

# L'IMPIEGO DI PARAMETRI TOPOGRAFICI PER MIGLIORARE LA PRECISIONE DELLA STIMA DELLA PRECIPITAZIONE

Castrignanò A.<sup>1</sup>, Lopez N.<sup>1</sup>, Caradonna M.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CRA- Istituto Sperimentale Agronomico – Bari, annamariacastrignanano@tin.it

Uno dei problemi principali nella pianificazione dell'irrigazione a scala di comprensorio riguarda l'esatta valutazione della variabilità spazio-temporale delle precipitazioni, soprattutto in aree caratterizzate da una morfologia piuttosto accentuata, il che richiede che il dato pluviometrico venga registrato con alta intensità temporale ed elevata densità spaziale. Le stazioni pluviometriche con scansione giornaliera o più intensa sono però dispendiose, per cui il dato di precipitazione è noto solo in un numero limitato di postazioni. Diventa pertanto cruciale poter capitalizzare ogni fonte di informazione al fine di fare delle previsioni attendibili della precipitazione in punti non provvisti di stazioni pluviometriche.

Fino alla fine degli anni '90 le tecniche di interpolazione più usate riguardavano l'inverso della distanza, i triangoli di Thiessen o i diversi tipi di splines. La geostatistica, che è basata sulla teoria delle variabili regionalizzate (Goovaerts, 1997) ed è sempre più diffusamente applicata, utilizza la correlazione spaziale fra osservazioni vicine per migliorare la precisione della stima in punti non campionati. Diversi autori (Phillips et al., 1992; Goovaerts, 1999) hanno dimostrato come la geostatistica fornisca delle stime migliori di precipitazione rispetto ai metodi tradizionali. Un vantaggio principale della previsione geostatistica consiste nel fatto che osservazioni campionate in modo sparso possano essere complementate da attributi secondari disponibili ad una densità maggiore. Una sorgente efficace ed economica di informazione per molte variabili climatiche è rappresentata dai modelli digitali dell'altezza (DEM). Stelluti e Castrignanò (2003) utilizzarono il cokriging collocato per includere l'altezza nella rappresentazione spaziale del dato termometrico e pluviometrico mensile. Hudson e Wackernakel (1994) usarono un'altra tecnica geostatistica, nota come kriging con deriva esterna, per mappare la temperatura media di gennaio per l'intera Scozia, combinando l'informazione fornita da 145 stazioni climatiche con un modello digitale dell'altezza.

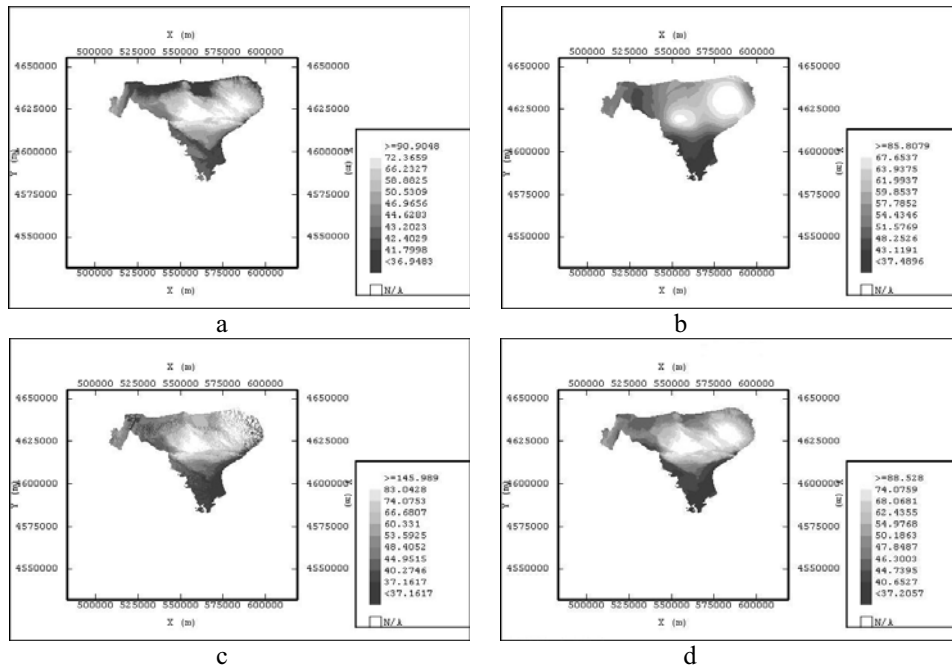
In questo lavoro tre procedure geostatistiche (il kriging ordinario, il kriging con deriva esterna e il cokriging collocato) sono state confrontate al fine di mostrare l'utilità dell'impiego di un DEM nella previsione della precipitazione mensile. La variabile usata per illustrare le diverse tecniche è stata la media pluriennale della pioggia mensile di aprile dell'area ricadente nel Parco del Gargano della Regione Puglia e si è utilizzata la cross-validation per valutare i diversi algoritmi.

