

Utilizzo di GRASS ed R per la spazializzazione di dati meteorologici in una valle alpina.

Roberto Rea, Emanuele Eccel

*Unità operativa Agrometeorologia e Clima
Istituto Agrario di S. Michele all'Adige*

Via Mach, 1 – 38010 SAN MICHELE (TN)

roberto.rea@ismaa.it

Sommario

L'interpolazione spaziale di dati climatici è spesso molto importante per il riconoscimento dei legami fra il microclima e lo sviluppo delle piante. Tale correlazione può essere sfruttata in modelli che mettano in relazione la qualità e la quantità del frutto con l'andamento climatico e le caratteristiche morfologiche dell'ambiente circostante.

Nel presente lavoro si presentano le tecniche geostatistiche utilizzate per la spazializzazione di variabili meteorologiche quali la temperatura minima, temperatura massima, temperatura media, radiazione solare, insolazione e umidità relativa su base giornaliera per nove località della Val di Non interessate dallo studio del progetto "QUALIQUANT".

Abstract

The investigation of the links between microclimate and plant development often rests upon the degree of detail in the knowledge of climatic data, strongly fostered by spatial interpolation. Such correlation can be profitably exploited in models relating quality and quantity of fruit production to the climatic and morphological features of the surroundings.

This work aims at producing meteorological data (minimum, maximum and mean temperature, solar incoming radiation, sunlight duration and relative humidity) for the sites selected in the "QUALIQUANT" project, starting from data recorded by the locally available meteorological stations.

Introduzione

Lo scopo del seguente lavoro è di fornire dati agro-meteorologici per le zone monitorate all'interno del progetto QUALIQUANT a partire dalle stazioni meteorologiche presenti sul territorio.

Il progetto QUALIQUANT è finalizzato allo studio delle relazioni tra carica degli alberi e parametri fisico-chimici che esprimono la qualità di mele "Golden Delicious". All'interno di questa indagine una parte della ricerca richiede la conoscenza precisa delle grandezze meteorologiche nei 9 siti a produzione frutticola che vengono monitorati e che non sempre sono vicini a stazioni meteorologiche; la spazializzazione dei dati fisici è quindi da considerare il punto di partenza per la successiva definizione ed applicazione dei modelli biochimici. A tal fine sono state testate diverse tecniche geostatistiche, al fine di ottenere per le diverse variabili prese in esame la stima migliore. Il confronto ha permesso di identificare un metodo di stima idoneo per ognuna delle variabili esaminate.

Dati e Metodi

Dati

Le variabili sono state ottenute attraverso diverse procedure di interpolazione spaziale a partire dai dati rilevati dalle stazioni meteo dell'*Istituto Agrario di S. Michele* presenti in Val di Non, importante area frutticola del Trentino, negli anni 2000-2003.

I dati considerati sono le osservazioni giornaliere di temperatura media, minima e massima, radiazione solare ed insolazione. Le stazioni utilizzate, il tipo di dato ed il periodo di misura sono sintetizzate nella Tabella 1. Come si può notare dalla tabella sono state utilizzate per l'elaborazione del dato anche alcune stazioni (S. Michele all'Adige, Faedo, Mezzolombardo, Mezzocorona) limitrofe rispetto all'area d'interesse; queste stazioni sono state inserite per irrobustire la spazializzazione del dato introducendo punti di misura anche nelle zone "limite" dell'area in esame.

Come si può notare in Figura 1 la distribuzione delle stazioni sul territorio è sufficientemente omogenea considerando la zona in cui si vogliono interpolare i dati.

I dati registrati dalle stazioni sono stati sottoposti preliminarmente ad una verifica avente lo scopo di escludere periodi con dati errati o giornalieri parziali, quindi errati anch'essi. La procedura è stata applicata suddividendo le stazioni in sottoaree climaticamente omogenee ed eseguendo controlli incrociati tra ogni stazione e tre stazioni limitrofe. Lo schema di suddivisione è il seguente:

per temperature e umidità relativa:

- zona bassa: Denno, Cunevo, Dercolo, Spormaggiore;
- zona media: Cles, Nanno, Segno, Ton;
- zona medio-alta: Caldes, Cis, Revò, Arsio;
- zona alta: Romeno, Fondo, Revò, Coredo;

per radiazione solare ed insolazione:

- zona bassa: Denno, Cles, Fondo
- zona alta: Cles, Caldes, Fondo.

Data la relativa vicinanza tra le stazioni, da un riscontro grafico è facilmente desumibile un eventuale errore di misura su una stazione. Ancora a monte di ciò, sono stati esclusi i giorni con numero di acquisizioni orarie basse, con possibile mancanza di rilevamento delle temperature massime o minime o sottostima della radiazione cumulata giornaliera. I dati esclusi dal calcolo sono stati stimati mediante interpolazione e in questo modo è stato possibile ricostruire la serie completa delle temperature medie giornaliere, necessaria al calcolo dell'umidità specifica.

