

SOIL MAPPER: classificatore spettrale completamente unsupervised per immagini HR e VHR.

Andrea BARALDI (*), Stefano NATALI (**), Virginia PUZZOLO (*)

(*) JRC-Joint Research Center – Ispra (VA)
(**) MEEO S.n.c. San Giovanni di Ostellato - Ferrara

Abstract

Negli ultimi anni si sta assistendo ad un incremento esponenziale della quantità dei dati satellitari disponibili per il monitoraggio del sistema terra-atmosfera: questo è dovuto sia all'aumento del numero di sensori in volo, sia soprattutto al miglioramento delle caratteristiche geometriche, spettrali e temporali di ogni singolo sensore. In questo scenario, la sfida maggiore è legata alle capacità di estrarre il più alto contenuto informativo dalla grande quantità di dati disponibili, permettendo di sintetizzare il dato e ridurre tutte le operazioni successive. Per quanto riguarda il settore specifico del monitoraggio e della classificazione del suolo, lo sviluppo di nuovi metodi di analisi deve considerare il giusto compromesso fra la risoluzione al suolo dell'immagine e le possibilità radiometriche del sensore utilizzato e non può, ad oggi, prescindere dall'intervento umano.

Il metodo proposto nel presente lavoro è chiamato SOIL MAPPER, ed è un sistema di classificazione del suolo completamente unsupervised sviluppato da MEEO in collaborazione con il Joint Research Centre di ISPRA, Varese. Il sistema, che utilizza immagini HR e VHR multispettrali, si basa su un metodo di classificazione modulare e gerarchico, adattivo sulle caratteristiche dell'immagine. SOIL MAPPER genera un set di strati consistenti con le classi di copertura del suolo proposte ai livelli I e II dello schema di classificazione USGS.

Il metodo è molto utile sia come classificatore del suolo, sia come metodo di analisi preliminare. Come classificatore permette di identificare diverse categorie spettrali (fino a 72) fra le quali vegetazione attiva, erbacee, suolo scoperto, aree urbane, aree coperte da serre, pit bogs (torbiere), nubi, neve, ghiaccio, diverse coperture d'acqua e gestisce le aree non classificate.

Come metodo di analisi preliminare si presta ad essere utilizzato per ogni analisi il cui dominio di applicazione possa essere identificato come uno strato o un gruppo di strati; inoltre, date le caratteristiche di assoluta automaticità, viene applicato ad ampi database di dati satellitari e permette di realizzare query semantiche e semantico-geografiche avanzate. Ulteriori applicazioni si possono trovare nei metodi di analisi multi-criteria, ed in particolare nella analisi multitemporali.

Una valutazione quantitativa delle prestazioni realizzate sul centro Italia ha fornito una attendibilità del 98% su una mappa binaria vegetazione/non vegetazione.

In recent years the satellite-based data for the Earth-Atmosphere system monitoring has increased exponentially, due to the increase of number of dedicated sensors, but mainly due to the improvement of the spectral, temporal and geometric observation characteristics of each sensor. In this frame, one of the most prominent challenge is to develop tools able to extract the highest possible information content reducing redundant layers and simplifying successive operations at the same time. In the specific field of soil monitoring and classification, the development of new methods must fit with the best compromise between the image resolution and the radiometric capability of the used sensor, and absolutely need the human interface.

In this paper a fully unsupervised rule-based spectral categorization system named SOIL MAPPER is presented. SOIL MAPPER has been developed by MEEO and Joint Research Centre, ISPRA,

Varese; SOIL MAPPER is based on a robust hierarchic and adaptive spectral categorization system that works on High Resolution (HR) and Very High Resolution (VHR) multispectral images, and generates a set of 72 layers/strata consistent with Level I and Level II USGS land cover classification.

SOIL MAPPER output maps can be used as classified maps as well as preliminary “Baseline” maps for successive applications; as a classification system SOIL MAPPER allows identifying up to 72 classes like different types of vegetation, herbaceous types, bare soil types, urban areas, greenhouses, pit bogs, clouds, snow, ice, shadows, water types and unclassified areas.

