

## Estrazione e classificazione di aree asfaltate da immagini MIVIS

Alessandro Mei, Rosamaria Salvatori, Alessia Allegrini

CNR-Ist. Sull'Inquinamento Atmosferico, Via Salaria Km 29,300 , 00015 Monterotondo stazione  
Tel.0690672636, fax 0690672660, email;mei@iia.cnr.it.

### Riassunto

Le superfici asfaltate rappresentano una porzione consistente delle aree urbane e grazie alla loro bassissima risposta spettrale e alle loro peculiarità geometriche sono facilmente riconoscibili sulle immagini telerilevate già in fase di foto interpretazione. La possibilità di classificare tali superfici in funzione della loro composizione chimico-fisica e delle loro condizioni di usura rappresenta, però, una chiave di lettura importante per il monitoraggio delle aree urbane.

Il presente lavoro propone un approccio metodologico per l'estrazione delle aree asfaltate da un'immagine MIVIS e per la loro successiva classificazione in base alle firme spettrali degli asfalti, rilevate in campo con spettrometro portatile (Fieldspec 3 – ADS) e organizzate in un *database*. L'analisi dei valori di riflettanza delle bande 2 e 16 (rispettivamente  $\lambda=0.46\mu\text{m}$  e  $\lambda=0.74\mu\text{m}$ ) ha permesso di estrarre dall'immagine le aree asfaltate e di calcolare il valore soglia da utilizzare nella classificazione. Le prime 28 bande del MIVIS sono state sottoposte ad una analisi MNF e le prime 9 componenti così ottenute sono state classificate con il metodo del Spectral Angle Mapper. Questo approccio metodologico ha permesso di ottenere una cartografia completa delle aree asfaltate, identificando sulle immagini le diverse tipologie di asfalti riconosciute al terreno.

### Abstract

*Paved surfaces represent a significant portion of urban areas and because of their low spectral response and their particular geometric characteristics are easily recognizable on the images already during photo interpretation process. The ability to classify these surfaces according to their chemical-physical composition and their state of alterations is, however, an important tool for the monitoring of urban areas. This paper proposes a methodology for extracting paved areas by a MIVIS image and for their classification using spectral signatures of asphalt, measured in field with a portable spectroradiometer and organized in a database. The analysis of the reflectance values of band 2 and 16 (respectively  $\lambda = 0.46\mu\text{m}$  and  $0.74\mu\text{m}$ ) allowed the extraction of the paved areas and the calculation of the threshold value for the subsequent classification. The first 28 MIVIS bands were processed with MNF analysis and the first 9 components thus obtained were classified by the Spectral Angle Mapper method. This methodological approach has resulted in a complete mapping of paved areas, identifying on the image, the different types of asphalt recognized on the ground.*

### Introduzione

Le aree urbanizzate sono caratterizzate da una molteplicità di superfici le cui caratteristiche spettrali sono state studiate solo parzialmente sia per il loro scarso valore naturalistico sia per le loro estreme parcellizzazioni rispetto alla risoluzione spaziale delle immagini multispettrali satellitari. In un'area urbana, ad esempio, le superfici asfaltate, pur rappresentando una percentuale notevole dell'area stessa, possono essere poco individuabili perché coperte da veicoli o da alberi che bordano i viali. Se però si utilizzano immagini iperspettrali riprese da sensori aerei e quindi immagini con alta risoluzione sia spaziale che spettrale, questi materiali assumono un'importanza diversa e diventa quindi di grande interesse conoscerne le proprietà radiometriche per una corretta interpretazione dei dati ripresi. (Ben-Dor, 2001; Heiden et al., 2001a; Roberts & Herold, 2004).