La località interessate dallo studio sono distribuite su di un'area di circa 130 km² con altitudini tra i 334 ed i 946 m sul livello del mare (Figura 2). In particolare si vogliono quindi ottenere i dati di temperatura minima, temperatura massima, temperatura media, radiazione

solare, insolazione e umidità relativa su base giornaliera per i nove seguenti siti: Romeno, Revò, Cles, Tres, Nanno, Torra, Cunevo, Denno, Fondo.

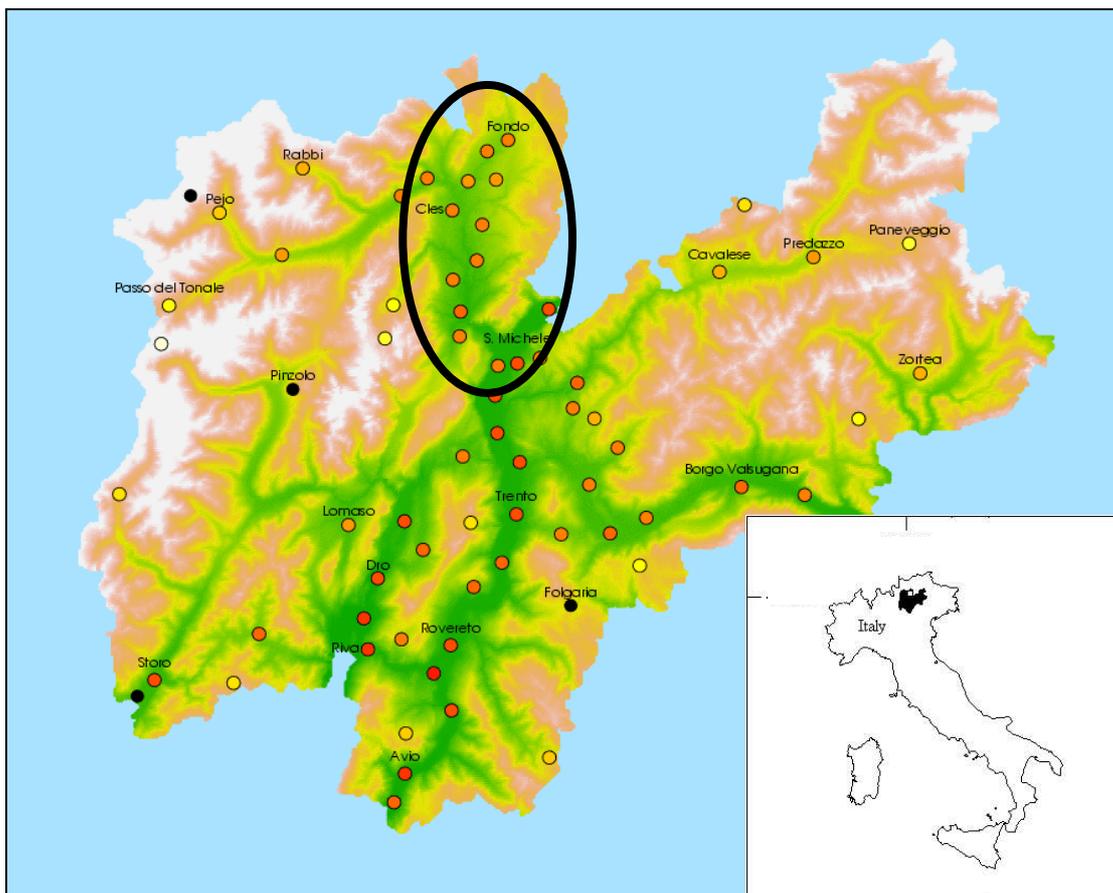


Figura 1. Distribuzione delle stazioni meteorologiche dell'Istituto Agrario San Michele all'Adige (IASMA) sul territorio della provincia di Trento e zona di interesse dello studio.

