

# PRAGA - PROGRAMMA DI ANALISI E GESTIONE DI DATI AGROMETEOROLOGICI

Antolini G.<sup>1</sup>, Tomei F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ARPA Emilia-Romagna, Servizio IdroMeteorologico, Bologna, gantolini@arpa.emr.it

<sup>2</sup>ARPA Emilia-Romagna, Servizio IdroMeteorologico, Bologna, ftomei@arpa.emr.it

## Riassunto

PRAGA è uno strumento di visualizzazione, controllo qualità, analisi, elaborazione e interpolazione di dati agrometeorologici orari e giornalieri. PRAGA contiene diversi algoritmi d'interpolazione spaziale, specifici per variabile, e automatizzabili, che permettono la produzione di archivi storici e agroclimatologici. Tali procedure sono state applicate per realizzare una banca dati relativa al periodo 1987-2005 sul territorio della regione Emilia-Romagna.

## Introduzione

PRAGA è uno strumento di gestione di dati agrometeorologici, nel tempo e nello spazio. Esso è stato sviluppato interamente dagli autori presso ARPA-SIM. Il software permette di scaricare dati direttamente dall'archivio del Servizio IdroMeteorologico, ma può gestire anche formati di diversa provenienza

Sui dati sono effettuati controlli sintattici, climatologici e spaziali, al fine di valutarne la qualità ed eventualmente escluderli dalle analisi. PRAGA permette di interpolare sul territorio dati puntuali mediante algoritmi sviluppati e calibrati per ogni specifica grandezza. Lo strato informativo di base è costituito dal Modello Digitale del Terreno (DTM). Il processo d'interpolazione è automatizzabile, permettendo la realizzazione di banche dati in un periodo definito a priori. Da queste è possibile ottenere valori climatologici a diverse cadenze (giornalieri, decadali, mensili e annuali). Il programma è stato utilizzato sul territorio della regione Emilia-Romagna per la produzione della banca dati GIAS (Servizio Informativo Globale per l'Agricoltura) relativa al periodo 1987-2005. La flessibilità della sua struttura ne permette l'applicazione su qualunque altro territorio per il quale siano disponibili i dati necessari.

## Materiali e metodi

### Controllo qualità

Sui dati sono eseguiti in maniera successiva controlli di qualità di tipo sintattico, climatologico e spaziale. Quest'ultimo è basato sugli algoritmi d'interpolazione descritti in seguito. Per le precipitazioni e il vento è previsto anche un controllo di persistenza (Pavan et al., 2003).

### Interpolazione dei dati

Le tecniche geostatistiche d'interpolazione hanno lo scopo di stimare una variabile (nel nostro caso agrometeorologica) in punti generici dello spazio cartesiano, utilizzando un insieme di osservazioni irregolarmente distribuite. La stima si basa solitamente su una somma pesata per la distanza dalle stazioni limitrofe, come nell'IDW, Inverse Distance Weighting (Jarvis e Stuart, 2001), oppure sulla minimizzazione della varianza, come nel kriging (Isaaks e Srivastava, 1989). Gli

algoritmi classici considerano solo la distanza come parametro d'interpolazione. In meteorologia, tuttavia, spesso si considerano altre cosiddette covariabili d'interpolazione, come la quota, la distanza dal mare, e altre caratteristiche geografiche, direttamente o indirettamente correlate ai processi fisici atmosferici. Recenti studi hanno dimostrato come una parametrizzazione dei processi fisici attraverso l'introduzione di opportune covariabili geografiche, rendono le tecniche di spazializzazione più affidabili, rispetto all'utilizzo di tecniche geostatistiche pure (Jarvis e Stuart, 2001). All'interno del programma sono stati implementati tre algoritmi d'interpolazione: IDW, Kriging, Shepard (1968) e, per ogni variabile trattata, si sono definite procedure specifiche, individuando quelle più affidabili in termini di errore medio, di coerenza spaziale e di possibilità di automazione.

### Temperatura

La temperatura è una grandezza meteorologica che risente fortemente dei parametri superficiali (es. copertura del suolo, presenza di corpi idrici) e dell'orografia, soprattutto laddove questa è complessa. Fra questi, l'elemento più rilevante è la quota. Pertanto, la definizione di una procedura di stima dei campi termici ha riguardato la ricerca di un algoritmo di valutazione del gradiente termico verticale per il detrending dei dati. Questo prevede lo studio statistico dei valori di temperatura rispetto alla quota, attraverso analisi regressiva (Fig. 1).

