

Valutazione della fertilità del suolo in ambiente GIS per una piantagione di canna da zucchero in Etiopia

Daniela Carrion (*), Federica Migliaccio (*),
Nigus Gebreegziabher Kidane (**)

(*) DICA, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italy
daniela.carrion@polimi.it, federica.migliaccio@polimi.it,
(**) nigus.gebreegziabher@mail.polimi.it

Riassunto

La valutazione della fertilità del suolo effettuata sulla base della misura dei relativi parametri di fertilità è molto importante per ottenere informazioni quantitative mirate a migliorare le tecniche agricole e in particolare per pianificare i cicli di fertilizzazione. Infatti la diminuzione della fertilità del suolo rappresenta un problema ambientale molto serio, specialmente nei Paesi in via di sviluppo, come l'Etiopia. Le proprietà del suolo (pH, nutrienti disponibili e materia organica), misurate periodicamente, permettono di acquisire dati che possono essere importati in ambiente GIS per produrre mappe di valori dei parametri di fertilità del suolo utilizzando metodi di interpolazione quali IDW (Inverse Distance Weights) e Kriging. Le mappe interpolate prodotte con il software ArcGIS di ESRI sono state combinate tra loro per ottenere un'unica mappa di fertilità; per questo scopo è stato necessario calcolare i pesi che rappresentano l'influenza di ogni parametro sulla fertilità del suolo. La composizione pesata delle mappe è stata realizzata in IDRISI GIS utilizzando un approccio decisionale multi-criterio, a partire dal confronto di coppie (PWC, *pair-wise comparison*) di parametri di fertilità del suolo; in questo modo è stata poi determinata la matrice dei pesi. Il metodo è stato applicato per l'area corrispondente alla piantagione Wonji Shoa, che ricopre un ruolo importante nella produzione di canna da zucchero per il consumo nazionale in Etiopia. La piantagione ha un'estensione di 20000 ha e produce 7000 quintali di zucchero al giorno. Come risultato del lavoro sono state realizzate mappe di livelli di fertilità del suolo che permettono di individuare i campi più fertili per la crescita della canna da zucchero e quelli che richiedono un intervento di fertilizzazione specifico.

Abstract

Soil fertility assessment based on the knowledge of soil fertility parameters is a very important tool to derive quantitative information aimed to improve agricultural techniques and particularly to plan fertilization cycles. In fact, soil fertility decline represents a very serious environmental problem in developing Countries, including Ethiopia. Routinely measured soil properties (pH, extractable nutrients and organic matter) allow to collect data that can be imported into a GIS environment in order to produce interpolated maps of values of soil fertility parameters by means of such techniques as IDW (Inverse Distance Weights) and Kriging. This approach has been applied for the area corresponding to Wonji Shoa Sugar Estate Farm (WSSF), which is one of the farms that play an important role in sugar production for national sugar consumption in Ethiopia. Covering 20,000 ha of land, it produces 700,000 kg of sugar daily. The interpolated maps produced by means of ESRI ArcGIS 10.1 have been subsequently overlaid to obtain a unique map of soil fertility. This required to compute weights assessing the influence of each parameter on soil fertility; the weighting was performed in IDRISI GIS based on a multi criteria decision approach starting from pair-wise comparison (PWC) of soil fertility parameters which allows to compute a suitable weight matrix. The result is represented by maps of soil fertility levels over the WSSF land, which

highlight the most fertile plots for sugar cane growing and the areas that need soil improvement by means of precision fertilizing.

Fertilità del suolo e parametri per la sua valutazione

La coltivazione di terreno agricolo senza l'apporto dei necessari nutrienti ha come risultato l'impovertimento del suolo, una sua erosione accelerata, il consumo delle riserve di nutrienti contenuti nel terreno, la riduzione del contenuto di materia organica, la degradazione della struttura fisica del terreno e, in definitiva, la riduzione della produttività in termini di raccolto. Tutto questo può mettere in pericolo le pratiche agricole.

