

## Immagini Iperspettrali CASI per lo studio della sostanza organica nei suoli

Raffaella Matarrese (\*), Valeria Ancona (\*), Rosamaria Salvatori (\*\*),  
Maria Rita Muolo (\*\*\*), Vito Felice Uricchio (\*), Michele Vurro (\*)

(\*) Istituto di Ricerca sulle Acque – IRSA - CNR, viale De Blasio 5, Bari, +390805820540, +390805313365  
raffaella.matarrese@ba.irsa.cnr.it

(\*\*) Istituto sull'Inquinamento Atmosferico – IIA – CNR, Via Salaria Km 29,300 Monterotondo, (RM)  
+390690672451, +390690672660, salvatori@iia.cnr.it

(\*\*\*) SIT – Sistemi di Informazione Territoriale, srl, Piazza Giovanni Paolo II, 8, Noci (BA)  
+390804976098, info@sit-puglia.it

### Abstract

La conoscenza della quantità di carbonio organico nel suolo (SOM – Soil Organic Matter) può essere di notevole aiuto nel pianificare le attività per la gestione sostenibile dei sistemi agricoli finalizzate sia all'aumento della produttività sia alla riduzione del rischio di degrado ambientale (processi di desertificazione). Negli ultimi anni pertanto, sono state messe a punto diverse metodologie per il monitoraggio di questo parametro. Tra queste la spettroscopia nel visibile e vicino infrarosso, a scala di laboratorio, di campo e da remoto, si è rivelata uno strumento particolarmente efficace anche in relazione alle analisi chimiche tradizionali.

In questo lavoro, tramite acquisizioni iperspettrali da aereo effettuate con il sensore CASI 1500, è stata valutata l'efficacia del telerilevamento nel monitoraggio del SOM. A tal fine due sorvoli hanno permesso di ottenere immagini pre e post trattamento di un sito degradato (con ridotto contenuto di SOM) in provincia di Taranto, arricchito in sostanza organica (spandimento di compost).

Contestualmente ai sorvoli, sono state effettuate misure radiometriche al terreno e sono stati prelevati campioni di suolo successivamente analizzati in laboratorio per il contenuto in SOM.

Dalla correlazione tra le analisi chimiche, la radiometria di campo e la classificazione delle immagini è stata prodotta una mappa tematica che rappresenta la distribuzione della concentrazione di SOM nel sito di indagine. I risultati preliminari sono incoraggianti e mostrano una risposta significativa della metodologia utilizzata nel rilevare carbonio organico nel suolo, suggerendo che le tecniche di telerilevamento possono rappresentare uno strumento e adeguato per il monitoraggio del SOM rapido ed efficace su scala locale.

### Abstract

Soil organic matter (SOM) plays an important role in soil quality definition. In fact, SOM decline is one of the most relevant land degradation processes. Therefore, an innovative methodology able to monitoring this soil property, collecting data more rapidly and economically, is needed. In this regard, remote sensing technique can open new scenarios of research. In particular, few studies have shown the capability to accurately determine SOM contents from airborne-hyperspectral sensors. With this work we demonstrate that is possible to evaluate the Soil Organic Carbon in a test site in Apulia Region, Italy, through hyperspectral measurements by the airborne sensor CASI 1500, achieving very promising results.

### Introduzione

I suoli sono molto importanti nel determinare il ciclo di carbonio. Il carbonio organico contenuto nel suolo è la componente maggiore del carbonio terrestre (> 1500 Gt C) (Lal, Kimble, 1997),

(Batjes, 1996). La conoscenza della quantità di carbonio organico del suolo e i suoi cambiamenti possono essere di notevole supporto per pianificare opportuni sistemi di gestione della risorsa suolo, al fine di aumentarne i livelli, incrementare la produttività e la sostenibilità dei sistemi agricoli e di ridurre il rischio di fenomeni di degrado ambientale quali, impoverimento di sostanza organica e la desertificazione.

