità vera, infatti se la stazione più vicina venisse eliminata comunque ci sarebbe ancora una certa probabilità di rilevare l'evento precipitativo dovuta alle altre stazioni nel cui raggio di influenza cade l'area. Mentre, invece,  $CP_j$  sovrastima la probabilità vera, poiché tre le stazioni di misura esiste correlazione spaziale. (riportata nello specchio a lato e Fig. 8).

Per un'area ricadente nel raggio di influenza di più di due stazioni di misura, il calcolo di  $CP_{mod}$  dovrà essere condotto iterativamente. Dapprima si calcolerà  $CP_{mod_{AB|A}}$ , quindi  $CP_{mod_{ABC|(AB|A)}}$ , e così via fino

a considerare tutte le stazioni influenzanti l'area in esame. Infine, in figura 9, si riporta un grafico che consente un confronto tra i tre metodi di calcolo ( $CP_j$ ,  $CP_{md}$  e  $CP_{mod}$ ) su esposti.

La probabilità vera si collocherà tra gli estremi  $CP_{mod}$  e  $CP_j$  e per un'area ricadente nel raggio di influenza di due stazioni sarà data da:

$$CP_{mod_{AB|A}} = 1 - \{(1-CP_A) [1-CP_B (1-\gamma_{B|A})]\}$$

$CP_{mod_{AB|A}}$  = probabilità corretta nella j-esima area calcolata considerando i contributi della stazione A e della stazione B;

$$\gamma_{B|A}(d) = \int CP_{sect}(d) / (\int CP_A + \int CP_B)$$

d = distanza dalla stazione A;

$\int CP_{sect}(d)$  = integrale delle probabilità dell'intersezione delle aree di influenza (figura 7);

$\gamma_{B|A}(d)$  = coefficiente di correlazione spaziale