L'equilibrio dei nutrienti (cioè il quantitativo di ciascun nutriente apportato grazie ai fertilizzanti meno il quantitativo che viene perduto) è negativo (Stoorvogel e Smaling, 1990) per molti sistemi agricoli nei Paesi dell'Africa sub-sahariana. I Paesi dell'Africa Orientale e Centrale che presentano un elevato livello annuale di impoverimento dei nutrienti del terreno (ad esempio, più di 40 kg/ha di azoto e più di 30 kg/ha di K₂O ogni anno) sono ad esempio Etiopia, Kenya, Malawi e Rwanda (A.O. Esilaba, F. Reda, J.K. Ransom. 2000).

L'analisi dei parametri che influenzano la fertilità del suolo (Cambardella et al., 1999, Geypens M. et al., 2000, Ruffeis D. et al., 2008) rappresenta dunque uno strumento fondamentale nella gestione efficiente delle tecniche di fertilizzazione e permette di evitare il consumo eccessivo e dannoso dei fertilizzanti stessi, che non solo mette in pericolo la qualità del raccolto ma rappresenta anche una perdita dal punto di vista economico.

I parametri che maggiormente influenzano la fertilità di un terreno sono rappresentati dal contenuto di azoto, carbonio, fosforo, carbonato di calcio (CaCO₃), dal rapporto fra carbonio e azoto, dal pH del terreno, e naturalmente dal raccolto prodotto per ettaro.

Nel presente lavoro viene presentata un'analisi della fertilità del suolo riferita all'area della piantagione Wonji Shoa Sugar Factory (WSSF) in Etiopia, dove si coltiva canna da zucchero per il consumo Nazionale. La piantagione si trova nella parte centrale della East African Rift Valley a circa 107 km a sud est di Addis Abeba (longitudine compresa fra 8° 21' E e 8° 27' E, latitudine compresa fra 39° 12' S e 39° 19' S, quota di circa 1500 m).

Interpolazione dei parametri di fertilità del suolo in ambiente GIS

I dati a disposizione per svolgere la valutazione della fertilità del suolo relativa all'area della piantagione Wonji Shoa erano i valori puntuali dei parametri di fertilità ottenuti in base a diverse misure eseguite sul territorio in esame. Infatti, su tutta l'area della piantagione erano stati misurati i parametri di fertilità del suolo in corrispondenza di 131 punti (si veda la Figura 1), la cui posizione era stata definita in base a rilievi GPS. I dati erano stati inizialmente archiviati in fogli Excel.

I dati riferiti ai sette parametri (N, P, C, CaCO₃, C/N, pH, raccolto prodotto per ha), sono stati successivamente importati come altrettanti *layer* informativi in ambiente ArcGIS. Per quanto il numero di punti sia piuttosto scarso rispetto a quello ottimale per garantire risultati soddisfacenti nel corso delle successive analisi, si tratta comunque di un'applicazione di interesse per un Paese in via di sviluppo, per il quale non esistono ancora esperienze precedenti di questo tipo.

Per arrivare a una valutazione della fertilità del suolo che riguardasse l'intera area della piantagione, è stato in primo luogo necessario applicare procedure di interpolazione in modo da potere visualizzare i risultati sull'intera area in esame. A questo scopo, sono stati applicati in ambiente ArcGIS alcuni degli algoritmi più comuni per l'interpolazione di dati puntuali, in particolare la media pesata con l'inverso della distanza IDW (*Inverse Distance Weighting*) e il Kriging (Burrough e McDonnel, 2000). L'algoritmo IDW è stato applicato con potenza dell'inverso della distanza pari a 2 (power 2) e pari a 3 (power 3). Esempi delle mappe ottenute grazie alla procedura di interpolazione sono visibili nella Figura 2 (IDW) e nella Figura 3 (Kriging). In generale, si può affermare che i risultati ottenuti con il metodo IDW power 2 e IDW power 3 si sono rivelati molto simili fra loro, mentre il Kriging ha dato in diversi casi risultati che si discostavano dai precedenti.