As a Baseline Map (BM) generator SOIL MAPPER allows drastically reducing the analysis domain for algorithms focused on specific areas like urban areas, bare soil areas and so on. Since the method is fully unsupervised it can be routinely applied to large databases in order to realise semantic and semantic geographic query. Further applications can be found on the multi-criteria analysis domain, and in particular for multitemporal analysis.

A qualitative and quantitative assessment of SOIL MAPPER performance has been realised over the entire Italian Territory: quantitative assessment has been performed on regional areas where binary vegetation/non vegetation maps has obtained a 98% score without any human supervision.

Il sistema di classificazione

SOIL MAPPER è un sistema di elaborazione di immagini satellitari multispettrali che permette di generare mappe classificate del suolo in modo completamente automatico e senza la supervisione umana.

Inizialmente il sistema è stato concepito per fornire mappe di copertura del suolo basate su dati Landsat, tuttavia l'interesse riscontrato durante le prime dimostrazioni ha ampliato gli scenari d'impiego suggerendo, come ulteriori sviluppi, l'estensione dell'algoritmo modulare basato su regole gerarchiche ad altre piattaforme satellitari con la conseguente possibilità di ampliare e diversificare i contenuti informativi generati.

Il risultato dell'elaborazione di SOIL MAPPER è un'immagine con le stesse caratteristiche geografiche dell'immagine d'origine (georeferenziazione e risoluzione) con ciascun pixel classificato e quindi assegnato in maniera univoca ad una delle 72 classi spettrali così suddivise: vegetazione, suolo nudo, aree urbane, superfici d'acqua, nubi, rocce, ghiacci e nevi, classe indeterminata (in caso di incertezza sulla classe da assegnare il pixel viene indeterminato).

Piattaforme satellitari utilizzabili

Attualmente le tipologie di dati su cui è possibile utilizzare SOIL MAPPER sono i sensori Landsat 5 TM e Landsat 7 ETM, ASTER e SPOT 5.

Tuttavia è possibile ridisegnare il metodo d'analisi applicando l'algoritmo ad altri sensori multispettrali quali ad esempio MODIS.

Valutazione delle prestazioni

Una prima valutazione delle prestazioni di SOIL MAPPER è avvenuta in occasione di un progetto del centro di ricerca dell'Unione Europea Joint Research Centre (JRC) con sede a Ispra (Va), Italia. Nel progetto JRC-INFOREST (no. TGRS-2005-00349, accettato come pubblicazione in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*) sono stati raccolte sia accurate misurazioni effettuate al suolo sia una serie di immagini Landsat. Tramite questi dati, è stata generata una mappa di classificazione binaria Vegetazione/Non vegetazione basata su una scena Landsat ETM+ acquisita il 3 Agosto 2001. Nell'ambito di questa classificazione binaria SOIL MAPPER è stato testato per pre-elaborare l'immagine Landsat di partenza fornendo una partizione binaria della superficie in superficie vegetata e superficie non vegetata. L'accuratezza di questa partizione binaria è stata valutata grazie ad un data set di riferimento di 500 punti campione geolocati forniti da un semplice campionamento casuale su un mosaico di 45 ortofoto pancromatiche acquisite ad 1 metro di risoluzione durante una campagna aerea del 1998.



Figura 1. Immagine landsat ETM+ ortoretificata e calibrata (in falsi colori, RGB = bands 541) dell'area di test situata in centro Italia. Data di acquisizione: 3 Agosto, 2001. dimensioni dell'immagine: 6999 × 8065 pixels.



Figure 2. Mappa generata dal sistema basato su regole spettrali applicate all'immagine ETM+ mostrata in Fig. 1. I pixels di superficie vegetata sono in differenti tonalità di verde, gli elementi d'acqua sono in blu, il suolo nudo è marron mentre le aree edificate sono grigie.

I risultati del confronto descritto mostrano un'accuratezza pari al $98.2\% \pm 0.0\%$, vedi tabella 1.

Spectral type	Test set cardinality	Class-specific testing accuracy $\pm$ error tolerance δ	Testing OA $\pm$ error tolerance δ	Testing Kappa coefficient in [-1, 1]
Vegetation spectral types (V)	398	$99.2 \pm 0.0 \%$	$98.2\% \pm 0.0\%$	0.94
Nonvegetation spectral types (NV)	102	$94.1 \pm 0.0 \%$		
Tot.	500			

Tabella 1. Accuratezza della classificazione binaria vegetazione/non vegetazione basata sulle regole spettrali.