Negli ultimi anni, pertanto, per monitorare tale parametro di qualità del suolo sono state messe a punto diverse metodologie; tra queste, la spettroscopia nell'infrarosso visibile e vicino, che potrebbe essere espletata in laboratorio, sul campo o mediante telerilevamento, si è rivelata un sistema efficiente che fornisce un'alternativa alle tradizionali analisi chimiche ed incrementa il numero di dati acquisiti (Stevens et al, 2008), (Stevens et al., 2006), (Ancona et al., 2013), (Ancona et al., 2012).

Il telerilevamento sta diventando quindi un nuovo strumento non solo per caratterizzare i suoli, ma anche per il monitoraggio dinamico dei processi e dei cambiamenti indotti sulle sue proprietà fisico-chimiche. Le immagini iperspettrali hanno una risoluzione spettrale tale da evidenziare i picchi di assorbimento diagnostici di specifiche proprietà, (Ben-Dor, 2002), (Kopačková, 2014). Lo scopo di questo lavoro è quello di presentare uno studio preliminare per valutare l'efficacia della tecnica di monitoraggio del carbonio organico mediante immagini telerilevate da aereo con il sensore iperspettrale CASI.

Il CASI 1500, prodotto da Itres Research Ltd. è un sensore iperspettrale pushbroom, in grado di acquisire fino a 288 bande spettrali nell'intervallo dal visibile all'infrarosso vicino, in particolare da 380 nm a 1050 nm, raggiungendo un altissima risoluzione spettrale (fino a 2,4 nm). Ha un campo di vista di 40 gradi con 1500 across track pixel. Raggiunge risoluzioni spaziali anche di 20 cm, con risoluzione radiometrica di 14 bit e una velocità di trasferimento dati 9.6 Mpix / sec. Il sensore CASI è stato installato a bordo di un aereo bimotore, ad ala fissa, munito di una botola certificata. La configurazione spettrale selezionata ha previsto l'acquisizione di 96 canali, equidistanti su tutto l'intervallo spettrale e con una risoluzione spaziale di 50 cm.

### **Materiali e metodi**

Per questo studio è stato identificato un sito degradato (impoverito di carbonio organico) a Fragagnano, Provincia di Taranto (figura 1), nella Regione Puglia, di cui sono state acquisite diverse immagini con il sensore iperspettrale (CASI 1500). Le immagini del sito di studio sono state acquisite a settembre 2012 e giugno 2013. La prima indagine è stata effettuata per caratterizzare il terreno non trattato. Nel febbraio 2013, su una parte del sito è stato aggiunto compost (12,7 t oltre 5180 m<sup>2</sup>), al fine di promuovere l'incremento del carbonio organico del suolo. A Giugno 2013 è stata effettuata una seconda aggiunta di compost (5,4 t oltre 400 m<sup>2</sup>) per incrementare ulteriormente le concentrazioni di carbonio ed eventualmente evidenziare, i cambiamenti nelle firme spettrali per le diverse concentrazioni di carbonio organico. Il secondo sorvolo è stato effettuato il giorno dopo la seconda aggiunta di compost, nel giugno 2013. Nella figura 2 è possibile riconoscere l'area su cui è stato effettuato lo spandimento di ammendante organico (compost).