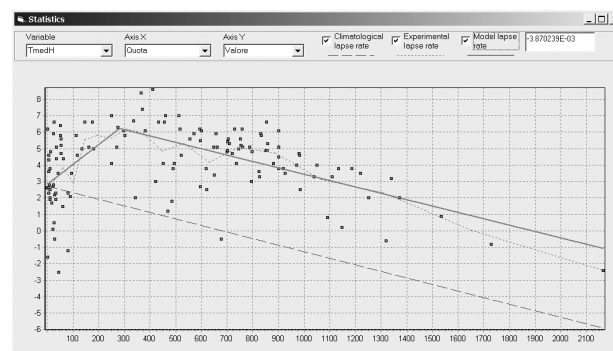


Fig. 1 – Analisi del gradiente verticale delle temperature (1 marzo 2003, ore 06:00 UTC).

Per ogni set di dati termici, in maniera automatica, si analizza statisticamente la dipendenza con la quota, suddividendo i punti di misura in classi altimetriche e individuando un eventuale quota d'inversione. Se le regressioni sono statisticamente significative, si calcola il coefficiente angolare delle rette risultanti; in caso contrario, si utilizza un gradiente verticale climatologico, ottenuto da un set di stazioni rappresentative del territorio (Fig. 2). In questo caso, avendo a disposizione valori per le temperature estreme giornaliere, il gradiente relativo ad un'ora generica è ottenuto interpolando linearmente i gradienti giornalieri, sulla base dell'ora in cui si verificano gli estremi.

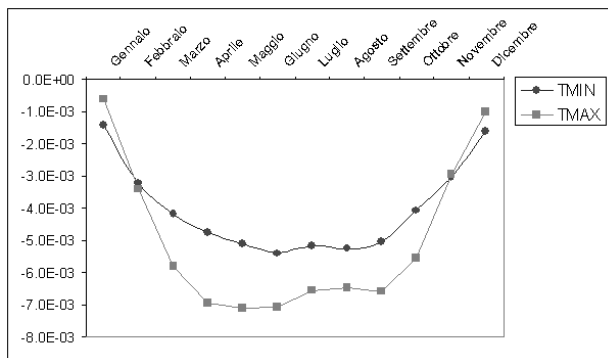


Fig. 2 - Gradienti verticali climatologici per le temperature giornaliere.

Sono in fase di studio altri algoritmi per migliorare l'interpolazione delle temperature. È in corso di verifica la TAD (Tomei-Antolini Distance), che rappresenta una distanza "orografica", cioè una distanza cartesiana a cui vengono sommati, con opportuni pesi, la differenza di quota e il percorso lungo il profilo orografico che si percorre idealmente da una stazione ad un'altra.

La TAD viene calcolata come segue:

$$TAD(P_1, P_2) = d(P_1, P_2) + \alpha \cdot |z_2 - z_1| + \beta \cdot path(P_1, P_2)$$

$$\alpha = 0.4 \cdot step; \beta = 0.04 \cdot step$$

$$path(P_1, P_2) = \sum_{i=1}^{n-1} |z_{i+1} - z_i|$$

dove  $P_1$  e  $P_2$  sono due punti generici nello spazio,  $d()$  è la funzione distanza cartesiana,  $z_i$  la quota del punto  $i$ -esimo. La funzione  $path()$  è discretizzata secondo il passo di griglia del DTM e  $n$  è pari al numero di passi necessari per giungere da un punto all'altro lungo il percorso più breve. I coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  sono stati calibrati in prima approssimazione solo per l'interpolazione delle temperature, si suppone che ogni variabile richieda valori diversi. Con la TAD, i punti stazione che appartengono al medesimo dominio orografico rispetto al punto di stima sono pesati in misura relativamente maggiore rispetto a quelli che si trovano in domini diversi (es. vallate diverse). Il suo utilizzo fornisce miglioramenti della stima della temperatura, in particolar modo nelle ore ad elevata variabilità spaziale, ma il tempo di calcolo è ancora eccessivo per un possibile utilizzo operativo.