Anche su immagini iperspettrali, le tipologie di materiali che costituiscono il tessuto urbano sono difficili da discriminare per l'estrema variabilità interna alle classi di superfici da riconoscere. Ciò è dovuto a molteplici fattori tra cui lo stato di conservazione, le patine di alterazione, le condizioni di illuminazione al momento della ripresa delle immagini (Heiden et al., 2005; Lacherade et al., 2005). Pertanto il processo di individuazione dei *training set* o degli *endmember* da usare nelle procedure di classificazione; diviene particolarmente impegnativo; si deve quindi far ricorso a complesse procedure di *image processing* integrate dalla analisi delle caratteristiche spettrali di dati di campo o di laboratorio (Heiden et al 2007).

Una delle superfici caratterizzanti le aree urbanizzate è l'asfalto. L'identificazione delle diverse tipologie di asfalti presenti sul territorio può rivestire una notevole importanza per l'osservazione delle aree urbanizzate anche in termini di monitoraggio dell'usura e del dissesto stradale.

La riflettenza spettrale degli asfalti infatti, pur essendo complessivamente estremamente bassa, alle lunghezze d'onda del visibile e dell'infrarosso vicino, è funzione della quantità di bitume e dalla natura degli inerti presenti. I valori di riflettenza degli asfalti sono prossimi a zero quando questi sono stati appena messi in posto ma aumentano con il processo di raffreddamento del bitume e soprattutto con l'usura della superficie dovuta al transito degli autoveicoli. Con la comparsa di, fratture e crepe, che portano allo scoperto il sottofondo stradale, la risposta radiometrica delle superfici subisce sostanziali cambiamenti riconoscibili sia in campo che nelle immagini satellitari (Herold e Roberts 2005, Herold et al.2008, Salvatori et al.2009, Preparo e Rigetti 2005).

Il presente lavoro propone una procedura per l'estrazione semi-automatica da un'immagine iperspettrale delle superfici asfaltate e per la loro successiva classificazione.

### **Metodologia**

Per lo svolgimento di questo lavoro è stata scelta un'immagine iperspettrale MIVIS, con risoluzione spaziale di 3mx3m, nella quale ricadono aree residenziali, assi viari di vario tipo, aree di cantiere, industriali e commerciali. L'area di indagine è situata nella regione Campania e copre una superficie di circa 88 km<sup>2</sup>.

Contemporaneamente all'acquisizione da remoto è stata effettuata una campagna di misure spettro-radiometriche al terreno, utilizzando uno spettroradiometro portatile (Fieldspec 3-ADS) che opera nell'intervallo spettrale 0.35-2.5  $\mu$ m. Il rilievo dei dati di campo è stato effettuato seguendo le indicazioni presenti in Salvatori et al.(2009) che hanno consentito di corredare le firme spettrali con informazioni ancillari descrittive delle tipologie di asfalti analizzati. I dati radiometrici e le informazioni ancillari sono stati poi inseriti in un *database*. Sulla base degli spettri di campo, le prime 28 bande dell'immagine MIVIS, corrispondenti all'intervallo spettrale dei dati di campo, sono state calibrate radiometricamente, applicando il metodo dell'*empirical line* implementato all'interno del software ENVI.

Utilizzando le informazioni contenute nel *database* è stato possibile identificare le classi di asfalto da utilizzare nella fase di classificazione dell'immagine. In base alla scala colorimetrica dei grigi di Munsell (Salvatori et al.,2009), alla presenza della segnaletica orizzontale e alle loro diverse risposte spettrali sono state identificate 5 classi di asfalto:

- asfalto scuro segnaletica ( $3 < M < 4$ )
- asfalto scuro senza segnaletica ( $3 < M < 4$ )
- asfalto mediamente scuro ( $5 < M < 6$ )
- asfalto scuro drenante ( $1 < M < 2$ )
- asfalto chiaro ( $7 < M < 8$ )

I rilievi di campo hanno permesso, inoltre, di identificare altre due classi definite come "tetti scuri", rappresentati dalle coperture dei capannoni industriali realizzate in materiali catramosi e "tetti chiari", coperture in cemento e/o mattonato di edifici prefabbricati.