Ulteriori validazioni e test sono stati effettuati confrontando le immagini classificate con diversi riscontri al suolo. Tra quelli più significativi mostriamo una valutazione effettuata su una zona dell'Emilia-Romagna sovrapponendo i file vettoriali CORINE forniti dal servizio cartografico della regione (figura 3). I poligoni vettoriali delle classi CORINE, inizialmente sovrapposti con il rispettivo colore identificativo di ogni classe, sono stati uniformati nel colore bianco per renderli più evidenti. E' infatti possibile apprezzare come molti dei contorni CORINE siano perfettamente identificati dalle classi di SOIL MAPPER

Applicazioni

Query Semantiche e Semantico-Geografiche

I dati satellitari raccolti, come accennato nell'abstract, hanno raggiunto dimensioni impensabili. Ciò è da considerarsi sicuramente come un fatto positivo sia per la comunità scientifica sia per le istituzioni pubbliche e private che utilizzano questa tecnologia, tuttavia rende anche sempre più

difficoltoso l'accesso al dato e la conseguente individuazione di quelle immagini realmente utili secondo gli scopi specifici.

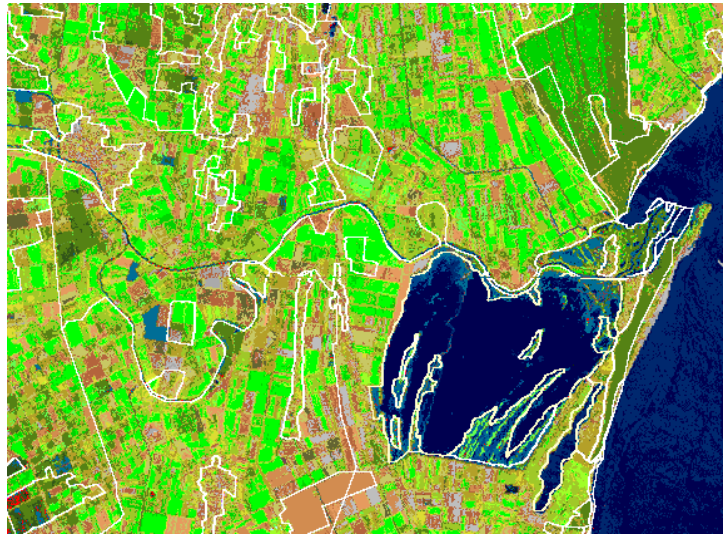


Figura 3. Mappe vettoriali di uso del suolo fornite dalla regione Emilia-Romagna sovrapposte ad un immagine classificata con SOIL MAPPER.