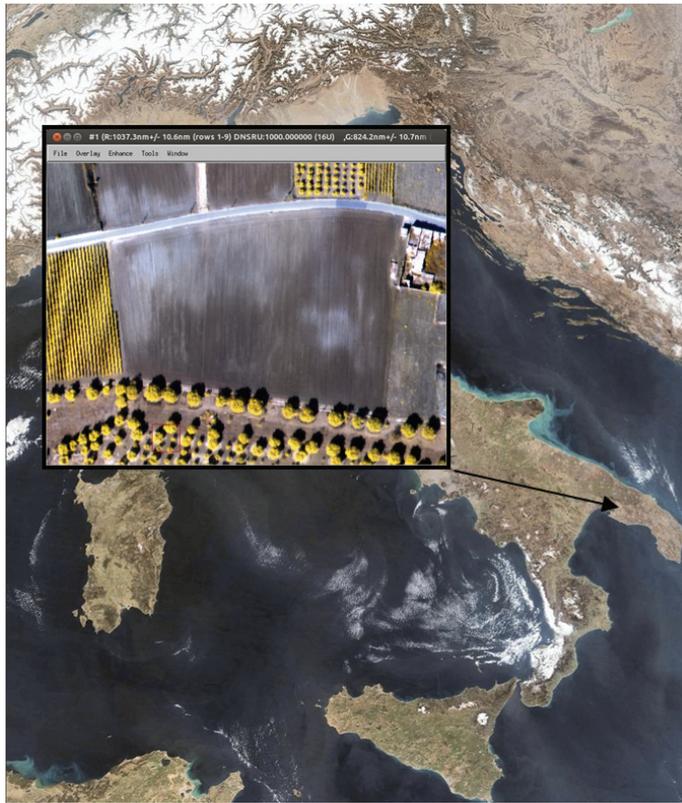


Figura 1 - Area di studio: Fragagnano (TA). Nel riquadro, l'immagine CASI acquisita nel settembre 2012.

Prima di ogni campagna, il sito test è stato arato e tutta la vegetazione rimossa. Nel sito indagato, per ogni campagna, sono stati raccolti circa 20 campioni di top-soil al fine di determinarne: tessitura, pH, sostanza organica del suolo (SOM), azoto totale, fosforo disponibile e contenuto in carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ). Ciò ha permesso di caratterizzare e monitorare le proprietà del suolo nella zona di studio, prima e dopo il trattamento con il compost. In particolare, le analisi chimiche di carbonio organico sono state impiegate per convalidare le informazioni spettrali acquisite dal sensore CASI relativamente al contenuto in carbonio.

In ogni campagna di indagine, per misurare le proprietà di riflettanza spettrale del suolo, nell'intervallo tra 350-2500 nm, è stato utilizzato uno spettrometro portatile (ASD-Fieldspec 3). Sono state, inoltre, acquisite, e georeferite, le firme spettrali degli asfalti presenti nei pressi del sito di indagine.

Le immagini RAW sono state pre-elaborate con una procedura standard che consiste nella calibrazione geometrica del dato e nella calibrazione radiometrica dello stesso. Tutte le immagini sono state orto-rettificate e georeferite in UTM, WGS84, Zona 33N.

Le immagini acquisite a settembre 2012 e giugno 2013, sono state corrette atmosfericamente e trasformate da radianza in riflettanza tramite il metodo dell'"Empirical line" (Harris T.), basato sull'utilizzo delle firme spettrali degli asfalti acquisite durante le campagne di misura.

Sulla base delle coordinate GPS, acquisite nei punti di campionamento a terra, è stata estratta dalle immagini la firma spettrale dei pixel corrispondenti.

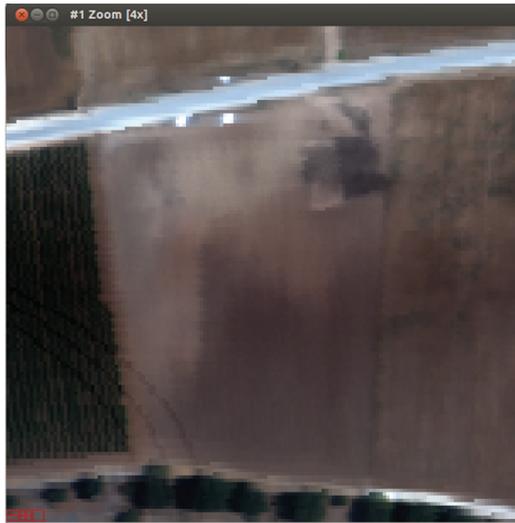


Figura 2 - Immagine CASI dell'area di studio acquisito nel Giugno 2013. Il compost aggiunto il giorno prima è ben visibile nella area nord est della figura.



Figura 3 - Firma spettrale acquisita dal CASI per un pixel relativo ad un campione di terreno ricco in SOM.