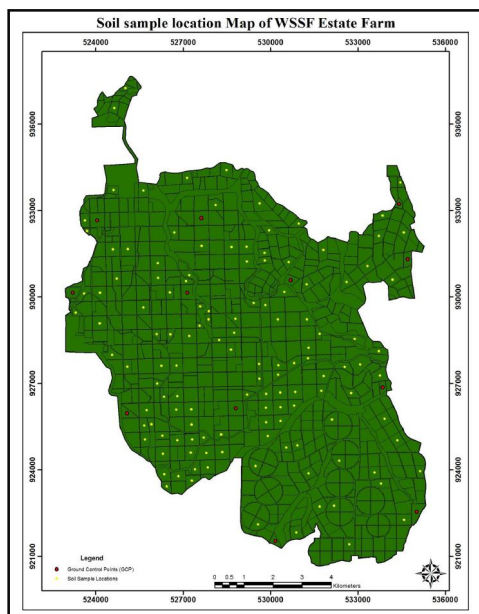


Figura 1. Posizione dei punti nei quali sono stati eseguiti i campionamenti dei parametri di fertilità del suolo sull'area della piantagione Wonji Shoa in Etiopia; si nota la suddivisione della piantagione in appezzamenti.

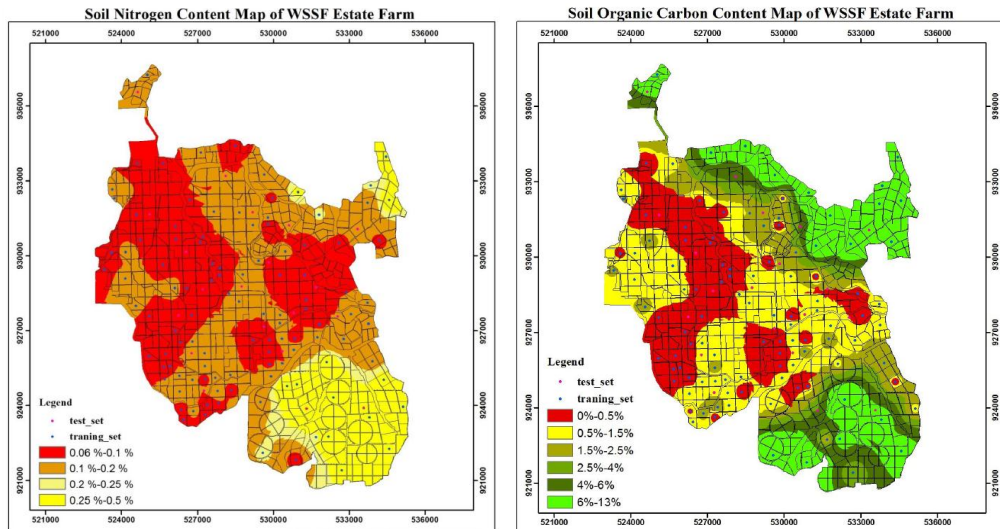


Figura 2. Esempi di mappe ricavate interpolando tramite IDW (power 2) i valori dei parametri di fertilità del suolo per l'area della piantagione Wonji Shoa in Etiopia; a sinistra, mappa dei valori dell'azoto contenuto nel terreno; a destra, mappa del contenuto di carbonio organico.

