

METODI DI CLASSIFICAZIONE AUTOMATICA DI IMMAGINI AD ALTA RISOLUZIONE: IDENTIFICAZIONE DI PSEUDOBANDE ATTRAVERSO GLI AUTOVETTORI DEL SET DI CAMPIONI

Annamaria BERNARDINI (*), Eva Savina MALINVERNI (**)

(*) DARDUS-Università Politecnica delle Marche, via Breccie Bianche, Ancona, IT; a.bernardini@univpm.it;
(**) DARDUS-Università Politecnica delle Marche, via Breccie Bianche, Ancona, IT; e.s.malinverni@univpm.it

Riassunto

Nel Remote Sensing le differenti bande del multispettrale non hanno la stessa rilevanza nell'identificazione di pixel appartenenti ad una specifica classe. L'algebra delle bande consente di costruire nuove pseudobande che semplificano la comprensione dell'immagine o il processo di classificazione (per esempio, le pseudobande che risultano dagli indici di vegetazione vengono usate con buoni risultati nella classificazione delle aree vegetate). Questo lavoro si pone come obiettivo di definire delle nuove pseudobande dalle immagini multispettrali originali che risultino maggiormente significative per l'estrazione di *features* di una particolare classe di uso del suolo. Il processo si basa sull'Analisi delle Componenti Principali (PCA) applicata al *training set* della classe "rete stradale e ferroviaria". La metodologia è stata testata su immagini del sensore digitale aviotrasportato Leica ADS40.

Abstract

In Remote Sensing the different bands of multispectral data have not the same relevance in order to identify pixels inside a specific land cover class. The band algebra combines different images in order to construct a new one that has many advantages from the point of view of image understanding or classification (e.g. pseudobands, resulting from the vegetation indices, are used with success for the classification of vegetated areas). The objective of this work is to define new pseudobands by means of the Principal Component Analysis (PCA) applied to the training sample set of specific classes. We used high resolution Leica ADS40 multispectral images to test this methodology.

Introduzione

Questo studio è parte di un progetto più ampio il cui obiettivo generale è quello di sviluppare una metodologia di classificazione automatica applicata ad immagini Leica ADS40. Le immagini impiegate per il Falso Colore fanno parte delle riprese aerofotogrammetriche eseguite su tutta la regione Marche nel periodo giugno/luglio 2007 e fornite dalla Regione Marche stessa grazie ad un Accordo di Ricerca siglato con i dipartimenti DARDUS, DIIGA e DiSASC dell'Università Politecnica delle Marche.

L'area di studio è la zona del Parco naturale del monte Conero, in Provincia di Ancona (Figura 1). L'area è stata scelta per l'ampia variabilità degli aspetti morfologici e l'ampia rappresentatività delle diverse coperture del suolo previste dalla legenda *Corine Land Cover* (presenza di aree urbanizzate con differenti densità abitative, di aree commerciali, di aree agricole e forestali).



Figura 1 Area di studio e scena test in falsi colori acquisita dal sensore Leica ADS40

Metodologia

Il processamento digitale delle immagini finalizzato alla generazione di carte uso del suolo può essere compiuto con diversi approcci e a diversi livelli di dettaglio. Per estrarre informazioni a basso livello di dettaglio può essere sufficiente analizzare il contenuto radiometrico del singolo pixel, mentre per aumentare il livello di dettaglio della classificazione si utilizzano metodi di segmentazione. L'Analisi delle Componenti Principali (PCA) è effettuata al livello del pixel.

La PCA nella *map* algebra viene impiegata con diverse finalità, principalmente:

- trasformazione delle bande originali per ottenere nuove pseudobande non correlate, da usare successivamente nel processo di classificazione. Questa modalità viene spesso usata nel telerilevamento per comprimere il contenuto informativo di un numero n di bande originali in un numero minore. Il processo di classificazione viene così semplificato e può dare risultati migliori.
- identificazione di *features*. La PCA viene impiegata come algoritmo di classificazione (es. identificazione di un volto, introdotto per la prima volta da Turk e Pentland nel 1991).

In quest'ultimo approccio gli autovettori vengono calcolati da un insieme campione di immagini, ognuna rappresentante un tipo di oggetto. Nell'identificazione di un volto usualmente il più alto autovalore (e relativo autovettore associato) o il maggiore *face-like* delle basi ortonormali dei vettori viene chiamato *eigenface*. Ogni autovettore rappresenta una *feature* dell'immagine e tutti insieme rappresentano uno spazio delle *features*. Ogni immagine può essere così ottenuta come combinazione lineare di autovettori e proiettata nello spazio delle *features*. Nella fase di riconoscimento sono calcolate le componenti di una immagine proiettandola nello spazio delle *features* e confrontandola con le componenti delle altre immagini.