rete	numero stazione	Nome Stazione	altezza m s.l.m.	X (G. B.) [m]	Y (G. B.) [m]	Periodo		Variabili misurate
						inizio	fine	
Spartac	1	Cles	652	1656954	5136223	1/1/2000	23/5/2000	T, Umid, Rad, Insol
Spartac	5	S. Michele a/A.	205	1664738	5117324	1/1/2000	23/5/2000	T, Umid, Rad, Insol
1° livello	22	Faedo	698	1667447	5117999	1/1/2000	31/12/2003	T, Umid, Rad, Insol
1° livello	25	Denno	321	1658464	5125761	1/1/2000	31/12/2003	T, Umid, Rad, Insol
1° livello	27	S. Michele all'Adige	205	1664738	5117324	21/2/2002	31/12/2003	T, Umid, Rad, Insol
1° livello	31	Cles	652	1656954	5136223	10/7/2002	31/12/2003	T, Umid, Rad, Insol
2° livello	33	Ton	448	1659860	5125113	1/1/2000	31/12/2003	T, Umid
2° livello	34	Dercolo	410	1657949	5123723	28/2/2000	31/12/2003	T, Umid
2° livello	35	Spormaggiore	548	1657830	5120665	1/3/2001	31/12/2003	T, Umid
2° livello	36	Cunevo	558	1657035	5127652	1/1/2000	31/12/2003	T, Umid
2° livello	37	Coredo	787	1660533	5134451	5/1/2000	31/12/2003	T, Umid
2° livello	38	Nanno	567	1657500	5131664	1/1/2000	31/12/2003	T, Umid
2° livello	39	Casez	703	1659829	5138321	1/1/2000	31/12/2003	T, Umid
2° livello	40	Segno	525	1659888	5130033	1/1/2000	31/12/2003	T, Umid
2° livello	41	Revò	715	1658851	5139817	27/2/2000	31/12/2003	T, Umid
2° livello	42	Cis	708	1653960	5140193	28/2/2000	31/12/2003	T, Umid
2° livello	43	Arsio	797	1661122	5143524	28/2/2000	31/12/2003	T, Umid
2° livello	45	Mezzocorona Novali	216	1662783	5119459	1/1/2000	31/12/2003	T, Umid
2° livello	57	Roveré della Luna	208	1668499	5124020	4/5/2000	31/12/2003	T, Umid
2° livello	58	Mezzolombardo Maso Parti	204	1662427	5117031	19/4/2000	31/12/2003	T, Umid, Rad, Insol
1° livello	84	Fondo	907	1663624	5144908	22/10/2001	31/12/2003	T, Umid
1° livello	88	Caldes	773	1650821	5138009	22/10/2001	31/12/2003	T, Umid

Tabella 1. Stazioni meteo utilizzate per la spazializzazione con relativo periodo di attivazione e tipo di variabili misurate.

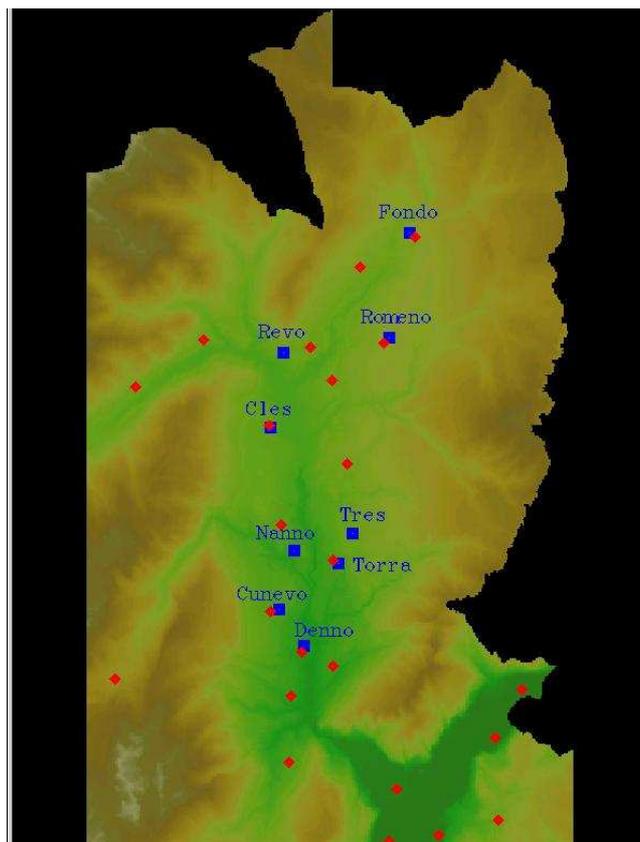


Figura 2. Mappa del modello digitale del terreno per la Val di Non: in rosso le stazioni meteo utilizzate per la spazializzazione ed in blu i nove siti monitorati nel progetto Qualiquant.

Metodi

Per l'implementazione delle procedure di spazializzazione dei dati meteo sono stati utilizzati il **GIS -GRASS** unito al software per elaborazioni statistiche **R** (in particolare la libreria per elaborazioni geostatistiche *gstat*).

Si sono utilizzate diverse tecniche per l'interpolazione dei dati a seconda della variabile in questione.

Per quanto riguarda la spazializzazione delle temperature si sono confrontate diverse procedure di interpolazione spaziale, da quelle più semplici, come l'inverso della distanza al quadrato (IDW) e l'IDW con dipendenza (lineare o quadratica) dalla quota (Tabios III and Salas, 1985; Ashraf et al., 1997; Nalder and Wein, 1998), a tecniche statistiche più complesse come Ordinary e Universal Kriging con dipendenza lineare dalla quota (Matheron, 1963; Kitanidis, 1997; Ashraf et al., 1997; Nalder and Wein, 1998) e le spline (Schumaker, 1981; Lemmon and Turner, 1995).