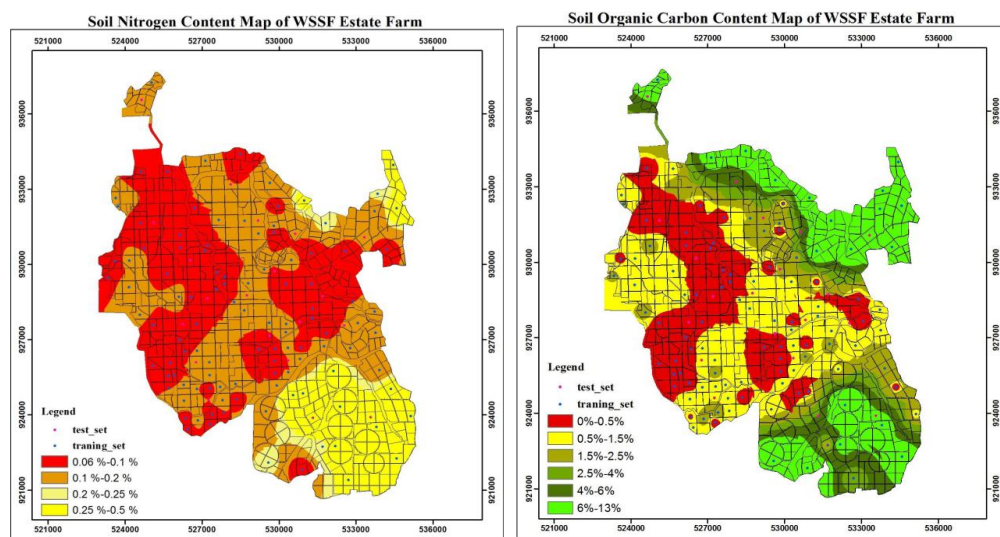


Figura 3. Esempi di mappe ricavate interpolando tramite IDW (power 3) i valori dei parametri di fertilità del suolo per l'area della piantagione Wonji Shoa in Etiopia; a sinistra, mappa dei valori dell'azoto contenuto nel terreno; a destra, mappa del contenuto di carbonio organico.

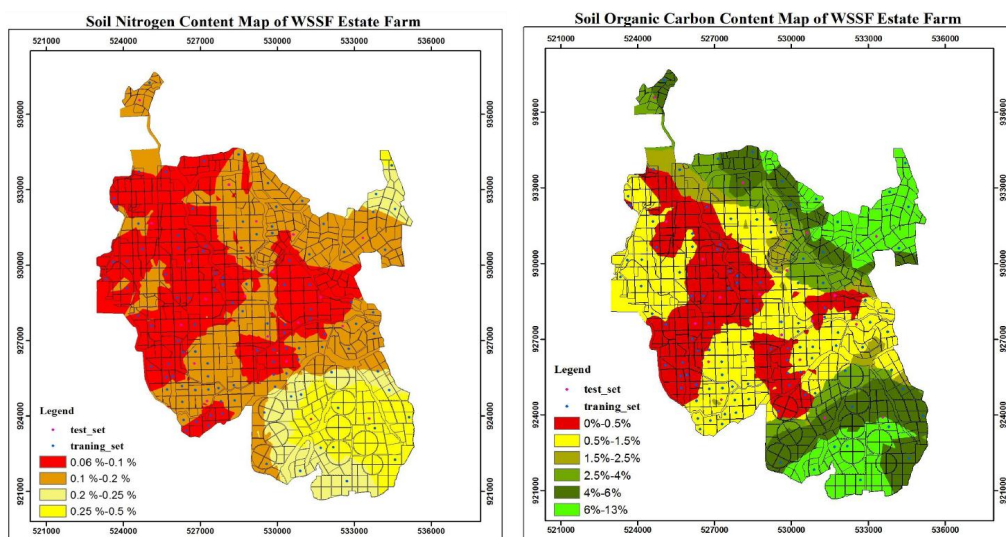


Figura 4. Esempi di mappe ricavate interpolando tramite Kriging i valori dei parametri di fertilità del suolo per l'area della piantagione Wonji Shoa in Etiopia; a sinistra, mappa dei valori dell'azoto contenuto nel terreno; a destra, mappa del contenuto di carbonio organico.

Allo scopo di eseguire un confronto numerico fra i risultati dei tre metodi di interpolazione applicati, si sono calcolati i *root mean square error* (RMSE) su 20 *check point*. Come si vede nella Tabella 1, l'interpolazione IDW mostra accuratèzze molto simili in entrambi i casi (power 2 e power 3), ma questo è un risultato abbastanza ovvio. Più importante è notare che per cinque parametri su sette l'interpolazione tramite Kriging risulta decisamente più accurata dell'interpolazione IDW.