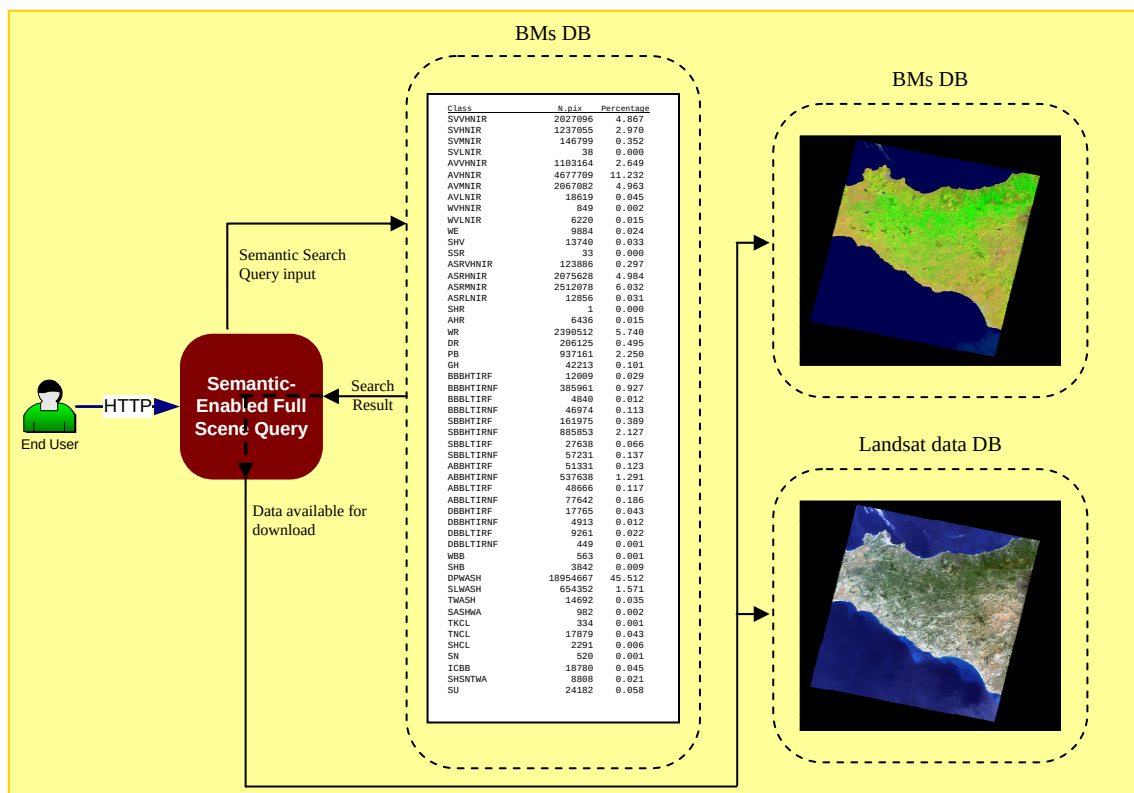


Figura 4. Selezione di scene attraverso query semantiche.

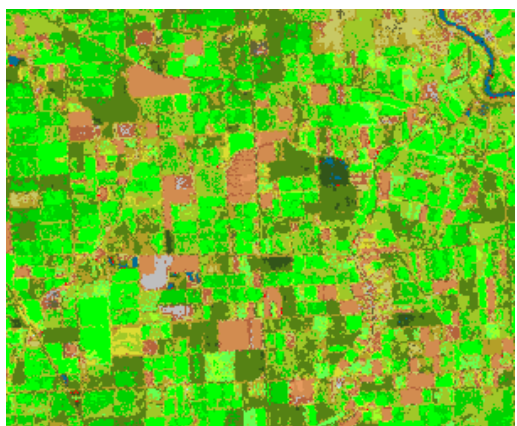
SOIL MAPPER ha, come risultato dell'elaborazione, un'immagine classificata secondo le classi spettrali descritte in precedenza, tuttavia le stesse informazioni su quanti pixel di vegetazione o di aree urbane sono state individuate possono essere raccolte in un metafile descrittivo dell'immagine elaborata. A questo punto se un end-user ha necessità di un immagine di una zona definita che abbia o meno copertura nuvolosa o che sia ricoperta da almeno il 60% di vegetazione, è possibile interrogare in modo estremamente i metafile individuando così l'immagine cercata (figura 4).

Applicazioni multitemporali

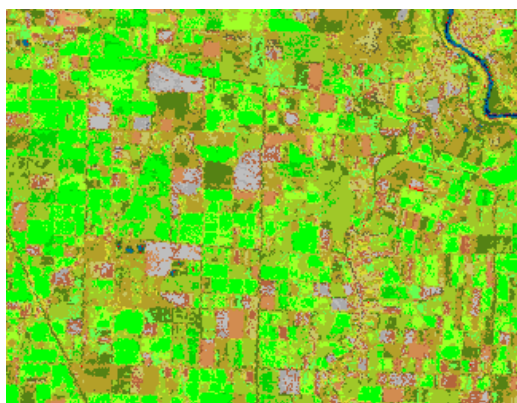
Il risultato dell'elaborazione effettuata con SOIL MAPPER è una mappa di copertura del suolo, tuttavia attraverso un'elaborazione multitemporale delle mappe classificate è possibile estendere il risultato iniziale dalla copertura del suolo all'uso del suolo. Infatti introducendo regole opportune ad una successione cronologica di immagini elaborate è possibile individuare nuovi contenuti informativi. Un esempio piuttosto significativo riguarda l'individuazione di risaie (figura 5), le immagini prese singolarmente in diversi periodi dell'anno (maggio, luglio, settembre) mostrano in successione specchi d'acqua con forma geometrica successivamente sostituiti da aree verdi e ancora da suolo nudo. È facile intuire che si tratta di risaie ed è altrettanto facile concepire regole da inserire in un'elaborazione tale da classificare, ancora una volta in modo totalmente automatico, quell'area come risaia. E possibile considerare il passaggio da copertura del suolo ad uso del suolo come un layer informativo derivato dalla successiva elaborazione multitemporale da sovrapporre all'immagine classificata.