In modo diverso viene operata l'interpolazione nel caso della radiazione solare e dell'insolazione. Infatti le stazioni che misurano tali variabili sono in numero consistentemente minore rispetto alle altre variabili analizzate. D'altro canto l'energia radiante e le ore di sole sono grandezze fortemente determinate, a livello giornaliero, dall'orizzonte di ogni singolo punto ed è pertanto difficile ottenere un risultato di una certa affidabilità attraverso l'applicazione di sole tecniche geostatistiche. D'altro canto la radiazione teorica può essere stimata grazie all'uso di un modello. In particolare la radiazione solare e l'insolazione sono state ottenute utilizzando il modello *r.sun* (Hofierka, 2002) del **GIS-GRASS** (Neteler and Mitasova, 2002), che, tenendo conto dell'ombreggiamento dovuto alla morfologia, consente di ottenere radiazione solare e insolazione

in assenza di copertura nuvolosa. La presenza di nubi è stata quindi considerata tarando i risultati sulla base dei dati osservati nel medesimo giorno nelle stazioni a terra.

La procedura consente anche di differenziare il contributo di radiazione diretta da quella diffusa (cosa peraltro importante per la modellistica legata all'attività fotosintetica) e si può così sintetizzare:

- si calcola la radiazione extraterrestre con *r.sun* ed in base alle Equazioni (1a-d) proposte da Spitters (1986), essendo nota nelle stazioni di misura la radiazione globale, si stima la quota di radiazione diffusa e quella diretta.

$$\frac{S_{df,d}}{S_{g,d}} = 1 \qquad \frac{S_{g,d}}{S_{o,d}} < 0.07 \quad (1a)$$

$$\frac{S_{df,d}}{S_{g,d}} = 1 - 2.3 \left(\frac{S_{g,d}}{S_{o,d}} - 0.07 \right)^2 \qquad 0.07 \leq \frac{S_{g,d}}{S_{o,d}} < 0.35 \quad (1b)$$

$$\frac{S_{df,d}}{S_{g,d}} = 1.33 - 1.46 \left(\frac{S_{g,d}}{S_{o,d}} \right) \qquad 0.35 \leq \frac{S_{g,d}}{S_{o,d}} < 0.75 \quad (1c)$$

$$\frac{S_{df,d}}{S_{g,d}} = 0.23 \qquad 0.75 \leq \frac{S_{g,d}}{S_{o,d}} \quad (1d)$$

dove:

$S_{df,d}$ è la radiazione diffusa giornaliera
 $S_{g,d}$ è la radiazione globale giornaliera
 $S_{o,d}$ è la radiazione globale extraterrestre

- si ottengono così, nelle stazioni meteorologiche in cui è misurata la radiazione globale, la radiazione diretta e diffusa.
- dal modello *r.sun* si ottengono la radiazione diretta e diffusa teorica (senza l'effetto della copertura nuvolosa) nelle stazioni di misura e nei siti allo studio.
- nelle stazioni meteorologiche vengono calcolati due coefficienti che rappresentano il rapporto fra radiazione diretta (diffusa) teorica e misurata.
- i rapporti ottenuti vengono spazializzati utilizzando *R* con il metodo *dell'ordinary Kriging* sui 60 siti dello studio ed applicati alla radiazione teorica ottenendo così l'interpolazione di radiazione diretta e diffusa.

In maniera analoga viene ottenuta l'insolazione: stimato il valore teorico dal modello *r.sun* questo viene corretto utilizzando il rapporto fra insolazione teorica ed insolazione misurata nei siti ove sono presenti le stazioni meteorologiche.

Infine per quanto riguarda l'umidità relativa questa viene interpolata spazialmente passando prima attraverso l'umidità specifica, calcolabile per mezzo della temperatura e supponendo una pressione pari a quella media di Cles, località situata baricentricamente nell'area anche dal punto

di vista altitudinale. In questo modo si rende indipendente la grandezza dalla temperatura, che è la principale causa di disomogeneità dell'umidità relativa su un territorio spazialmente limitato ma con disomogeneità termiche sensibili.

I diversi metodi di spazializzazione utilizzati per la temperatura sono stati utilizzati anche per l'umidità per ottenere i valori di umidità specifica nei siti di interesse a partire dalle misure delle stazioni meteo. Infine si ricalcola l'umidità relativa partendo dall'umidità specifica e dalla temperatura media del sito.

Tutte le tecniche di spazializzazione impiegate utilizzano, come già detto, **R** per la parte statistico/geostatistica con *Kriging* e *IDW* e la produzione della maggior parte dei grafici e **GIS-GRASS** per la gestione e l'importazione dei dati spaziali con la libreria GRASS di **R** (Bivand et al, 2000), per il modulo *r.sun*, per l'interpolazione con l'utilizzo di spline ed anche per l'output sotto forma di mappe.

La procedura d'interpolazione con *Kriging* della libreria *gstat* utilizza anche i comandi *vgm*, *fit.variogram* e *plot.variogram* per il calcolo e la valutazione del modello di semi-variogramma da adattare al semi-variogramma sperimentale.