Parametro	IDW (power 2)	IDW (power 2)	Kriging
Azoto (%)	0.022	0.022	0.004
Carbonio (%)	2.093	2.026	0.082
Fosforo (ppm)	14.220	14.074	21.757
C/N	4.349	4.337	2.847
pH	0.338	0.332	0.004
CaCO ₃ (%)	1.777	1.858	0.435
Raccolto (t/ha)	46.483	49.125	78.380

Tabella 1. RMSE calcolati sui 20 check point dopo le procedure di interpolazione con IDW e Kriging.

Overlay della mappe dei parametri di fertilità del suolo

Le diverse mappe presentate nel paragrafo precedente permettono di visualizzare la distribuzione sull'area in esame dei valori dei nutrienti, del pH e della quantità di canna da zucchero raccolta per ettaro. Ogni singolo parametro ha influenza sulla fertilità del suolo, ma ovviamente quello che interessa è conoscere l'effetto della combinazione dei valori di tali parametri e quale sia la loro influenza nel complesso.

E' stato possibile ottenere questo risultato combinando (*overlay*) le singole mappe ottenute per interpolazione, definendo un peso opportuno per ciascuna delle sette mappe (cioè per ciascuno dei sette parametri dei quali si erano interpolati i valori). Il problema della valutazione della fertilità del suolo può essere risolto con un metodo di decisione multi-criterio (MCDM), che richiede di definire a priori i valori dei parametri di influenza. Secondo (Saaty, 1977) in un MCDM il peso dei parametri può essere definito in maniera gerarchica, attraverso il confronto a coppie fra i parametri stessi ("*pair wise comparison*"). Fondamentalmente, questo metodo richiede di ordinare i parametri in base al loro livello di influenza sulla fertilità del suolo, confrontare a due a due l'importanza dei parametri e definire la corrispondente matrice degli autovalori, sommare i valori di ciascuna colonna e dividere i valori di ogni fattore per il totale di colonna per determinare il peso relativo. L'algoritmo è implementato in diversi applicativi e può essere eseguito in maniera automatica ad esempio con IDRISI. Nella Tabella 2 è riportato l'ordinamento gerarchico qualitativo e la corrispondente definizione quantitativa del livello di importanza dei parametri che entrano in gioco nel problema. Nella Tabella 3 è riportata la matrice del confronto "*pair wise*" fra coppie di parametri di fertilità del suolo e nella Tabella 4 sono riportati i pesi dei parametri stessi ottenuti al termine della procedura.

Livello di importanza		Valore
Extremely	Less important	1/9
Very Strongly		1/7
Strongly		1/5
Moderately		1/3
Equally important		1
Extremely	More important	3
Very Strongly		5
Strongly		7
Moderately		9

Tabella 2. Ordinamento gerarchico e corrispondente definizione quantitativa del livello di importanza dei parametri.

Applicando i pesi così ottenuti alle sette mappe di interpolazione dei parametri di fertilità del suolo e combinando tali mappe (quindi eseguendo un *overlay* di sette distinti strati informativi), si sono infine ottenute le mappe di valutazione di fertilità del suolo per l'area della piantagione Wonji Shoa. Il livello di fertilità è stato semplicemente diviso in tre classi: alta, media, bassa. I risultati (ottenuti in ambiente ArcGIS) sono stati calcolati per ciascuna delle procedure di interpolazione utilizzate (IDW power 2, IDW power3 e Kriging) e si possono vedere nella Figura 3.

Parametro	N	C	P	C/N	pH	CaCO ₃	Raccolto
N	1						
C	1/3	1					
P	1/5	1/3	1				
C/N	1/5	1/3	1/3	1			
pH	1/7	1/5	1/3	1/3	1		
CaCO ₃	1/7	1/5	1/5	1/3	1/3	1	
Raccolto	1/9	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1

Tabella 3. Ranking e matrice del confronto “pair-wise” fra coppie di parametri di fertilità del suolo.