a) Immagine Landsat classificata con SOIL MAPPER acquisita il giorno 20 Giugno 2000. L'immagine rappresenta una zona completamente coltivata.



b) Immagine Landsat classificata con SOIL MAPPER acquisita il giorno 6 Luglio 2000; l'immagine rappresenta la stessa zona di a).



c) Immagine Landsat classificata con SOIL MAPPER acquisita il giorno 16 Agosto 2000; l'immagine rappresenta la stessa zona di a) e b).

Figura 5. Esempio di analisi multitemporali applicate ad immagini Landsat classificate tramite SOIL MAPPER.

Riclassificazioni tematiche

Le 72 categorie spettrali possono sembrare eccessive e poco pratiche soprattutto se intese alla gestione territoriale, tuttavia è proprio la discriminazione di un elevato numero di classi che rende il sistema SOIL MAPPER applicabile dagli ambiti agricoli a quelli catastali. Partendo dalle 72 categorie spettrali è possibile ridurre il numero di classi al solo contenuto informativo richiesto accorpando, ad esempio, le classi vegetative e mantenendo la totalità delle aree urbane. Questo processo di post-elaborazione può rendere sicuramente il sistema di classificazione accessibile anche ad utenti meno esperti, tuttavia si tratta di un'implementazione che va configurata in relazione alle esigenze dell'end-user.

Applicazioni come Baseline Maps

Qualunque studio o applicazione che preveda l'impiego di dati satellitari necessita di dati pregressi riguardo alla tipologia di terreno sul quale si sta effettuando l'acquisizione. Infatti, in molti casi, la riflettività del terreno risulta essere un dato fondamentale da inserire nei modelli di retrieval di parametri e nei modelli di transfer radiativo e spesso si tratta di un parametro assegnato a priori sulla base di conoscenze pregresse più o meno precise. In molti di questi casi SOIL MAPPER, tramite le mappe di copertura del suolo che è in grado di generare, può fornire precise indicazioni sul tipo di terreno su cui l'immagine in esame è stata acquisita consentendo di parametrizzare con maggior precisione la riflettività di fondo. Questo è solo un esempio di come le mappe generate da SOIL MAPPER possano essere accorpate come descritto nella sezione precedente ed utilizzare per limitare il campo di analisi di future applicazioni (studio di aree industriali, studio di aree di suolo nudo, ecc ...).

Conclusioni

Riteniamo che SOIL MAPPER, a suo modo, costituisca una piccola rivoluzione nell'ambito dei sistemi di elaborazioni di immagini satellitari. Fino a questo momento i sistemi di manipolazione delle immagini satellitari sono stati impiegati per modificare i dati acquisiti in modo da renderli più facilmente interpretabili, SOIL MAPPER, essendo completamente unsupervised, va oltre questo stadio di analisi fornendo direttamente l'interpretazione.

Gli sviluppi futuri per questo sistema sono molteplici, infatti l'Agenzia Spaziale Europea ha dimostrato un forte interessamento sia per il software di elaborazione sia per gli aspetti concettuali dell'algoritmo che costituisce il cuore del sistema. E' infatti possibile estendere l'applicazione, oltre che ai sistemi satellitari, a tutti quei campi che fanno dell'interpretazione delle immagini un aspetto cruciale.

Bibliografia

A. Baraldi, V. Puzzolo, P. Blonda, L. Bruzzone, C. Tarantino (2005), "Automatic spectral rule-based preliminary mapping of calibrated Landsat TM and ETM+ images", To be re-submitted for consideration of publication in *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*.