Le procedure implementate consentono di ottenere i risultati in diversi tipi di formato:

- file o tabelle di un database contenenti i dati interpolati per i 9 siti dello studio.
- immagini raster per una visualizzazione di tutta la zona d'interesse. (Figura 3)
- esportazione a **GIS-GRASS** delle elaborazioni geostatistiche di **R** utilizzando la library *GRASS*. (Figura 4)

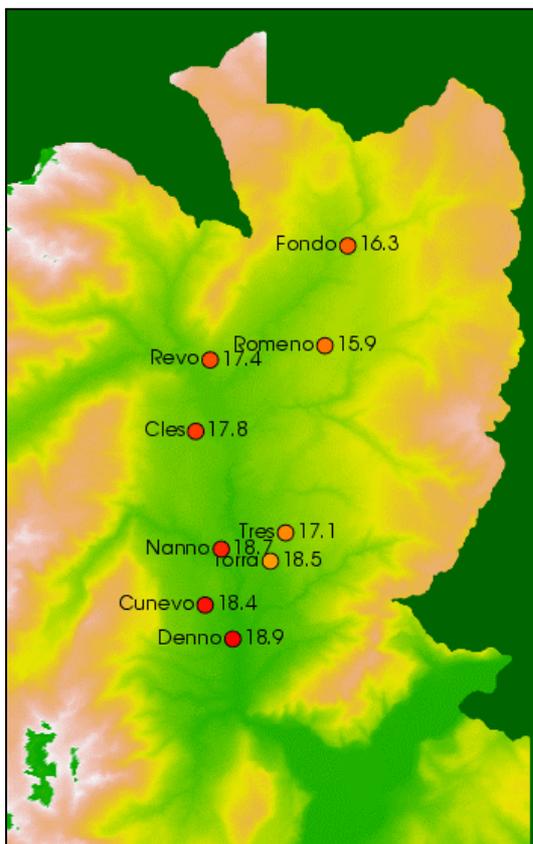


Figura 3: Esempio di immagine raster prodotta con R per rappresentare una variabile in ogni sito.

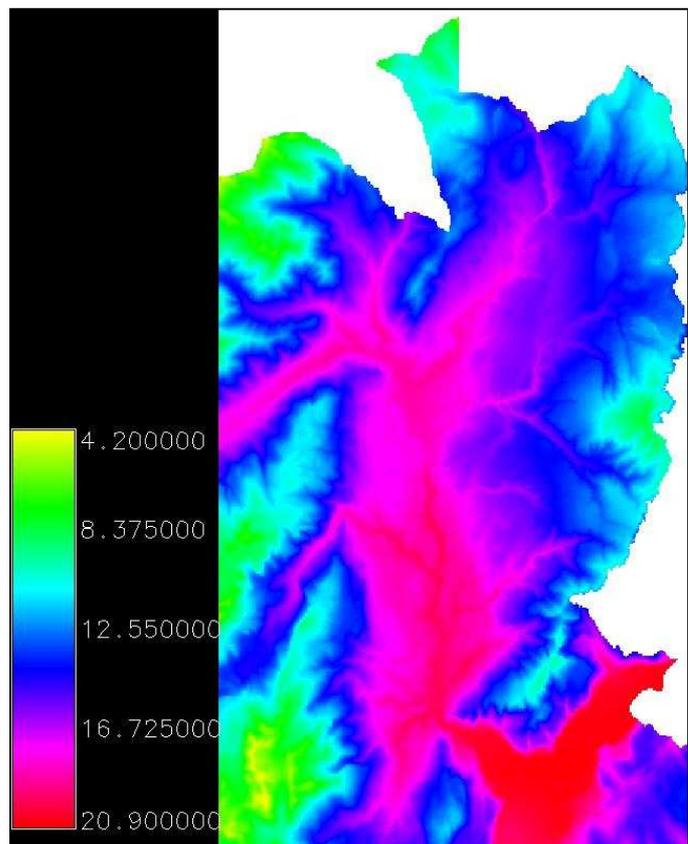


Figura 4: Esempio di mappa raster esportata in Grass.

Per quanto riguarda i tempi di esecuzione delle procedure, la produzione delle tabelle e dei file risulta più veloce delle altre elaborazioni anche in ragione del fatto che in genere l'interpolazione viene condotta solo nei 9 siti d'interesse e non su una griglia comprendente tutta la zona.

Per la produzione di mappe delle diverse variabili meteo sulla zona di studio si utilizza invece un griglia che comprenda l'intera valle di Non. Si ottengono così mappe come quelle delle figure 5 e 6.