Per il calcolo dei variogrammi sperimentali dei valori mensili della precipitazione di aprile, al fine di avere un numero sufficiente di postazioni, alle 18 stazioni ricadenti nel Parco sono state aggiunte altre 40 stazioni limitrofe. Un'altra fonte di informazioni è rappresentata

da un DEM con risoluzione pari a 75 m x 75 m. Il rilievo dell'area è caratterizzato dal massiccio centrale del Gargano, pertanto la piovosità mensile ha mostrato un'elevata correlazione positiva ( $r > 0.79$ ) con la quota ed inferiore con la pendenza ( $> 0.5$ ) e con l'esposizione ( $> 0.13$ ). Sembra pertanto ragionevole tener conto di questa informazione densamente disponibile per la stima della precipitazione.

Un modo diretto di modellare la relazione fra la precipitazione (P04) e i parametri topografici (quota, pendenza, esposizione) è quello di usare una regressione lineare multivariata. Nel nostro caso l'equazione stimata fu:  $P04 = 41.70 + 0.048 * \text{quota} - 0.242 * \text{pendenza}$ , che ha prodotto la mappa mostrata in fig. 1a, in cui appare evidente l'effetto dell'orografia nel determinare la piovosità media nel mese di aprile. Il principale limite di questo approccio è che la piovosità ad un dato nodo della griglia di interpolazione è determinato solo dalla quota e pendenza misurate o stimate nello stesso punto, senza tener conto del valore di piovosità nelle stazioni limitrofe. Un tale approccio, infatti assume che i valori di precipitazione siano indipendenti l'uno dall'altro, il che raramente si verifica nella pratica. La dipendenza spaziale fra le osservazioni può essere tenuta in conto dal semivariogramma, che è una misura di quanto le stazioni differiscano in funzione della loro distanza vettoriale. L'interpolazione geostatistica utilizza la dipendenza spaziale fra le osservazioni nella previsione dei valori di precipitazione. Il kriging è un nome generico adottato in geostatistica per indicare l'insieme degli algoritmi di regressione generalizzata ai minimi quadrati. L'idea di base è che la stima in un punto non campionato è ottenuta come combinazione lineare pesata delle osservazioni ricadenti in un suo intorno. Se soltanto i valori di precipitazione sono disponibili si parla di kriging ordinario (OK). Noi utilizzeremo anche altre due varianti del kriging ordinario che incorporano una o più variabili secondarie. Il kriging con deriva esterna (KED) utilizza l'informazione secondaria (quota, pendenza, esposizione) per derivare il trend della variabile primaria e quindi svolge un kriging semplice sui residui corrispondenti. La relazione fra la variabile primaria è quella secondaria deve essere lineare e i coefficienti di regressione sono stimati all'interno di ciascun intorno. La relazione fra precipitazione e parametri topografici viene quindi valutata localmente, a differenza della regressione tradizionale stimata una volta per tutte, il che permette di tener conto di eventuali variazioni nella correlazione spaziale sull'area di studio.