Prima di essere classificate le immagini sono state sottoposte ad una analisi visiva che ha evidenziato la possibilità di utilizzare proficuamente, per l'identificazione delle superfici asfaltate le

bande 2 e 16, in analogia all'analisi condotta da Preparo e Rigetti (2005); in questa fase è stata evidenziata l'opportunità di minimizzare il rumore presente nell'immagine applicando l'analisi in componenti principali (*routine* MNF-*Mimimun Noise Factor* in ENVI).

L'analisi MNF ha permesso di ridurre a 9 le bande da classificare. Per ognuna delle classi da riconoscere sono state individuate sull'immagine le relative *Region Of Interest* (ROI) in base alle osservazioni di campo e alle peculiarità radiometriche delle superfici; è stata definita inoltre un classe "ombra" analizzando i risultati della *routine Pixel Purity Index* (PPI). La classificazione è stata effettuata tramite l'algoritmo *Spectral Angle Mapper* (SAM), utilizzando come immagini di *input* le 9 immagini MNF.

## Risultati

I valori di riflettanza delle bande MIVIS 2 e 16 (rispettivamente  $\lambda=0.46\mu\text{m}$  e  $\lambda=0.74\mu\text{m}$ ) si sono rivelati particolarmente diagnostici delle tipologie di asfalto presenti nel territorio in esame; a queste lunghezze d'onda è possibile, infatti, discriminare gli asfalti in base alla quantità di bitume e alle caratteristiche mineralogiche degli inerti che li compongono (Herold e Roberts 2005, Herold et al. 2008). Lo scatterogramma 2D ottenuto con queste due bande mostra che i pixel si suddividono essenzialmente in due insiemi: uno corrispondente alle aree vegetate, l'altro corrispondente alle superfici urbanizzate. Un'analisi di maggior dettaglio ha permesso di evidenziare che i pixel relativi alle superfici asfaltate hanno una distribuzione lineare (figura 1) ed è stato pertanto possibile definire la retta interpolante caratteristica delle superfici asfaltate e calcolarne il coefficiente angolare ( $\alpha=0.8$ ).

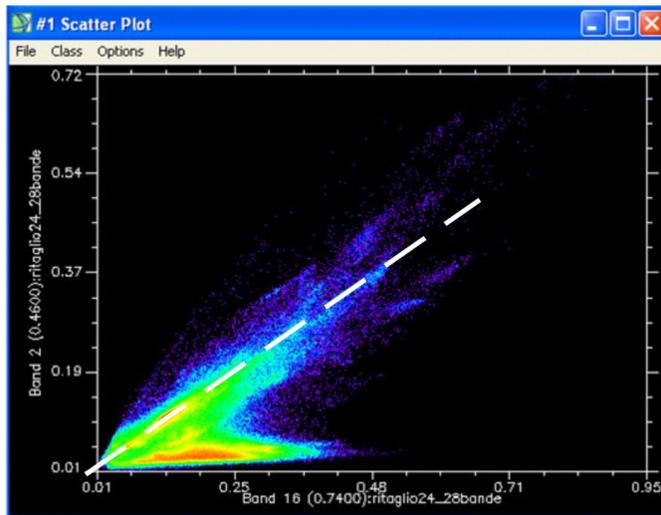
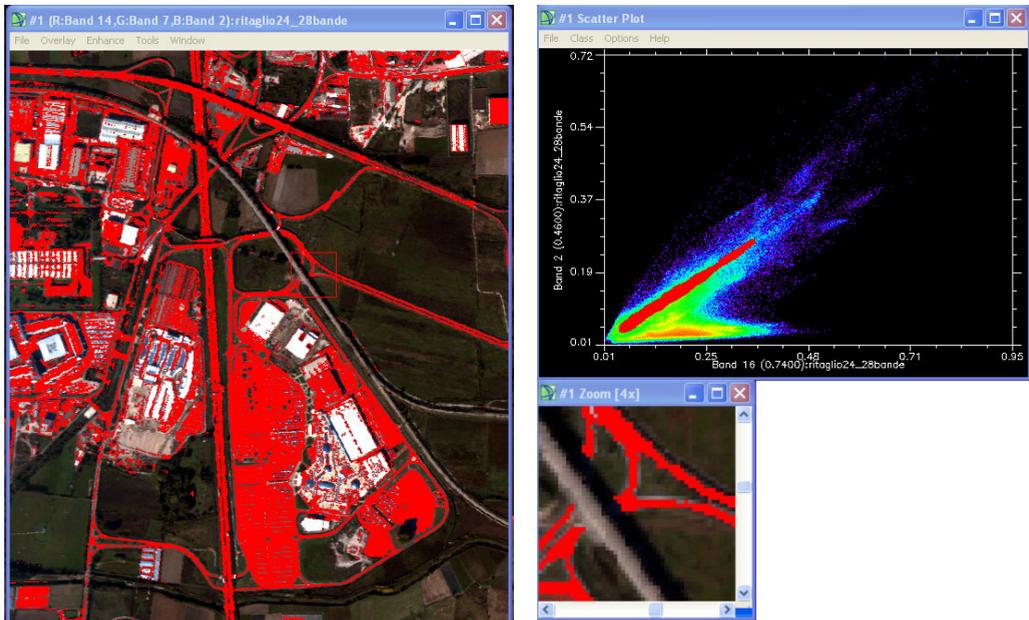