Nella Figura 3 non è riportata la mappa di valutazione della fertilità del suolo ottenuta applicando l'interpolazione IDW power 3 in quanto i risultati sono del tutto simili a quelli dell'IDW power 2. Confrontando invece i risultati ottenuti a partire dall'IDW power 2 e dal Kriging, si nota che le mappe di fertilità del suolo presentano delle differenze piuttosto notevoli: il Kriging infatti evidenzia un'area molto più vasta classificabile in un livello medio di fertilità del suolo, mentre l'area a bassa fertilità risulta notevolmente ridotta.

Parametro	Range di valori	Fertilità del suolo	Peso del parametro
Azoto (%)	> 0.5	Alta	0.4197
	0.2 – 0.5	Media	
	< 0.2	Bassa	
Carbonio (%)	> 1.5	Alta	0.2225
	0.5 – 1.5	Media	
	0 - 0.5	Bassa	
Fosforo (ppm)	> 13	Alta	0.1426
	7 - 13	Media	
	< 7	Bassa	
C/N	> 30	Alta	0.0888
	20 - 30	Media	
	< 20	Bassa	
pH	> 7	Alta	0.0585
	5.5 – 7	Media	
	< 5.5	Bassa	
CaCO ₃ (%)	> 15	Alta	0.0402
	7 - 15	Media	
	< 7	Bassa	
Raccolto (t/ha)	> 210	Alta	0.0277
	150 - 210	Media	
	< 150	Bassa	

Tabella 4. Peso di ciascun parametro di fertilità del suolo, da applicare nella procedura di overlay: i valori sono stati ricavati con la procedura “pair-wise comparison”.

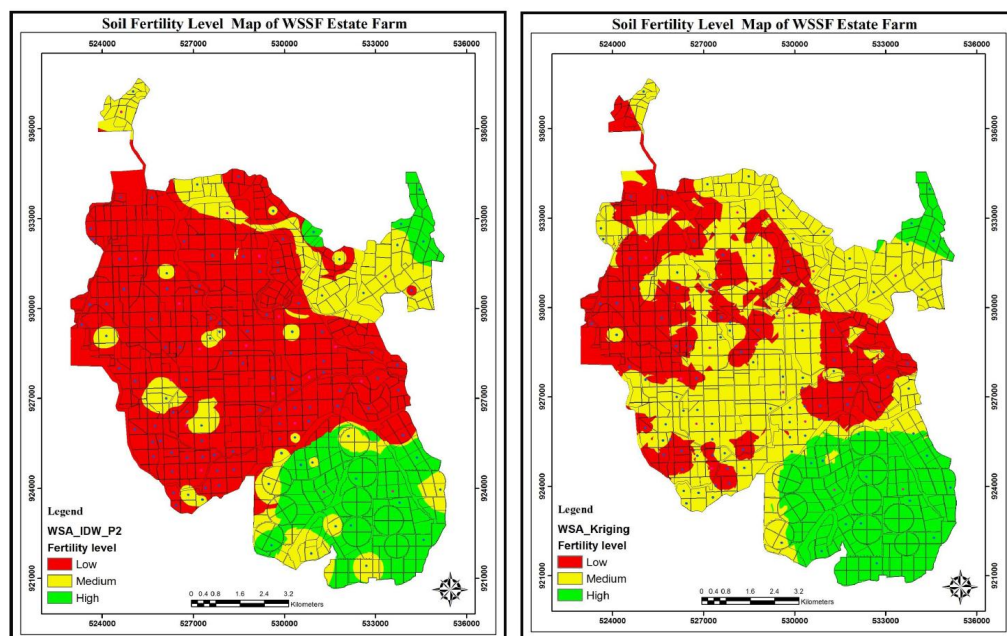


Figura 5. Mappe di valutazione della fertilità del suolo per la piantagione Wonji Shoa in Etiopia, ottenute per overlay delle mappe dei parametri di fertilità interpolati mediante IDW (a sinistra) e kriging (a destra).

