

UTILIZZO DI DATI TELERILEVATI NELLE VALUTAZIONI AGRO-AMBIENTALI: STIMA DEL CONTENUTO DI SOSTANZA ORGANICA NEI SUOLI

Alessandro MARCHETTA (*), Chiara PICCINI (*), Rosa FRANCAVIGLIA (*),
Sergio SANTUCCI (**), Igino CHIUCHIARELLI (**)

(*) CRA – Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo, via della Navicella 2-4, 00184 Roma,
tel. 06 7005299, fax 06 7005711, e-mail alessandro.marchetti@entecra.it

(**) ARSSA, Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo Regione Abruzzo, Piazza Torlonia 91,
67051 Avezzano (AQ), tel. 0863 502371, e-mail sergio.santucci@tin.it

Riassunto

Nelle indagini agro-ambientali a scala territoriale un problema che spesso si deve affrontare è quello della rappresentazione delle proprietà dei suoli: i dati puntuali misurati devono essere spazializzati, con la migliore interpolazione possibile. I metodi deterministici (IDW, *spline*, ecc.) non rendono conto dell'errore che si commette, perciò da diversi anni vengono applicati con successo metodi probabilistici propri della geostatistica (p.es. *Ordinary Kriging*, OK). La cartografia che deriva da questo tipo di interpolazione stocastica, che si basa unicamente sulla riconosciuta autocorrelazione tra i punti misurati, può non essere sufficiente a rendere conto della realtà che si vuole rappresentare, poiché le carte così ottenute presentano andamenti molto smussati. Per questo negli ultimi tempi è aumentato l'interesse verso i sistemi ibridi di interpolazione, in grado di combinare l'interpolazione basata unicamente sull'osservazione puntuale e quella basata sulla regressione della variabile di interesse su variabili continue spazialmente correlate note su tutta l'area (dati telerilevati).

Una di queste tecniche ibride è nota come *Regression Kriging* (RK), che consiste in una regressione sulle variabili ausiliarie (predittori), e la successiva applicazione dell'algoritmo di *Kriging* sui residui. In un'area di circa 100 km² sita nella provincia di Teramo sono disponibili 250 campioni dell'orizzonte superficiale di suoli agricoli, su cui è stata effettuata la stima del contenuto di sostanza organica sia tramite OK sia tramite RK. In qualità di predittori sono stati utilizzati: a) indici derivati da immagini *Landsat TM* (NDVI, GSI, CI, etc.), b) parametri morfometrici derivati dal DEM (pendenza, profilo e piano di curvatura, TWI, radiazione solare incidente), c) carta pedologica rilevata in scala 1:250.000. Su tutte le variabili ausiliarie, al fine di evitare effetti di multicollinearità, è stata previamente condotta una analisi in componenti principali, impiegando poi per la stima le componenti trasformate.

Le carte del contenuto in sostanza organica ottenute con i due metodi di stima, messe a confronto, hanno permesso di mostrare la validità della tecnica proposta, in quanto questo tipo di rappresentazione risulta più aderente alla realtà territoriale rispetto a quello che si ottiene con l'interpolazione dei soli dati puntuali.

Abstract

The mapping of soil properties from sampling point data is critical in agronomical and environmental surveys. In fact, since deterministic methods (IDW, *spline*, etc) do not estimate the interpolation errors, stochastic geostatistical methods (i.e. *Ordinary Kriging*, OK) have been developed to obtain estimated maps. However, being these maps based essentially on the spatial correlation of the samples, results show an excess of smoothing and poor coherence to the reality.

That is why in recent years hybrid interpolation methods have been increasingly used, combining point observation with remotely sensed data.

One of these, the Regression Kriging (RK) technique, combines a regression of the dependent variable on auxiliary variables (predictors) with kriging of the regression residuals.

In our 100 km² study area situated in Teramo province, 250 samples from the surface horizon of agricultural soils were collected. Soil organic matter content was estimated by means of both OK and RK. Landsat imagery and morphometric parameters derived from DEM were used as predictors, as well as the existing soil map 1:250.000. To avoid multicollinearity effects, a Principal Component Analysis (PCA) was performed, using then the obtained components as predictors.

The observation of the soil organic matter maps obtained by OK and RK showed the validity of the RK technique, as this representation fits better with the local morphology.

Introduzione

La risorsa suolo riveste una primaria importanza per la pianificazione territoriale, per la protezione ambientale e per la comprensione di molti fenomeni naturali; per questo motivo la rappresentazione cartografica delle caratteristiche dei suoli costituisce uno strumento conoscitivo di fondamentale importanza. Il contenuto di sostanza organica del suolo (Soil Organic Matter, SOM), in particolare, rappresenta un indicatore dello stato di salute del suolo stesso.