Bajwa e Hyde (Bajwa & Hyde, 2005) applicarono questa metodologia ad immagini satellitari per la classificazione delle nubi. In questo caso ogni immagine dell'insieme campione rappresenta una nube. Ogni classe è rappresentata da un certo numero di immagini delle nubi nell'insieme campione. Per la riuscita della classificazione le classi devono essere ben separate da una serie di *features*. Nella fase di addestramento il sistema calcola gli autovettori dell'insieme dei campioni di *training* per produrre uno spazio immagine. Nella fase di classificazione ogni nuova immagine di nubi può essere classificata confrontando le sue componenti nello spazio delle *features* con le componenti dell'insieme campione che fanno parte di una data classe.

Il metodo proposto in questa sede si differenzia da entrambi i metodi illustrati sopra. L'analisi ha portato alla definizione di pseudobande maggiormente significative di quelle originali, utili per l'estrazione di oggetti appartenenti ad una specifica classe di uso del suolo. Le pseudobande sono state ottenute mediante la combinazione lineare delle bande originali, usando come coefficienti della trasformazione lineare gli autovettori provenienti dall'Analisi delle Componenti Principali (PCA) applicata esclusivamente al set di campioni della classe "rete stradale e ferroviaria". Le immagini originali sono state così proiettate in uno spazio che discrimina maggiormente le caratteristiche relative a tale classe. Successivamente le pseudobande sono state segmentate per

mezzo di soglie definite a partire dagli istogrammi delle Componenti Principali del *training set*. Un campione di controllo è stato utilizzato per validare la metodologia per mezzo della Confusion Matrix. Il metodo, già testato su immagini satellitari IKONOS (Bernardini et al., 2008), in questo caso è stato applicato alle immagini multispettrali del sensore Leica ADS40.

La procedura può essere suddivisa nelle seguenti fasi (Figura 2):

- **PRE-PROCESSAMENTO:** consiste nella ortorettifica delle immagini nel sistema di riferimento scelto;
- **DEFINIZIONE DEL SET DI TRAINING E DI CONTROLLO:** viene definito un esauriente numero di campioni, basato su una classificazione gerarchica, che è il punto di partenza per poter applicare l'analisi PCA e per la successiva valutazione dei risultati;
- **TRASFORMAZIONE DELLE IMMAGINI:** viene eseguita la trasformazione delle immagini basata sugli autovettori derivanti dall'analisi del *training set*. Le immagini ottenute, opportunamente filtrate, possono essere utilizzate come maschere per la successiva segmentazione della specifica classe.
- **VALUTAZIONE DEI RISULTATI:** viene stimata la precisione con cui è stata eseguita la fase di sogliatura.



Figura 2 Successione delle fasi impiegate per la classificazione delle immagini ADS40 con il metodo PCA

Preprocessamento e definizione del set di training e di controllo

Il processo di ortorettifica delle immagini ADS40 è stato condotto attraverso il software *SOCET Set della BAE Systems Mission Solutions Inc.* (Malinverni et al., 2008) ottenendo le immagini georeferenziate oltre che del sensore RGB anche delle 3 bande multispettrali (Red, Green, Infrared) con risoluzione 1 metro nel sistema UTM WGS84.

I presupposti per una classificazione accurata sono un adeguato sistema di classificazione e un numero sufficiente di immagini campione. Il sistema dovrebbe essere informativo, esauriente e separabile (Jensen1996, Landgrebe 2003). Il primo passo è la definizione di una struttura di classificazione gerarchica, che si fonda sulle necessità dell'utente e sulla risoluzione dell'immagine. Sulla base di questa struttura possono essere definiti un numero significativo di immagini campione.