Figura 1 – Scatter plot ottenuto selezionando le bande 2 e 16 dell'immagine MIVIS. Si identificano due addensamenti di punti, uno disposto orizzontalmente nella parte bassa dello scatterogramma, relativo alla vegetazione, e uno tratteggiato in bianco relativo agli asfalti.

Utilizzando la *routine* di ENVI, che permette di riconoscere i pixel dello scatterogramma direttamente sull'immagine, è stata creata una classe contenente tutti i pixel che ricadono nell'intorno della retta, nell'intervallo di maggiore densità. In tal modo sono stati identificati direttamente sull'immagine tutti i pixel relativi all'asfalto, sia quelli corrispondenti alle strade, sia quelli corrispondenti a piazzali e parcheggi (figura 2).

L'analisi di confronto tra gli spettri di campo e i valori dello scatterogramma ha permesso di riconoscere sull'immagine le 5 classi "asfalto" sopra definite.



*Figura 2 – Creazione della classe asfalti sullo scatterogramma delle bande 2 e 16. Nello zoom si nota come sia l'asse ferroviario che ombre da esso create vengono nettamente distinte dall'asse stradale.*

Nell'immagine presa in esame, già in questa fase dell'elaborazioni è stato individuato con notevole precisione l'asse autostradale, costituito da asfalto nuovo e drenante quindi diverso da quelli delle altre strade presenti.

Questa metodologia speditiva è stata verificata anche su altre immagini MIVIS, sia in valori di riflettanza che di radianza, sia con scene molto antropizzate che prevalentemente rurali; il metodo si è rivelato particolarmente efficiente nelle aree con una elevata percentuale di antropizzazione, in cui i settori asfaltati occupano buona parte della scena e quindi gli addensamenti all'interno dello scatterogramma sono ben evidenti. Al contrario, in aree di campagna, essendo presenti molte meno strade e piazzali asfaltati, il metodo più difficile da applicare in quanto si corre il rischio di non notare particolari addensamenti sullo scatterogramma e quindi di sottostimare le tipologie di superfici asfaltate.

Per supportare il risultato ottenuto dall'analisi dei valori dello scatterogramma e verificare la potenzialità delle immagini MIVIS nello studio delle superfici asfaltate, le bande corrispondenti all'intervallo spettrale 0.35-2.5  $\mu\text{m}$  sono state oggetto di ulteriori elaborazioni.