Una delle principali difficoltà incontrata da chi si occupa di *soil mapping* è data generalmente dalla scarsità di dati a livello territoriale, mentre sono più facilmente reperibili campionamenti frammentari a scala locale. Da qui nasce l'esigenza di interpolare i dati disponibili nonché di stimare la variabile considerata anche in punti non campionati. L'obiettivo da raggiungere è quello di ottenere, a costi contenuti, un'elevata accuratezza dello strumento cartografico: nelle applicazioni pratiche è necessario trovare un compromesso, per minimizzare i costi sacrificando il meno possibile in termini di precisione. Quest'ultima dipende essenzialmente dal tipo di campionamento, dal metodo di misura, e dal metodo di interpolazione utilizzato per costruire la carta (Ping & Dobermann, 2006). Nel presente lavoro, pur riconoscendo l'importanza degli altri due fattori, si pone l'accento sulla scelta del metodo di interpolazione.

I dati provenienti da campionamenti e misurazioni dirette possono essere utilizzati in *input* per diverse tecniche di interpolazione. I metodi deterministici (IDW, *spline*, ecc.) non rendono conto dell'errore commesso, pertanto si preferiscono metodi geostatistici (probabilistici), che costituiscono il modo migliore per rappresentare la natura continua dei suoli. I metodi classici stimano il valore di una variabile in ciascun punto tramite l'applicazione di un preciso modello di autocorrelazione spaziale (Goovaerts, 1997; McBratney et al., 2003), e sono basati unicamente sulla posizione di un punto rispetto agli altri: tra questi l'*Ordinary Kriging* (OK) è stato introdotto specificamente nella scienza del suolo da Burgess e Webster (1980). In alternativa si utilizzano tecniche ibride quali il *Regression Kriging* (RK), che assumono che la media locale vari in maniera continua entro ciascun vicinaggio, e possa pertanto essere stimata utilizzando in associazione dati provenienti da osservazioni dirette e informazioni ausiliarie correlate (Odeh et al., 1994; Goovaerts, 1997; Hengl et al., 2004). Queste informazioni vengono ricavate dal modello digitale del terreno (DEM), che costituisce un'ottima fonte di informazioni topografiche e quindi un'importante banca dati per il calcolo degli attributi geomorfometrici, nonché dalle immagini satellitari, disponibili in tempo pressoché reale e a costi contenuti.

Materiali e metodi

Questo studio riguarda una porzione di territorio dell'ampiezza di circa 100 km² che comprende il territorio di quattro comuni (Controguerra, Corropoli, Colonella e Martinsicuro) nella provincia di Teramo, al confine marchigiano-abruzzese; le zone di maggiore interesse ricadono nel comprensorio vitivinicolo di Controguerra, ovvero l'area DOCG delle Colline Teramane. Il *dataset* utilizzato è costituito da 250 campioni puntuali georeferenziati, raccolti dall'ARSSA dall'orizzonte superficiale di suoli agricoli in aree coltivate accessibili; le analisi fisiche e chimiche di routine

effettuate su questi campioni comprendono la determinazione della tessitura e il contenuto in carbonio organico, da cui è stato derivato il contenuto in SOM mediante la formula seguente (Jackson, 1965):

$$\text{SOM} = C \times 1.724 \quad [1]$$

I dati misurati sono stati sottoposti ad analisi statistica descrittiva per verificare l'applicabilità delle tecniche geostatistiche, quindi si è proceduto alla stima sia con OK sia con RK. La procedura di OK prevede in primo luogo l'analisi del variogramma sperimentale, da cui viene individuato il modello di variabilità spaziale; in base a tale modello viene poi effettuata la stima tramite interpolazione per medie mobili.

I dati ausiliari disponibili per il RK in quest'area provengono da immagini *Landsat 7 TM* (3 bande nel visibile e 4 nell'infrarosso), da un DEM con risoluzione a 40m fornito dalla Regione Abruzzo, e dalla carta dei suoli d'Abruzzo 1:250.000 redatta dall'ARSSA (Chiuchiarelli et al., 2006). Dal DEM sono stati ricavati alcuni parametri geomorfometrici quali pendenza (SLOPE), piano (PLANC) e profilo (PROFC) di curvatura, *Topographic Wetness Index* TWI (Beven & Kirkby, 1979), radiazione solare incidente (SOLAR); dalle immagini *Landsat* sono stati derivati gli indici *Normalized Difference Vegetation Index* NDVI (Colwell, 1974), *Grain Size Index* GSI (Xiao et al, 2006), *Clay Index* CI (Hengl, 2007). Infine, trasformando in *raster* la carta pedologica è stato ottenuto un ulteriore indice (SST86) che raggruppa i sottosistemi di terre presenti nell'area. Tutti questi parametri sono poi stati utilizzati nella stima, effettuando preventivamente una Analisi in Componenti Principali (ACP) e impiegando poi effettivamente quali predittori le componenti individuate, al fine di evitare effetti di multicollinearità e ridondanza. Il *Kriging* viene poi applicato sui residui della regressione. La derivazione degli indici e la ACP sono state effettuate tramite i *software* SAGA 2.0.2 (SAGA User Group Association, 2008) e ILWIS 3.4 Open (52 North Initiative, 2007). Sia per l'OK sia per il RK è stato utilizzato il *software* statistico R 2.7.1 con i principali pacchetti applicativi, tra cui *gstat* e *sp* (R Development Core Team, 2008).