La necessità di un sistema di classificazione standard suggerisce l'uso della nomenclatura *Corine Land Cover* che è stata creata nell'ambito di un progetto Europeo coordinato dalla *European Environmental Agency* (EEA) con l'obiettivo di definire inventari della copertura del suolo per tutti i Paesi Europei alla scala 1:100.000, utili per le applicazioni del telerilevamento. La legenda ha una

struttura gerarchica su tre livelli, contenenti 44 classi di *land-cover*. Al primo livello abbiamo adottato quattro classi: Aree Artificiali (1), Aree Agricole (2), Foreste e Aree Naturali (3), Acque Superficiali (5). Per ogni classe è stato realizzato un campione, composto da una serie di poligoni. Per le Aree Artificiali e le Acque Superficiali i campioni sono stati individuati mediante tecniche classiche di fotointerpretazione o rilievo diretto in campagna. Per i campioni di Aree Agricole e Forestali è stato necessario effettuare una ricerca sui sistemi informativi agricolo-forestali per trovare delle verità a terra contemporanee al periodo di acquisizione. Complessivamente sono stati estratti 18.000 pixel di addestramento, appartenenti a 27 classi.

In seguito ad una analisi sulla separabilità (Swain & Davis, 1978), basata sull'analisi degli istogrammi delle diverse bande, alcune classi sono state accorpate, ottenendo un numero di classi pari a 15.

Questo studio si è focalizzato sulla classe *Corine Land Cover* denominata "rete stradale e ferroviaria". I campioni sono stati definiti separatamente per strade, ferrovie ed aree di parcheggio. Per la rete stradale il processo di campionamento ha preso in considerazione i differenti materiali della pavimentazione (asfalto, ghiaia, cemento). Sulla base dell'analisi di separabilità è stato osservato che la risposta spettrale della rete stradale in asfalto, dei parcheggi asfaltati e della ferrovia è molto simile. Si è visto anche che gli edifici di tipo commerciale ed industriale con coperture in materiale bituminoso danno risposta spettrale molto simile a quella delle strade e della rete ferroviaria. Così i campioni relativi a queste categorie sono stati accorpate.

La totalità dei campioni alla fine è risultata formata da 34 poligoni pari a circa 2000 pixel. La metà di questi poligoni è stata utilizzata nella fase di addestramento e i restanti in quella della valutazione dei risultati.

Trasformazione delle immagini

L'analisi è stata eseguita con il software *open source* ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*). Il software, sviluppato nel 1984 dall'istituto Olandese ITC (*Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences*), è stato reso *open source* dal 1 Luglio 2007. È un software che fornisce procedure di analisi di immagine in ambiente GIS; le sue funzioni interne di *image-processing* possono essere organizzate in una sequenza di istruzioni mediante semplici *script* che ne consentono un'ampia personalizzazione e una facile implementazione.

Per ogni immagine ADS40 ne è stata creata una definita soltanto in corrispondenza dei campioni. Al set di tre immagini così ottenute è stata applicata la PCA, che ha restituito gli autovettori della trasformazione. Tali autovettori sono stati utilizzati per trasformare sia le immagini definite sui campioni che le immagini originali. In Figura 3 sono mostrati gli istogrammi delle Componenti Principali (PC) ottenute dalle trasformazioni delle immagini dei campioni (a) e delle immagini complete (b). Si può notare come il *range* di definizione delle seconde sia più ampio di quelle ottenute dai campioni. Possiamo quindi derivare dei valori di *thresholding* da utilizzare per sogliare le PC delle immagini originali. L'immagine finale è l'intersezione delle tre componenti sogliate (Figura 4).

Per la mascheratura è stato inizialmente utilizzato un intervallo pari alla media ± 3 Dev. Std., mediante il quale viene mascherato l'85,84% dell'immagine. Restringendo l'ampiezza dell'intervallo di *thresholding* è possibile ottenere un'immagine più pulita. Infatti utilizzando rispettivamente la media $\pm 2,5$ Dev. Std. e la media ± 2 Dev. Std. Si ottiene così rispettivamente una mascheratura pari al 90,89% (Figura 4a) e al 94,14% (Figura 4b).