Altre covariabili di interpolazioni sono oggetto di ricerca attualmente presso ARPA-SIM. È stato sviluppato nel corso degli ultimi anni, nell'ambito della ricerca sul rischio da gelata, un indice topografico, che esprime quantitativamente la conformazione orografica del territorio, in relazione al possibile accumulo gravitativo di aria fredda, a densità maggiore, a seguito del raffreddamento notturno per perdita radiativa. In queste condizioni micrometeorologiche, infatti, la variabilità spaziale del campo termico è particolarmente elevata e si osservano zone più fredde in corrispondenza dei fondovalle, e in generale delle zone topograficamente più basse (Zinoni et al., 2002). Si sta valutando, inoltre, la possibilità di utilizzo di uno strato informativo relativo all'uso del suolo, in particolare della distribuzione delle aree urbane e dei corpi idrici, che alterano sensibilmente i bilanci energetici e i flussi di calore (si veda per esempio Choi et al., 2003).

### Precipitazione

La precipitazione giornaliera è interpolata secondo il metodo sviluppato presso il Joint Research Center (JRC, 1995). Esso consiste in una doppia interpolazione: inizialmente si assegna valore 1 ai punti di misura in cui la precipitazione è non nulla, e valore 0 a quelli in cui essa è nulla, e si interpolano i valori così ottenuti sui punti griglia; se sulle celle viene stimato un valore superiore ad una soglia (assunta pari a 0.5), si assume che in quella porzione di territorio sia piovuto. Su queste si stimano i valori utilizzando i soli punti di misura con precipitazione positiva. In questo modo si ottiene una rappresentazione più realistica delle precipitazioni, soprattutto del carattere locale del fenomeno, considerando anche il livello temporale orario del dato.

### Umidità relativa

I dati di umidità relativa sono ricondotti ai valori di temperatura di rugiada corrispondenti, sulla base della temperatura dell'aria misurata. In questo modo, è possibile applicare in maniera del tutto analoga le procedure descritte per la temperatura. Le temperature di rugiada calcolate in tal modo sulla griglia sono poi ricondotte, tramite la funzione inversa, ai valori di umidità relativa. Anche in questo caso, per l'analisi orografica, si utilizzano valori climatologici per i gradienti termici verticali, in mancanza di regressioni significative.

### Vento

La spazializzazione dei dati puntuali di vento avviene interpolando separatamente le due componenti vettoriali cartesiane, e ricostruendo poi sui punti griglia il vettore risultante.

È in previsione l'utilizzo di modelli meteorologici diagnostici bidimensionali, per la ricostruzione dei campi di vento, basati sulla scabrezza superficiale, determinabile a sua volta dall'uso del suolo (si veda per esempio Nardino et al., 2005).

### Grandezze derivate

L'evapotraspirazione potenziale è una grandezza derivata, pertanto non è interpolata direttamente, ma calcolata su

ogni cella di griglia mediante la formula di Hargreaves, che si basa sulla temperatura media giornaliera dell'aria. La bagnatura fogliare oraria è una grandezza binaria, cioè assume valore 1 (ora bagnata) oppure 0 (ora non bagnata). Essa viene stimata utilizzando i dati di precipitazione e umidità orarie, poiché il suo valore è fortemente correlato con l'umidità. Il valore giornaliero corrisponde alla somma delle ore bagnate nel giorno.

### Verifica

La verifica dei metodi d'interpolazione è stata effettuata tramite convalida incrociata, cioè eliminando ogni volta una stazione dal dataset e registrando l'errore commesso sul punto stesso; calcolando poi le medie dell'errore assoluto, dello scarto e dello scarto quadratico.

### Agroclimatologia

L'interpolazione dei dati del periodo 1987-2005 relativi alle reti di rilevazione oraria afferenti ad ARPA-SIM, ha permesso di costituire una banca dati completa sulla griglia regionale GIAS (costituita da celle di 5x5 km). Sui dati sono stati calcolate le principali statistiche climatologiche sulle variabili menzionate.

### Risultati

La valutazione della performance dei metodi d'interpolazione è stata eseguita sul periodo relativo a tutto l'anno 2003. In Fig. 3 sono illustrate le medie degli errori commessi nel caso della temperatura. Si evidenzia come la procedura completa d'interpolazione, che contempla simultaneamente l'analisi orografica dei gradienti e la TAD, fornisce i risultati migliori, in termini di errore e di bias. Per il confronto ci si è riferiti al solo algoritmo IDW poiché non si evidenziano differenze significative tra questo e gli altri due (Kriging e Shepard). Nel 2003 si sono verificati, in particolar modo in marzo, numerosi eventi (gelate) in cui la variabilità spaziale è particolarmente elevata, e gli errori di stima sono maggiori; questo periodo è analizzato in Fig. 4. Anche in queste circostanze, particolarmente critiche dal punto di vista della stima, la procedura permette di ridurre l'errore medio, e di annullare quasi del tutto l'errore sistematico.