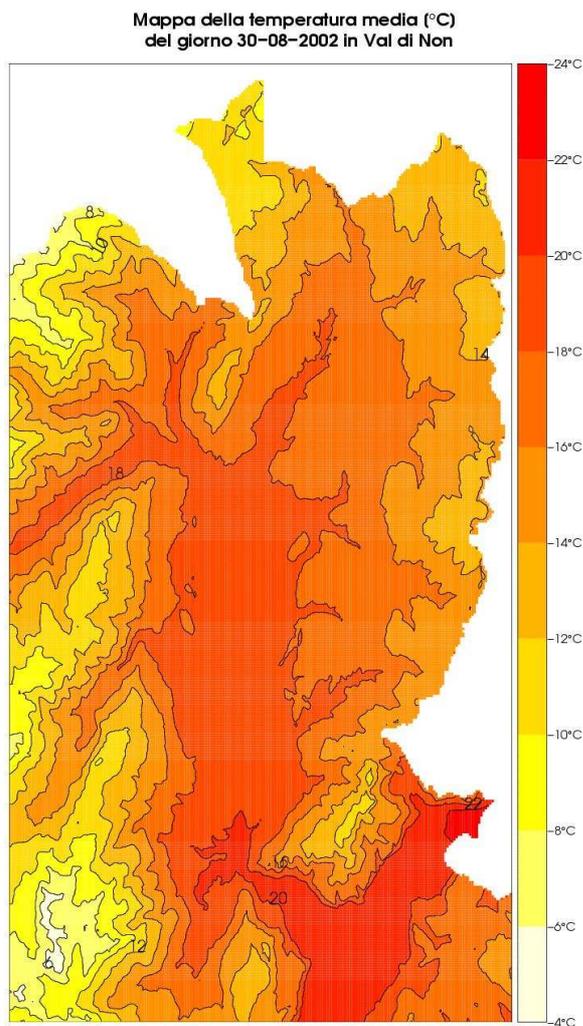


Figura 5: Mappa della temperatura media giornaliera del 30-08-2002 in Val di Non.

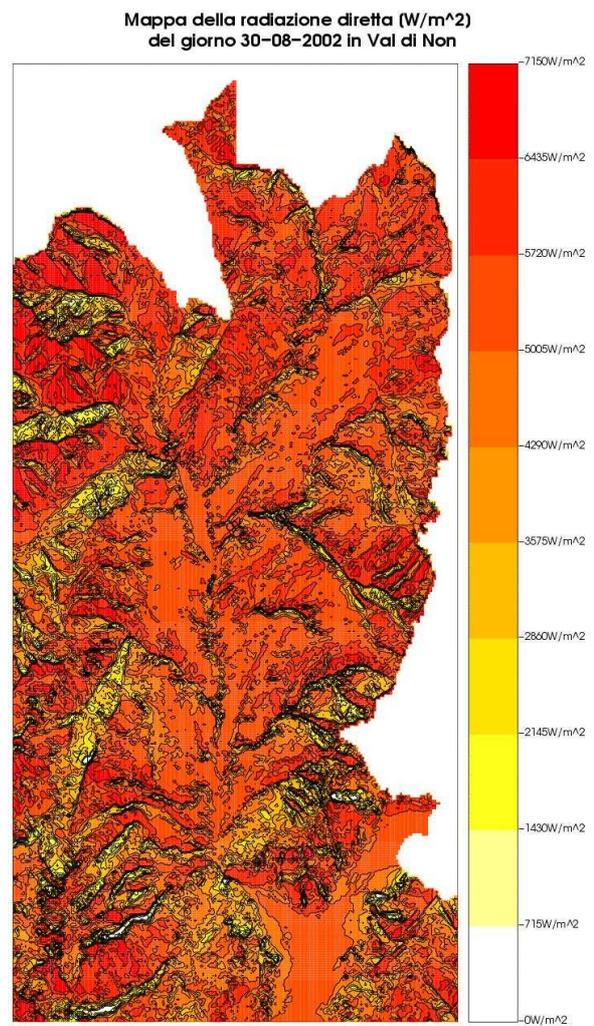


Figura 6: Mappa della radiazione diretta giornaliera del 30-08-2002 in Val di Non.

Risultati/Verifica

I dati ottenuti dalle procedure d'interpolazione delle temperature medie, minime e massime e della pioggia sono stati sottoposti a verifica attraverso l'utilizzo delle tecniche di cross-validazione o *leave one out* (Cressie, 1993).

Il parametro utilizzato per la valutazione delle tecniche geostatistiche è l'RMSE (errore quadratico medio) sul periodo 2000-2003.

Per quanto riguarda le temperature i risultati ottenuti sono riassunti Tabella 2.

Metodo d'interpolazione	RMSE Temp. media	RMSE Temp. minima	RMSE Temp. massima
IDW	1.1	1.4	1.5
IDW quota	1.6÷1.7	1.7÷1.80	1.9÷2.0
Ordinary	1.2	1.3	1.5
Universal	0.6	1.1	1.0

Tabella 2. Confronto dei RMSE [°C] ottenuti dalla crossvalidazione per i principali metodi d'interpolazione testati delle temperature medie, minime e massime giornaliere.