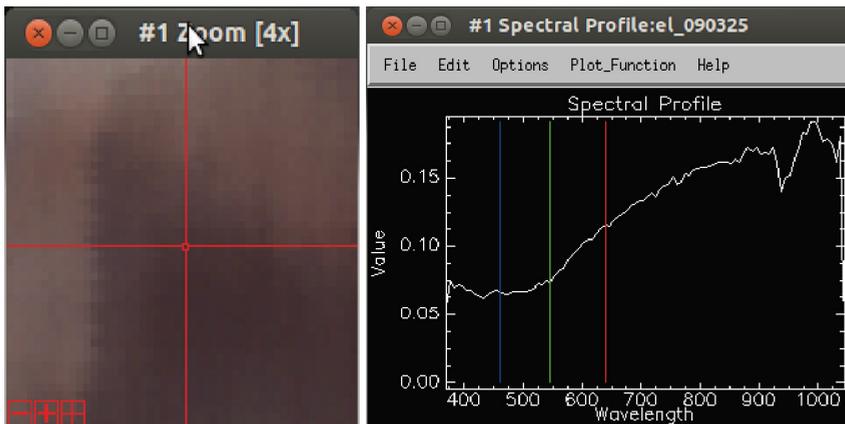


Figura 4 - Firma spettrale acquisita dal CASI per un pixel relativo ad un campione di terreno povero in SOM.

L'analisi degli spettri dei campioni di terreno con differente contenuto di SOM, ha evidenziato una variazione nella concavità nell'intervallo da 600nm a 750nm, come si evince dalle figure 3 e 4. Tale comportamento ha suggerito di effettuare un'analisi di forma sugli andamenti spettrali dei dati, compiendo indagini sulla derivata seconda delle firme.

La figura 5 mostra la correlazione trovata tra il valore della derivata seconda relativo alla lunghezza d'onda di 632 nm e il corrispondente valore di SOM misurato in laboratorio. La linearità della relazione è corroborata dal valore  $R^2$  pari a 0.84.

L'equazione lineare individuata in tal modo è stata applicata all'intera estensione dell'area di studio per ottenere una mappa rappresentante la distribuzione della concentrazione di SOM superficiale del campo (Figura 6).

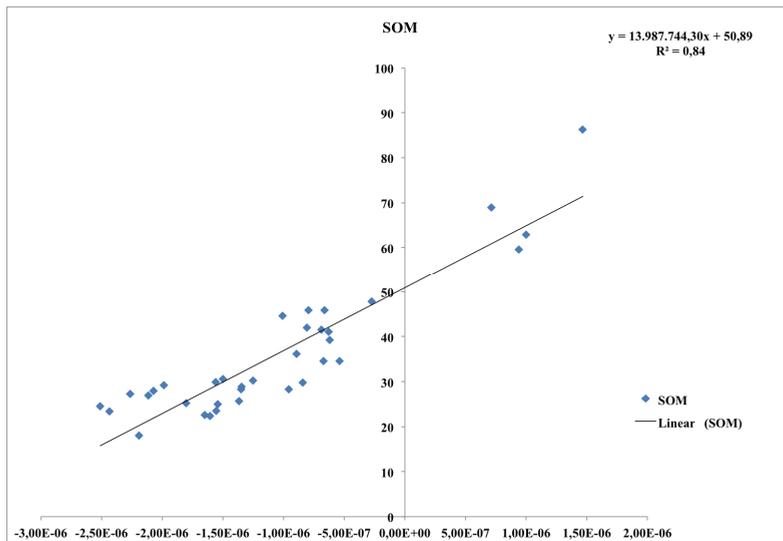


Figura 5 - Regressione lineare tra il valore della derivata seconda a 632nm ed il corrispondente contenuto di SOM.

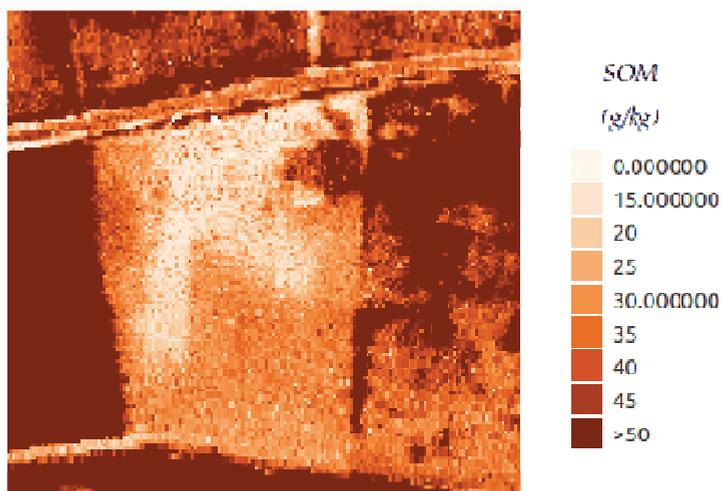


Figura 6 - Mappa di Soil Organic Matter per il sito di indagine a Giugno 2013.