In Fig. 5 si riporta un esempio di mappa di temperatura media oraria, realizzata utilizzando la procedura completa e un DTM di 900 m di risoluzione. I dati seguono la distribuzione in altezza riportata in Fig. 1. È particolarmente evidente la variabilità spaziale dovuta all'orografia.

Nuovi sviluppi nel prossimo futuro riguarderanno l'introduzione di altre covariabili geografiche rilevanti nel determinare il campo termico (es. uso del suolo), e modelli diagnostici per la stima dei campi di vento.

Come esempio di mappa agroclimatologica, in Fig. 6 si riporta la media mensile di aprile della temperatura minima giornaliera, ottenuta dal contouring dei punti griglia GIAS. Si notano le strutture spaziali legate all'orografia, soprattutto la fascia relativamente più calda corrispondente alla collina, laddove si osservano solitamente le quote d'inversione termica.

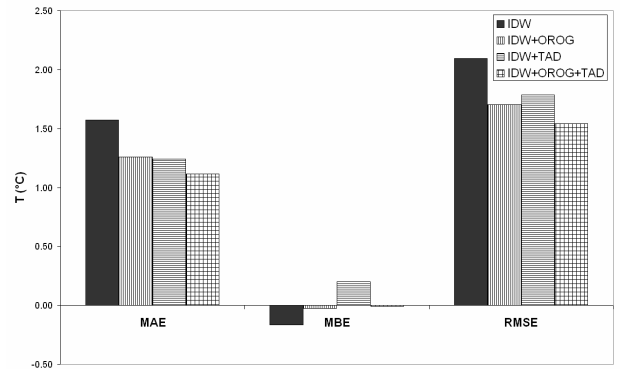


Fig. 3 – Errore assoluto medio (MAE), scarto medio (MBE) e scarto quadratico medio (RMSE) calcolati sul 2003, con i diversi metodi d'interpolazione. OROG: detrending in base ad analisi orografica dei gradienti; TAD: Tomei-Antolini Distance.

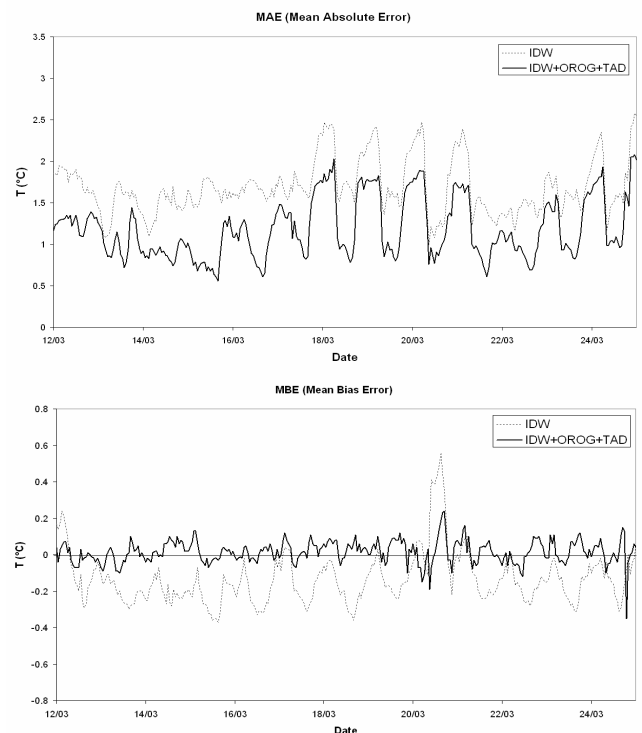


Fig. 4 – Errore assoluto medio (in alto) e sistematico medio (in basso) calcolato su un periodo di marzo 2003, applicando solo IDW o procedura completa.