Oltre al confronto sul RMSE nel periodo 2000-2003 sono state anche condotte verifiche sui singoli anni nei diversi mesi. (Figura 7).

I risultati ottenuti sono gli stessi che emergono da tabella 2 ed identificano nell'Universal Kriging con dipendenza lineare dalla quota il miglior metodo d'interpolazione spaziale delle temperature medie, minime e massime.

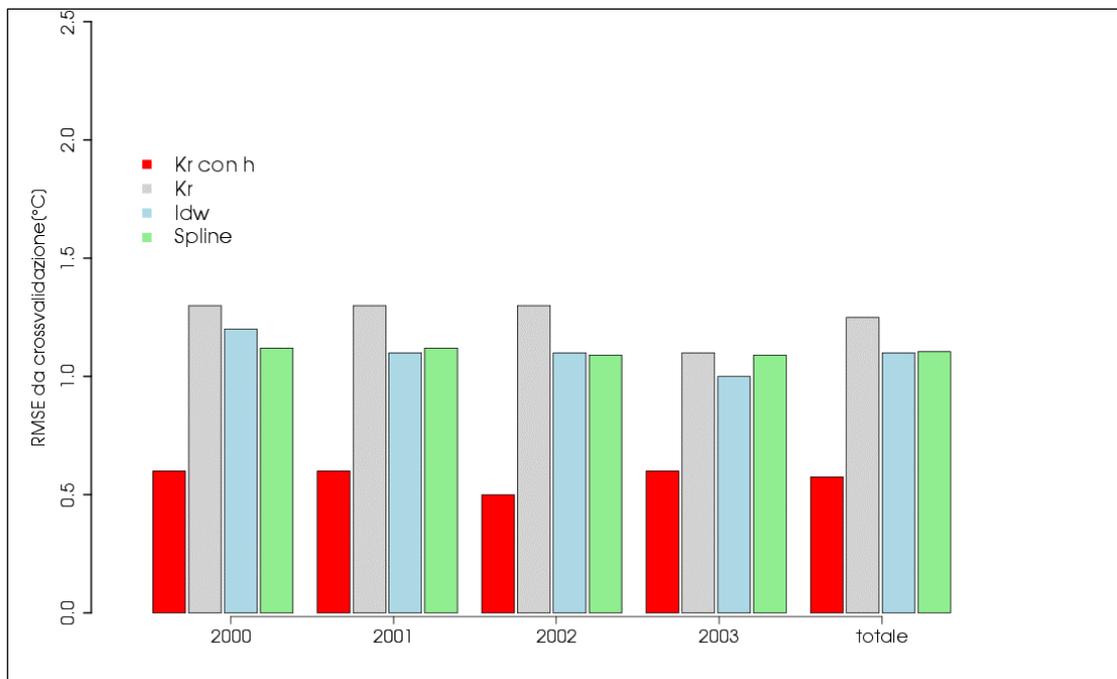


Figura 7. Esempio di andamento degli RMSE per le diverse tecniche geostatistiche nei vari anni per le temperature medie del mese di luglio.

Per quanto riguarda l'umidità relativa il metodo di spazializzazione che garantisce i migliori risultati è l'*ordinary Kriging* che consente di ottenere un $RMSE < 4\%$.

Poiché i dati di radiazione solare e insolazione sono stati ottenuti utilizzando una procedura diversa, anche la verifica dei risultati è stata condotta in maniera differente. Si è utilizzata la corrispondenza fra giornate con una bassa componente di radiazione diretta e scarsa insolazione e le giornate di cielo coperto identificate dall'analisi meteorologica condotta da Meteotrentino (Servizio Meteorologico Provincia di Trento) nei medesimi giorni. Questo al fine di controllare che le giornate con una bassa componente di radiazione diretta ed una scarsa insolazione fossero state effettivamente giornate di cielo coperto ed escludendo eventuali giorni con dato erroneamente registrato come 0 a causa di malfunzionamenti strumentali.

Dal database ottenuto sono stati analizzati i dati medi per la durata dell'indagine 2000 – 2003, per il solo periodo che va dalla fioritura alla raccolta, ossia per i mesi di maggio–settembre. Dai gradienti medi risulta evidente come, di norma, sussista una differenza tra le minime e le massime: mentre le massime presentano un gradiente massimo, le minime manifestano mediamente una differenza di soli 0,22 °C / 100 m, a causa del meccanismo di stabilizzazione atmosferica notturna, che tuttavia ben difficilmente raggiunge una vera e propria inversione nel periodo tardo primaverile–inizio autunnale considerato.

L'umidità relativa, in un'area climaticamente omogenea come quella presa in considerazione, risulta avere anch'essa valori simili nei diversi siti.

Per tutte le stazioni la correlazione tra quota e insolazione è mediocre, mentre quella tra quota e radiazione incidente è quasi nulla. Se ne desume una tendenza all'aumento di ampiezza dell'orizzonte al salire della quota mentre il moderato dislivello tra le aziende non è in grado di portare, dal punto di vista dell'energia radiante ricevuta, a disomogeneità sostanziali tra le stazioni più in basso e quelle più in quota.