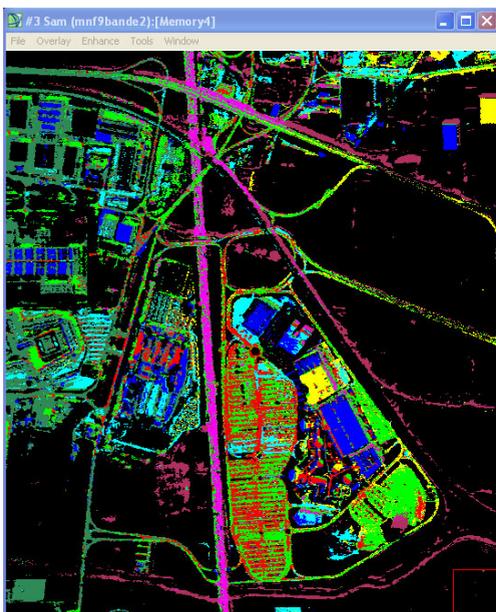
Sulle prime 28 bande è stata applicata la routine MNF che ha permesso di ridurre la dimensionalità spettrale dell'immagine da classificare. La trasformazione effettuata ha raggruppato l'80% dell'informazione spettrale nelle prime 9 componenti che sono quindi state utilizzate per la successiva classificazione. Sulle immagini MNF sono state riportate le ROI corrispondenti ai rilievi di campo ossia alle 5 classi di "asfalto" e alle 2 classi "tetto". Sono stati quindi estratti gli "spettri" di riferimento da utilizzare nella procedura di classificazione SAM.

La fase di classificazione ha richiesto particolare attenzione poiché alcuni elementi, quali ad esempio le aree in ombra a ridosso dei fossi, pur riconoscibili in fase di foto interpretazione e sulle

immagini derivate dallo scatterogramma, venivano mascherati o creavano rumore durante le procedure di classificazione.

Per evitare incongruenze, sulle 9 immagini MNF è stata effettuata pertanto una PPI (20000 iterazioni, threshold 1) che ha permesso di individuare i pixel con cui definire una ulteriore classe (ombra).

Pur avendo ridotto di un terzo il numero delle immagini da elaborare, per la classificazione è stato adottato l'algoritmo SAM a causa della piccola differenza spettrale tra gli elementi da discriminare. La procedura di classificazione SAM, in ambiente ENVI, per attribuire i pixel alle diverse classi richiede l'utilizzo di spettri di riferimento e di un valore di soglia di distanza angolare. Il risultato migliore, per le immagini utilizzate in questo lavoro, è stato ottenuto utilizzando come valore di distanza angolare il coefficiente angolare della retta interpolante i valori di riflettanza delle bande 2 e 16. La classificazione ottenuta ha un accuratezza del 80.82% e un coefficiente K= 0.78.



	asfalto scuro segnaletica (3<M<4)
	asfalto scuro senza segnaletica (3<M<4)
	tetti chiari
	tetti scuri
	asfalto mediamente scuro (5<M<6)
	asfalto scuro drenante (1<M<2)
	ombre
	asfalto chiaro (7<M<8)

*Figura3 – Classificazione di un particolare dell'area di studio ottenuta con l'algoritmo Spectral Angle Mapper.*

Utilizzando la classificazione SAM è stato possibile ottenere una cartografia completa delle aree asfaltate, distinguendo le diverse tipologie di asfalti presenti sul territorio in esame, le imprecisioni maggiori sono da riferire alle situazioni di pixel misti, ubicati in particolare nelle aree di cantiere e nei parcheggi delle aree industriali dove la risposta radiometrica della segnaletica orizzontale, alla risoluzione spaziale delle immagini considerate, non è del tutto trascurabile.

## Conclusioni

L'interesse crescente per il monitoraggio delle aree urbane tramite l'utilizzo di immagini riprese da sensori remoti ha sollecitato lo studio delle caratteristiche radiometriche delle superfici asfaltate in quanto queste rappresentano uno degli elementi di maggior interesse per la gestione e il monitoraggio della rete stradale. A causa della loro bassissima riflettività gli asfalti sono infatti facilmente individuabili sulle immagini ma, al tempo stesso, è difficile discriminarne la tipologia e di conseguenza lo stato di conservazione.