Il *dataset* non è stato utilizzato per intero nella stima, ma è stato suddiviso in due frazioni numericamente uguali, una di *training* e l'altra di *test* (una parte dei punti di misura serve così a validare i risultati della stima). I punti sono stati assegnati all'una o all'altra frazione in maniera del tutto casuale, in modo da eliminare la soggettività e da permettere la riproducibilità. Per questa operazione si è impiegata l'estensione "Geostatistical Analyst" del software ArcGIS 9.2[®].

Dai valori stimati tramite le due diverse tecniche, implementati in ambiente GIS, sono state ricavate le mappe della tessitura dei suoli e della dotazione di SOM in relazione alla tessitura.

Tessitura USDA			
Classi	Sabbioso	Franco	Argilloso
	Sabbioso-franco Franco-sabbioso	Franco-sabbioso-argilloso Franco-limoso Argillo-sabbioso Limoso	Franco-argilloso Argilloso-limoso Franco-argilloso-limoso
Dotazione	Sostanza Organica %		
Molto bassa	< 0.8	< 1.0	< 1.2
Bassa	0.8 - 1.4	1.0 - 1.8	1.2 - 2.2
Media	1.5 - 2.0	1.9 - 2.5	2.3 - 3.0
Elevata	> 2.0	> 2.5	> 3.0

Tabella 1 – Valutazione della sostanza organica nei suoli (Sequi & De Nobili, 2000)

Risultati e discussione

L'applicazione delle metodologie geostatistiche presuppone una distribuzione normale dei dati; l'esclusione di alcuni valori anomali dal set di dati, corrispondenti al 5% del totale, è stata sufficiente a raggiungere una distribuzione con un grado di normalità accettabile (Webster, 2001).

Dato che in suoli diversi lo stesso contenuto di SOM può influenzare diversamente le caratteristiche del suolo stesso, i valori della dotazione ottenuti con i due diversi metodi di stima sono stati suddivisi in quattro classi (molto bassa, bassa, media, alta) basandosi sulla tessitura USDA stimata (vedi tabella 1).

Sui 10 indici ricavati dai dati ausiliari (DEM, SLOPE, PROF, PLANC, TWI, SOLAR, GSI, CI, NDVI, SST86) è stata condotta la ACP. Per la stima di ciascuna variabile sono state considerate quelle componenti che sono risultate statisticamente significative ($p < 0,05$).

Nella figura 2 sono riportate le carte relative alla valutazione della tessitura secondo USDA e alla valutazione della SOM in relazione alla tessitura, a sinistra quelle ricavate con OK e a destra quelle ricavate con RK.

L'osservazione delle carte ricavate con le due diverse metodologie di stima evidenzia un andamento spaziale simile in entrambi i casi, ma l'OK tende a smussare i dettagli della variabilità spaziale, e quindi a sottostimare la variabilità a corto raggio; generalmente il RK permette di avere un errore di stima più basso. Inoltre, l'andamento risulta certamente più aderente alla realtà morfologica locale.

Nella tabella 3 sono riportati i valori dell'errore quadratico medio della stima (ME), della radice di tale errore (RMSE) e della radice normalizzata (RMNSE), sia per l'OK che per il RK. Tali valori sono stati ottenuti confrontando i valori stimati dal data set di training, con quelli osservati nei punti corrispondenti del data set di test che non hanno partecipato alla stima.

	Campioni ($n = 118$)		Ordinary kriging			Regression kriging		
	Media	d.s.	ME	RMSE	RMNSE	ME	RMSE	RMNSE
Sabbia	21,32	11.40	-1.84	8.99	1.03	-1.63	8.96	1.00
Argilla	31,39	7.23	0.66	5.49	1.01	0.39	5.44	1.01
SOM.	1,63	0.64	-0.04	0.68	1.12	-0.01	0.67	1.01

Tabella 3 – Errori della stima in OK ed RK

L'attendibilità dei risultati è certamente condizionata dalla qualità dei predittori, e di quelli morfologici in modo particolare, i quali dipendono dalla modalità di calcolo con cui si è ottenuto il modello digitale del terreno. Nel nostro caso i risultati ottenuti a partire da un DEM a 40m sono sufficientemente validi su scala territoriale; per un maggior dettaglio sarebbe opportuno avere a disposizione modelli a più alta risoluzione, di cui però sia ben noto ed affidabile l'algoritmo di costruzione.

Conclusioni

L'analisi dei dati disponibili nella provincia di Teramo e la stima in punti non campionati per mezzo di metodologie geostatistiche di tipo inferenziale ha permesso di costruire mappe della tessitura dei suoli e della sostanza organica con un ragionevole grado di accuratezza. Infatti, partendo da campioni anche poco numerosi, è possibile produrre una cartografia tematica stimata a costi contenuti, che possa comunque costituire una valida rappresentazione a scala territoriale utile ai fini delle valutazioni agroambientali. Questo tipo di mappe non è necessariamente più accurato di quello tradizionale, ma in più fornisce una stima quantitativa dell'errore associato.