Le figure 1b e 1c mostrano le mappe ottenute con OK, che non tiene conto dell'informazione ausiliaria, e con KED, che utilizza tutti e tre i parametri topografici. E' evidente come in quest'ultimo caso l'informazione



Figural

ausiliaria consente di modellare variazioni locali nella precipitazione dovute alla particolare morfologia del sito. Un altro approccio che incorpora la variabile secondaria è il cokriging, che rappresenta una estensione multivariata del kriging, producendo una stima che è una combinazione lineare dei dati sia della variabile primaria che di quelle secondarie ricadenti in un intorno. Quando la variabile secondaria è nota ad ogni nodo della griglia di interpolazione si ha poca perdita di informazione utilizzando per il cokriging il solo dato secondario collocato con il punto in cui si richiede la stima. Questa versione semplificata del cokriging, che utilizza una sola variabile secondaria, prende il nome di cokriging collocato (CCOK). La principale differenza fra questa versione del kriging e le due precedenti risiede nel modo in cui l'informazione secondaria è trattata: OK è semplicemente ignorata, in KED influenza solamente il trend della variabile primaria, mentre in CCOK interessa direttamente le stime di cokriging. In fig 1d è mostrata la mappa ottenuta con il cokriging collocato, ove è evidente l'influenza della quota nella modellizzazione della precipitazione, anche se essa appare meno variabile rispetto a quella ottenuta con KED, che utilizza tre parametri topografici. Per valutare i diversi algoritmi di kriging è stata utilizzata la cross validation e si sono calcolate tre statistiche in particolare: l'errore sperimentale medio, l'errore assoluto medio e la varianza ridotta. I primi due dovrebbero essere vicini a zero, mentre il terzo a 1 se l'algoritmo è accurato. Per la regressione lineare l'errore assoluto medio è stato calcolato usando tutte le 58 osservazioni, per cui l'errore di previsione tende ad essere sottostimato per questo metodo. Le diverse statistiche calcolate concordano nell'indicare nel cokriging collocato l'algoritmo geostatistico che produce i migliori risultati.

## Conclusioni

I modelli digitali dell'altezza rappresentano potenzialmente delle validi sorgenti di informazione per la produzione di mappe di precipitazione, soprattutto

quando le stazioni climatiche sono sparse, come nell'area ricadente nel Parco del Gargano. Vi sono tuttavia diversi modi per incorporare tale informazione esaustiva e i risultati della cross-validation mostrano come la validità delle previsioni può variare largamente fra gli algoritmi. Il cokriging collocato oltre alla relazione locale fra la variabile primaria e quella secondaria, come nel kriging con deriva esterna, tiene conto anche della correlazione lineare globale come espressa dal semivariogramma incrociato. Un limite del kriging con deriva esterna è inoltre che esso può produrre anche valori non reali (per es. precipitazioni negative) per effetto della regressione. Il cokriging collocato può sembrare più oneroso in termini di calcolo, in quanto richiede che tre semivariogrammi debbano essere calcolati e modellati congiuntamente, tuttavia il modello lineare di coregolizzazione risulta abbastanza flessibile, soprattutto nel caso di due variabili. La cross-validation ha dimostrato in questo caso che questa complessità addizionale di calcolo può essere ripagata dai più piccoli errori di previsione ottenuti con il cokriging. Questi risultati debbono però essere confermati relativamente ad altre variabili meteorologiche ed in altri contesti ambientali.

## Bibliografia

- Stelluti M., Castrignanò A., 2003. *Caratterizzazione meteorologica in Caratterizzazione agroecologica del territorio garganico*. Claudio Grenzi Editore. 85 – 151.
- Goovaerts P., 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford Univ. Press. New York.
- Hudson G., Wackernagel H., 1994. *Mapping temperature using kriging with an external drift: theory and an example from Scotland*. *International Journal of Climatology*. Volume 14: 77 – 91.
- Phillips D.L., Dolph J., Marks D., 1992. *A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitations in mountainous terrain*. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 58: 119 – 141.
- Wackernagel H., 2003. *Multivariate Geostatistics*. Springer. Berlin. Terza edizione.