Conclusioni

Nella presente comunicazione sono stati presentati i risultati di una procedura di valutazione del livello di fertilità del terreno per l'area della piantagione di canna da zucchero Wonji Shoa in Etiopia. A partire dai dati puntuali ottenuti campionando sul terreno della piantagione i valori di diversi parametri che influenzano la fertilità del suolo, si sono ottenute mappe di tali parametri attraverso diversi metodi di interpolazione: media pesata di tipo IDW (power 2 e power 3) e Kriging. Nei primi due casi non si sono evidenziati risultati significativamente differenti fra loro, mentre nel caso del Kriging i risultati differiscono dai precedenti e inoltre per la maggior parte dei parametri presentano valori dell'RMSE molto inferiori a quelli dell'interpolazione IDW. Le mappe interpolate così ottenute sono state sovrapposte con una procedura di *overlay*. I pesi da assegnare a ciascuno strato informativo sono stati calcolati in base al metodo del confronto a coppie fra parametri ("*pair wise comparison*"). Si sono così ottenute tre mappe (una per ogni metodo di interpolazione applicato) di valutazione della fertilità del suolo per l'area della piantagione in esame. I risultati sono praticamente gli stessi nel caso di IDW power 2 e IDW power 3, mentre differiscono significativamente nel caso del Kriging. Peraltro questo risultato è stato giudicato, a parere di esperti nel settore dell'agronomia, il più attendibile in base a una serie di considerazioni e valutazioni basate sull'esperienza e su altri fattori che non sono stati esaminati nel presente studio. Per quanto le procedure qui descritte siano di per sé semplici e non presentino spunti di ricerca innovativi, il loro interesse è notevole in quanto hanno riguardato un'area agricola di un Paese, quale l'Etiopia, nel quale non è abituale applicare in agricoltura procedure "di precisione" basate sulla misura aggiornata nel tempo e sulla successiva analisi quantitativa dei fattori che influenzano la fertilità del suolo e quindi il raccolto. E' auspicabile che questo tipo di pratiche possa essere presto adottata al più presto in tali aree in quanto consentirebbe di dosare l'apporto di fertilizzanti in maniera mirata, a seconda della zona trattata, evitando un apporto eccessivo che sarebbe dannoso al terreno stesso e alle colture e senza sprechi economici.

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare il Prof. Fabrizio Adani del Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia dell'Università degli Studi di Milano per l'interessamento, le proficue discussioni e i suggerimenti che ci ha fornito durante lo svolgimento di questo lavoro.

Riferimenti bibliografici

Burrough P. A., McDonnell R. A., (2000) *Principles of Geographical Information Systems*, Editore: Oxford University Press, New York, USA.

Cambardella C.A., KARLEN D.L. (1999). "Spatial Analysis of Soil Fertility Parameters", *Precision Agriculture*, 1, 5 - 14, Kluwer.

Doran J.W., Jones A.J. (1996). "Methods for assessing soil quality." *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, pp. 5-18.

Esilaba A.O., Reda F., Ransom J.K., Wondimu Bayu, Gebremehdin Woldewahid, Beyenesh Zemichael (2000). "Integrated nutrient management strategies for soil fertility improvement and Striga control in northern Ethiopia". *African Crop Science Journal*, Vol. 8, N. 4.

Geypens M., Vanongeval L., Nancy Vogels, Meykens J. (2000). "Spatial Variability of Agricultural Soil Fertility Parameters in a Gleyic Podzol of Belgium". *Precision Agriculture*, 1, 319 - 326, Kluwer.

Ruffeis D., Loiskandl W., Spendlingwimmer R., Schönerklee M., Awulachew S.B., Boelee E., Wallner K. (2008). "Environmental Impact Analysis of Two Large Scale Irrigation Schemes in Ethiopia", *IWMI Publications*, <http://publications.iwmi.org/pdf/H044103.pdf>

Saaty, T.L. (1977). "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures". *J. Math. Psychology*, 15: 234-281.

Stoorvogel, J.J., Smaling, E.M.A. (1990). "Assessment of Soil Nutrient Decline in Sub-Saharan Africa, 1983–2000". Win and Staring Centre-DLO: Wageningen.