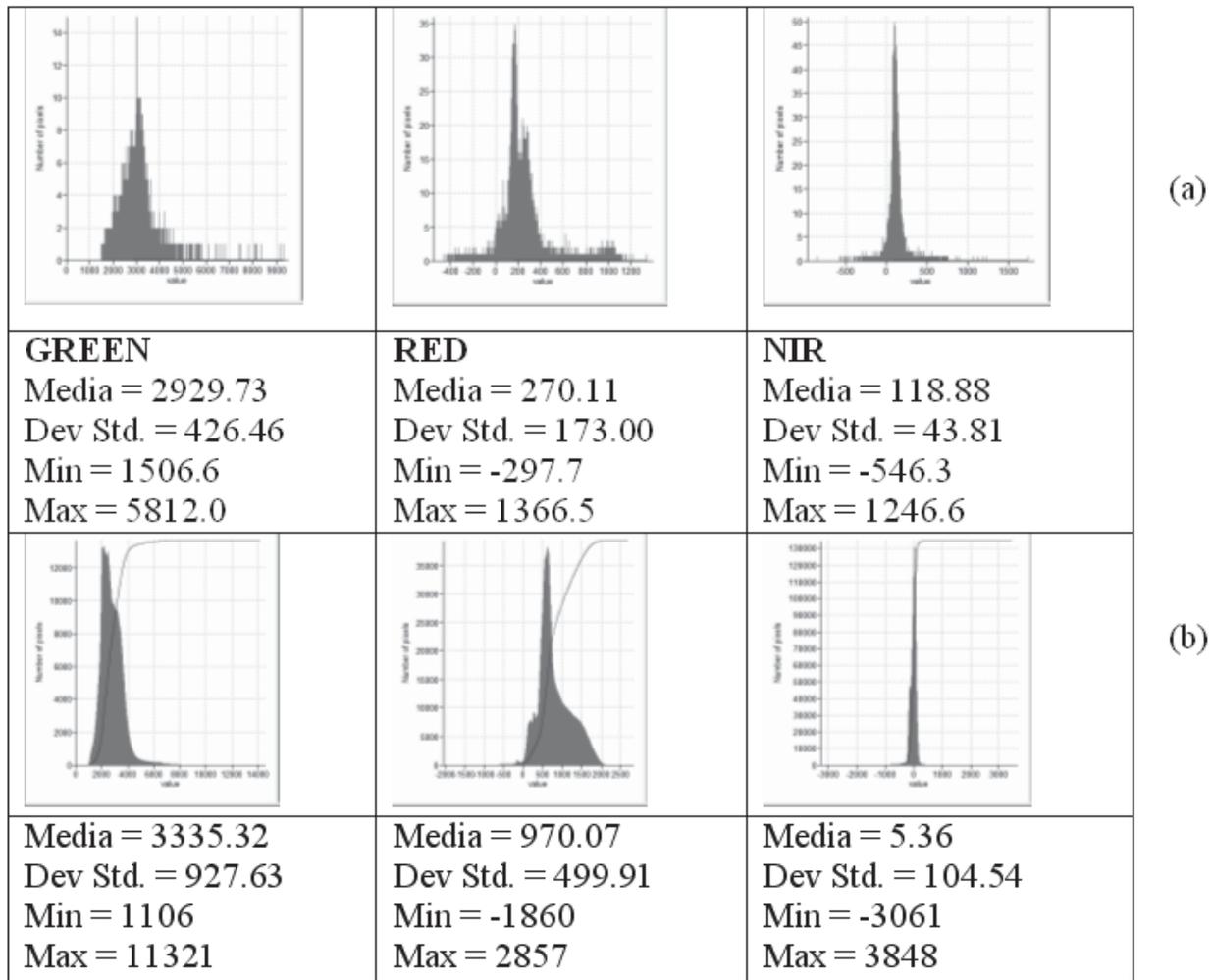


Figura 3 Istogrammi delle tre Componenti Principali ottenute dalle immagini dei campioni (a) e dalle immagini originali (b)