### Risultati e conclusioni

Sebbene in letteratura, la SOM influenza principalmente il segnale nello SWIR, in questo lavoro le analisi preliminari hanno mostrato una significativa risposta del sensore iperspettrale CASI-1500, nella rilevazione carbonio organico del suolo tra i 600 ed i 750nm.

Il presente lavoro evidenzia una forte dipendenza della risposta spettrale dei campioni analizzati relativamente al contenuto di carbonio organico. È stato individuato un algoritmo locale utile per quantificare i valori di sostanza organica. Tale risultato suggerisce che il telerilevamento nel VNIR potrebbe essere un metodo utile e adatto per un monitoraggio della SOM rapido ed efficace su scala locale.

I risultati ottenuti sono incoraggianti e pongono la base per lo sviluppo di una procedura per il controllo preciso, riproducibile, innovativo e più economico dei metodi tradizionali nell'individuazione dei livelli di carbonio organico nei suoli.

### Ringraziamenti

Lo studio è stato realizzato nell'ambito del progetto Save Our Soil - SOS, finanziato dalla Regione Puglia. Gli autori desiderano ringraziare il "Associazione dei Consorzi di Difesa della Puglia (ASSOCODIPUGLIA)" per il sostegno a identificare i siti di indagine. Siamo grati allo staff della SIT srl (Noci, Italia) per il supporto operativo nei voli di acquisizione con CASI, oltre che A. Calabrese e VN Palmisano (IRSA-CNR) e P. Carmignano (Codita - Taranto) per la loro collaborazione fondamentale durante le acquisizioni di campo.

### Riferimenti bibliografici

- Ancona V., Salvatori R., Salzano R., Calabrese A., Uricchio V.F. (2013), "Local scale application of soil proximal sensing: portable spectroscopy analyses for soil quality assessment," *Proceedings of 3rd Global Workshop on Proximal Soil Sensing*, Bornimer Agrartechnische Berichte 82, pp. 231-235.
- Ancona V., Matarrese R., Salvatori R., Abbruzzese P., Uricchio V.F. (2012), "Soil organic matter monitoring on local scale by airborne imaging spectroscopy: a case study in Apulia land", *Book of Abstracts of the 4th International Congress EUROSIL 2012 "Soil Science for the benefit for mankind and environment"*, Bari, Italy, pp.1212.
- Batjes N.H. (1996), "Total carbon and nitrogen in the soils of the world," *European Journal of Soil Science*, 47, pp. 151-163.
- Ben-Dor E. (2002), "Quantitative remote sensing of soil properties," *Advances in Agronomy*, 75, pp. 173-243.
- Harris T. "Ground Truth for Calibrating Optical Imagery to Reflectance," Whitepaper, ITT, Visual information Solution, pp. 1–8, [www.ittvis.com](http://www.ittvis.com).
- Kopačková V., Mišuec J., Lhotáková Z., Oulehle F., Albrechtová J. (2014), "Using multi-date high spectral resolution data to assess the physiological status of macroscopically undamaged foliage on a regional scale," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 27, pp. 169–186.
- Lal R., Kimble J.M. (1997), "Conservation tillage for carbon sequestration," *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49 (1–3), pp. 243– 253.
- Stevens A., Van Wesemael B., Bartholomeus H., Rosillon D., Tychon B., Ben-Dor E. (2008), "Laboratory, field and airborne spectroscopy for monitoring organic carbon content in agricultural soils," *Geoderma* 144, pp. 395-404.
- Stevens A., Van Wesemael B., Vandenschrick G., Touré S., Tychon B. (2006), "Detection of Carbon Stock Change in Agricultural Soils Using Spectroscopic Techniques," *Soil Sci. SOM. Am. J.* 70, pp. 844–850.