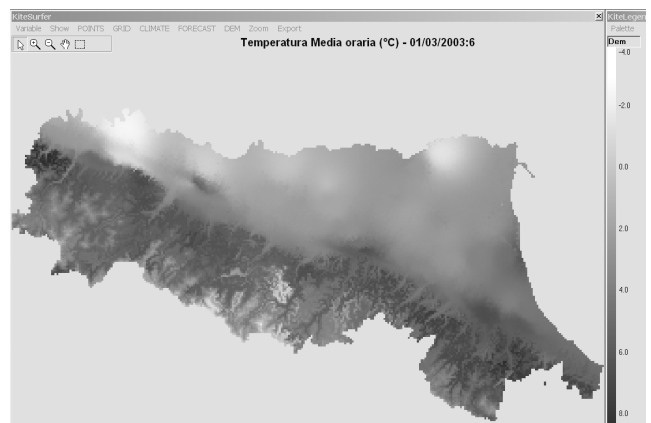


Fig. 5 – Mappa di temperatura media oraria (1 marzo 2003, ore 06:00 UTC).

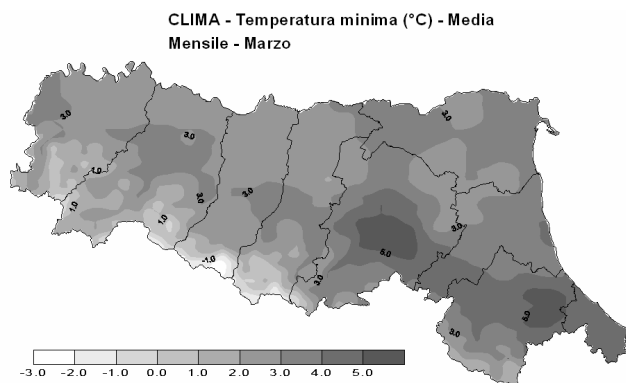


Fig. 6 – Mappa di temperatura media mensile di aprile.

## Conclusioni

PRAGA rappresenta uno strumento applicativo e di ricerca in campo agrometeorologico, che permette la visualizzazione, il controllo, l'analisi, l'interpolazione e l'elaborazione delle principali variabili agrometeorologiche.

Le procedure d'interpolazione, che affiancano a tecniche classiche nuovi algoritmi di analisi, si sono mostrate adeguate in termini di riduzione dell'errore, soprattutto per quanto riguarda la temperatura e l'umidità relativa. L'applicazione di tali procedure sui dati orari del periodo 1987-2005 ha permesso di realizzare una banca dati completa di dati orari sulla griglia GIAS e un riferimento agroclimatologico per la regione Emilia-Romagna.

## Bibliografia

- Choi J., Chung U., Yun J.I., 2003. *Urban-effect correction to improve accuracy of spatially interpolated temperature estimates in Korea*. *J. Appl. Met.*, 42: 1711–1719.
- Isaaks, E. H., Srivastava, R. M., 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, 561 pp.
- Jarvis C.H., Stuart N., 2001. *A comparison among strategies for interpolating maximum and minimum temperatures. Part I and II*. *J. Appl. Met.*, 40: 1060–1084.
- Joint Research Center, 1995. *Spatial interpolation of daily meteorological data*.
- Nardino M., Antolini G., Rossi F., Georgiadis T., Leoncini G., 2005. *Simulation of micrometeorological fields during a frost event in the Po plain*. *Atti del Workshop WMO (World Meteorological Organization) on climatic analysis and mapping for agriculture*. Bologna 14-16 giugno. In stampa.
- Pavan V., Tomozeiu R., Selvini A., Marchesi S., Marsigli C., 2003. *Controllo di qualità di dati giornalieri di temperatura minima e massima e di precipitazione*. *Quaderno tecnico ARPA-SIM 15*, 2003. [http://www.arpa.emr.it/sim/archivio/downloads/quaderni/Quaderno\\_Tecnico\\_15\\_2003.pdf](http://www.arpa.emr.it/sim/archivio/downloads/quaderni/Quaderno_Tecnico_15_2003.pdf)
- Shepard D., 1968. *A two dimensional interpolation function for irregularly spaced data*. *Proceedings of 23rd National Conference of ACM (Association for Computing Machinery)*, 517-524.
- Zinoni F., Antolini G., Campisi T., Marletto V., Rossi F. 2002. *Characterization of Emilia Romagna in relation with late frost risk*. *Chemistry and Physics of the Earth*, 27,1091-1101.