Conclusioni

Per quanto riguarda le temperature (media, minima e massima giornaliera) l'utilizzo dell'Universal Kriging con dipendenza lineare dalla quota garantisce i risultati migliori con RMSE < 0.7 °C per le temperature medie ed RMSE < 1.2 °C per le temperature minime e massime.

Ciò si deve al fatto che la quota spiega gran parte della variabilità termica in territorio altimetricamente vario. Inoltre i buoni risultati ottenuti sono dovuti anche alla buona densità di stazioni di rilevamento presenti.

Anche i risultati ottenuti per l'umidità relativa con un RMSE < 4% sono soddisfacenti per il tipo di analisi da condurre sulla zona. Inoltre la verifica operata sui risultati ottenuti per la radiazione diffusa e diretta e per l'insolazione consente di attestare la bontà della stima effettuata.

Le serie di dati interpolati risultano quindi corrette rispetto alle verifiche condotte; l'unica annotazione è dovuta al fatto che in una decina di giornate distribuite sui tre anni non è stato possibile calcolare i dati di radiazione ed insolazione; ciò è dovuto alla mancanza di dati misurati nelle stazioni limitrofe. Tali giorni, cadendo all'inizio della primavera, in inverno o in autunno inoltrato, risultano comunque esterni ai periodi di interesse per l'indagine.

Infine, l'interpolazione spaziale dei dati agro-meteorologici ha consentito di svolgere un'analisi climatica in grado di identificare eventuali differenze su piccola scala tra i diversi siti o di confermare omogeneità di alcune variabili su aree ristrette. Proprio all'interno di un'area che si può ritenere climaticamente omogenea, tali piccole, ma rilevabili, differenze sono in grado di spiegare una buona parte della variabilità qualitativa dei frutti, come risulta dalle analisi condotte nell'ambito del progetto Qualiquant.

Ringraziamenti

La Provincia Autonoma di Trento ha finanziato il progetto speciale "Qualiquant", sotto la guida del dott. Marzio Comai (Istituto Agrario di S. Michele all'Adige)

Bibliografia

- M. Ashraf, J.C. Loftiss, K.G. Hubbard, Application of geostatistics to evaluate partial weather station networks, *Agricultural and Forest Meteorology*, 84, 225-271, 1997.
- R.S. Bivand, Using the R statistical data analysis language on GRASS 5.0 GIS database files, *Computers & Geosciences*, 26, 1043-1052, 2000.

- R.S. Bivand, A. Gebhardt, Implementing functions for spatial statistical analysis using the R language, *Journal of Geographical Systems*, (3)2, 307-317, 2000.
- R.S. Bivand, M. Neteler (2000), Open Source geocomputation: using the R data analysis language integrated with GRASS GIS and PostgreSQL data base systems, *Proceedings 5th conference on GeoComputation*, 23-25 August 2000, University of Greenwich, U.K, 2000.
- N.A.C. Cressie, *Statistics for Spatial Data*, rev. ed. Wiley, New York, 1993.
- J. Hofierka and M. Suri. The solar radiation model for Open Source GIS: implementation and applications, *Proceedings of the Open Source Free Software GIS - GRASS users conference*, M. Ciolli and P. Zatelli Editors, 2002.
- P.K. Kitianidis, *Introduction to Geostatistics: Applications in Hydrogeology*, Cambridge University Press, Cambridge, 249 pages, 1997.
- J.J. Lennon, J.R.G. Turner, Predicting the spatial distribution of climate: temperature in Great Britain, *J. Anim. Ecol.*, 64, 370-392, 1995.
- G. Matheron, Principles of geostatistics, *Economic Geology* 58, 1246—1266, 1963.
- I.A. Nalder, R.W. Wein, Spatial Interpolation of climatic Normals: test of a new method in the Canadian boreal forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 92, 211-225, 1998.
- M. Neteler, H. Mitasova, *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 464 pages, 2002.
- L.L. Schumaker, *Spline Functions: Basic Theory*. John Wiley & Sons, New York, 1981.
- C.J.T. Spitters, H.A.J.M. Toussaint and J. Goudriaan, Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implication for modeling canopy Photosynthesis Part 1. Components of incoming Radiation, *Agricultural and Forest Meteorology*, 38, 217-229, 1986.
- G.Q. Tabios III, J.D. Salas, A comparative analysis of techniques for spatila interpolation of precipitation, *Water Resour. Bull.*, 21, 365-380, 1985.
- J.W. Tukey, *Exploratory Data Analysis*, Addison-Wesley, Reading MA, 688 pages, 1977.
- GRASS Development Team, *GRASS 5.0 Users Manual*, ITC-irst, Trento, Italy, 2002. Electronic document: http://grass.itc.it/gdp/html_grass5/
- R Development Core Team (2003). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-00-3, URL <http://www.R-project.org>.