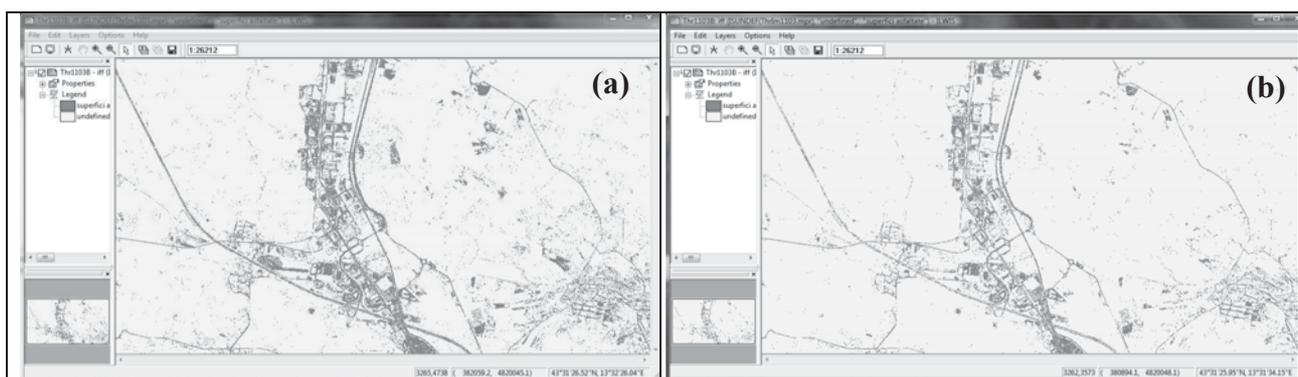


Figura 4 Immagine mascherata con l'intervallo ± 2.5 Dev. Std. (a) e ± 2 Dev. Std. (b)

Analisi dei risultati

L'analisi dei risultati si basa sulla Confusion Matrix, calcolata intersecando l'immagine segmentata con le immagini dei campioni di controllo. I campioni di controllo sono composti da poligoni appartenenti a tutte le classi, divisi in due categorie, la prima che comprende le Superfici Asfaltate e la seconda che include tutte le restanti classi (Altre Classi).

	Superfici Asfaltate	Altre Classi
Superfici Asfaltate	86,17%	2,15%
Altre Classi	13,83%	97,85%

Intervallo ± 2 Dev. Std.

	Superfici Asfaltate	Altre Classi
Superfici Asfaltate	90,71%	4,00%
Altre Classi	9,29%	96,00%

Intervallo $\pm 2,5$ Dev. Std.

Tabella 1 Matrice di confusione dell'immagine mascherata con l'intervallo ± 2 Dev Std. (a) e dell'immagine mascherata con l'intervallo $\pm 2,5$ Dev Std. (b)

Dalla matrice di confusione si evince che utilizzando l'immagine mascherata con l'intervallo media $\pm 2,5$ Dev. Std. viene estratto il 90% dei pixel delle strade, percentuale superiore a quella ottenibile con l'immagine mascherata utilizzando l'intervallo media ± 2 Dev Std., che risulta pari a 86%. Nella tabella 2 il risultato viene confrontato con quello già ottenuto applicando il procedimento alle immagini IKONOS (Bernardini & AI, 2008).

	Superfici Asfaltate	Altre Classi
Superfici Asfaltate	87%	4%
Altre Classi	13%	96%

Tabella 2 Matrice di confusione ottenuta applicando il procedimento alle immagini IKONOS, mascherate con l'intervallo media $\pm 2,5$ Dev. Std.

I risultati forniti dalle immagini ADS40 sono migliori di quelli ottenuti dalle immagini IKONOS.

Conclusioni

La ricerca ha presentato i risultati di un metodo di classificazione basato sulla PCA, applicato sulle immagini Leica ADS40. Il metodo opera attraverso procedure di *thresholding* che portano alla formazione di una immagine mascherata che può essere utilizzata per il tracciamento della rete stradale. Occorre tuttavia un preliminare filtraggio per l'eliminazione di alcune aree estratte, in particolare gli edifici industriali con coperture bituminose, che possono influenzare il processo di tracciamento.

Bibliografia

- Bernardini A., Malinverni E. S., Zingaretti P., Mancini A., (2008), *Automatic Classification Methods of High-Resolution Satellite Images: the Principal Component Analysis applied to the sample training set*, Proceedings XXI Congress of ISPRS, Beijing, China, vol XXXVII, part B7, Comm VII, eds. Chen, JIANG, van Genderen, pagg. 701-706.
- Malinverni E. S., Bellesi S., (2008), *Modelli per la generazione di ortofoto digitali a media scala da sensore digitale Leica ADS40*, Atti della 12^o Conferenza ASITA, L'Aquila.
- Bajwa I. S., Hyder S. I., (2005), *PCA based Image Classification of Single-layered Cloud Types*, IEEE, International Conference on Emerging Technologies.
- Swain P. H., Davis S. M., (1978), *Remote sensing: The quantitative approach*, New York: McGraw-Hill, Capitolo 3.
- Turk M., Pentland A., (1991), *Eigenfaces for Recognition*, Journal of Cognitive Neuroscience, Vol. 3, No. 1, pagg. 71-86.
- Lu J., Plataniotis K. N., Venetsanopoulos A. N., (2003), *Face Recognition Using LDA-Based Algorithms*, IEEE Trans. on Neural Networks, Vol. 14, No. 1, pagg. 195-200.