Nello svolgimento di questo lavoro, la possibilità di disporre di misure radiometriche di campo correlate ad osservazioni sulla composizione e sullo stato di conservazione delle superfici asfaltate ha permesso di definire 4 classi di asfalto da riconoscere sulle immagini iperspettrali MIVIS. Elaborando le bande MIVIS 2 e 16, con l'approccio metodologico descritto in questo lavoro, è stato possibile rilevare le sottili differenze tra superfici asfaltate; a queste lunghezze d'onda infatti si osservano negli asfalti variazioni spettrali legate sia al loro colore sia alla percentuale di bitume in essi contenuta. Le successive fasi di elaborazione MNF e di classificazione SAM hanno confermato i risultati ottenuti sebbene siano ancora presenti imprecisioni correlate soprattutto alla presenza di ulteriori classi di asfalto spettralmente molto simili tra loro ma diverse per stato di conservazione della superficie e o presenza di segnaletica orizzontale.

### **Bibliografia**

- Ben-Dor, E. (2001). "Imaging spectrometry for urban applications". In F. D. Van der Meer & S. M. De Jong (Eds.), *Imaging spectrometry. Basic principles and prospective applications* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Heiden, U., Roessner, S., Segl, K., & Kaufmann, H. (2001a). "Potential of hyperspectral HyMap data for material oriented identification of urban surfaces". In C. Juergens (Ed.), *Remote Sensing of Urban Areas, Regensburger Geographische Schriften, 35, Abstracts and Full Papers (on Supplement CDROM) of the 2nd International Symposium of Remote Sensing in Urban Areas, June 2001, Regensburg, Germany.*
- Heiden, U., Segl, K., Roessner, S., & Kaufmann, H. (2005). "Determination and verification of robust spectral features for an automated classification of sealed urban surfaces". In B. Zagajewski & M. Sobczak (Eds.), *Imaging Spectroscopy. New quality in environmental studies* (pp. 165–174).
- Heiden, U., Segl, K., Roessner, S., & Kaufmann, H. (2007). "Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing datas". In *Remote sensing of Environment 11* (2007) 537-552
- Herold, M., & Roberts, D. A. (2005). "Spectral characteristics of asphalt road aging and deterioration: Implications for remote-sensing applications". *Applied Optics*, 44(20), 4327–4334.
- Herold, M., Roberts, D. A., Gardner, M. E., & Dennison, P. E. (2004). "Spectrometry for urban area remote sensing—Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm". *Remote Sensing of Environment*, 91, 304–319.
- Herold M., Roberts D., Noronha V., Smadi O., (2008). "Imaging spectrometry and asphalt road surveys" *Transportation Research, Part C: Emerging Technologies 16*, 153–166
- Lacherade, S., Miesch, C., Briottet, X., & LeMen, H. (2005). "Spectral variability and bidirectional reflectance behavior of urban materials at a 20 cm spatial resolution in the visible and near-infrared wavelength. A case study over Toulouse (France)". *International Journal of Remote Sensing*, 26(17), 3859–3866.
- Prearo G. e Righetti G. , (2005), "Procedura di integrazione di dati Laser scanning ed iperspettrali per l'estrazione automatica della geometria stradale". *Atti 9 conferenza ASITA, Catania 15-18 Novembre 2005*, vol2
- Roberts, D. A., & Herold, M. (2004). "Imaging spectrometry of urban materials". In P. King, M. S. Ramsey, & G. Swayze (Eds.), *Infrared spectroscopy in geochemistry, exploration and remote sensing* Mineral Association of Canada, Short Course Series, London, Ontario, Vol. 33. (pp. 155–181).
- Salvatori R, Mei A. & Salzano R. (2009), "Caratterizzazione spettrale di superfici asfaltate e realizzazione di una libreria di firme spettrali". *Atti 13a conferenza nazionale ASITA, Bari 1-4 dicembre 2009*