

Sistema avanzato per la classificazione delle aree agricole in immagini ad elevata risoluzione geometrica: applicazione al territorio del Trentino

Edoardo ARNOLDI (*), Lorenzo BRUZZONE (**), Lorenzo CARLIN (**), Luca PEDRON (*),
Claudio PERSELLO (**)

(*) Provincia Autonoma di Trento, Via Trener, 3, 38014 – Trento

(**) Dipartimento di Informatica e Telecomunicazioni, Università di Trento
Via Sommarive, 14, 38050, Trento, e-mail: lorenzo.bruzzone@ing.unitn.it

Riassunto

In questo articolo viene presentato un sistema avanzato per l'analisi e la classificazione di immagini telerilevate ad elevata risoluzione geometrica sviluppato per affrontare applicazioni legate alla caratterizzazione ed il riconoscimento di aree agricole. Il sistema si basa sulla definizione di opportune procedure di *pre-processing* delle immagini ad elevata risoluzione e sull'integrazione di diverse tecniche di estrazione delle *feature* in grado di caratterizzare le classi informative oggetto di indagine sia dal punto di vista spettrale sia da quello geometrico e tessiturale. La fase di classificazione è condotta con un classificatore automatico basato su *Support Vector Machine*, caratterizzato da un'architettura finalizzata a considerare e sfruttare in maniera opportuna le peculiarità del problema affrontato. A valle della classificazione è prevista una fase di post-elaborazione basata su tecniche di analisi dei dati in grado di aggregare i tematismi ottenuti a livello di *pixel* nell'ambito del foglio particellare tipicamente disponibile in ambito catastale. Il sistema è stato sperimentato su immagini Quickbird acquisite su un'area campione del territorio della Provincia Autonoma di Trento (PAT). I risultati ottenuti si sono rivelati particolarmente soddisfacenti in quanto l'indice di accuratezza kappa calcolato sui tematismi delle varie particelle catastali supera il valore di 0.98.

Abstract

This paper presents an advanced system for the analysis and classification of high geometrical resolution remote-sensing images. The system is especially developed for applications related to the automatic analysis and recognition of agricultural areas. It is based on the definition of appropriate data pre-processing procedures and on the integration of different feature extraction techniques that can properly model the geometric and texture information of the classes. The classification phase is carried out with an automatic technique based on Support Vector Machines, which architecture is designed in order to exploit the peculiarity of the problem under investigation. The final thematic map is obtained by applying a post-processing phase to the output of the classifier, which integrates the pixel-level class with the land registry information. The effectiveness of the proposed system has been assessed on Quickbird images acquired on a test agricultural area of the Autonomous Province of Trento (Provincia Autonoma di Trento), Italy. The experimental results confirmed the effectiveness of the proposed system, which provided a global kappa coefficient of accuracy higher than 0.98.

I. Introduzione

Una delle applicazioni più importanti del telerilevamento riguarda l'estrazione dai dati satellitari di informazioni a supporto del monitoraggio e della gestione di aree agricole. I sensori passivi a media risoluzione geometrica (quali ad esempio il *Landsat Thematic Mapper*) sono stati ampiamente utilizzati per generare mappe dei tematismi presenti in diversi contesti rurali a livello operativo. Tuttavia, la media risoluzione geometrica dei sensori disponibili fino a pochi anni fa ha rappresentato un'importante limitazione alla definizione di applicazioni caratterizzate dalla necessità di ottenere elevata precisione geometrica. Con la recente disponibilità di immagini satellitari acquisite da sensori ad elevata risoluzione geometrica (ad es. *Ikonos* e *Quickbird*), sono divenute possibili numerose applicazioni di precisione legate al monitoraggio ambientale ed al controllo del territorio, con potenziale impatto rilevante sulle aree agricole. Tali immagini pongono però delle difficoltà nella fase di riconoscimento automatico. L'elevata informazione spaziale presente nei dati va infatti a discapito di quella spettrale, rendendo molto difficile il riconoscimento del tipo di tematismo del suolo sulla base della sola firma spettrale del singolo *pixel*. Si rende quindi necessario modellare i diversi oggetti presenti al suolo integrando *feature* spettrali con *feature* geometriche e di tessitura, che risultano fondamentali per qualificare coltivazioni caratterizzate da strutture ben distinte (ad es. vigneti e meleti). Tali *feature* devono inoltre essere elaborate con una tecnica di classificazione automatica in grado di gestire l'elevata complessità del sistema.

In questo lavoro viene proposto un sistema avanzato di analisi e classificazione, in grado di estrarre l'informazione spettrale e spaziale/tessiturale da immagini ad alta risoluzione geometrica, e di sfruttarla per ottenere mappe tematiche di aree agricole caratterizzate da elevata accuratezza. Il sistema proposto prevede inoltre di applicare una fase di post elaborazione alla mappa *pixel-based*, in grado di integrare l'informazione del singolo pixel con quella del foglio delle particelle catastali tipicamente disponibile presso le amministrazioni provinciali.

II. Area di studio e dati utilizzati

L'area che è stata presa in considerazione in questo studio ha un'estensione pari a 105 [Km²] circa, ed è relativa ad una zona a sud di Trento. Tale area è stata scelta in quanto rappresenta in maniera sufficientemente completa le classi di copertura del suolo di tutta l'area provinciale del Trentino, alla quale sarà estesa l'analisi in una seconda fase di questo studio. Nella zona in esame sono presenti sia aree agricole coltivate a vigneto, meletto e frutteto (classi di maggiore interesse nell'ambito di questa ricerca), sia aree con pascolo, bosco e tessuto urbanizzato. Al fine di caratterizzare nel migliore dei modi le classi informative di maggiore interesse, si è scelto di utilizzare un *dataset* multitemporale, formato da due immagini: una acquisita nel periodo autunnale (Ottobre 2005) ed una in quello estivo (Luglio 2006). In particolare, si è deciso di impiegare immagini acquisite dal satellite Quickbird, per soddisfare la necessità di ottenere una mappa tematica iniziale con un dettaglio geometrico inferiore ad 1 m.

Per l'addestramento del classificatore e la validazione della classificazione sono stati raccolti dei campioni di verità a terra per ognuna delle classi informative considerate: *meletto*, *vigneto*, *altre colture arboree*, *bosco*, *prato/pascolo*, *colture protette*, *arativo*, *corpi idrici*, *urbano*. In particolare la maggior parte dei campioni sono stati raccolti mediante foto-interpretazione effettuata dai tecnici provinciali, ma dove la conoscenza a priori non si è rivelata sufficiente sono state pianificate apposite campagne *in situ*. La verità a terra è stata suddivisa in tre insiemi disgiunti e con un basso livello di correlazione tra loro. In particolare i primi due insiemi, *training* e *test*, sono stati impiegati per l'allenamento del sistema di classificazione, mentre il terzo è stato utilizzato per validare la mappa tematica finale (si veda *Tabella 1*).

Tabella 1 - Verità a terra raccolta e relativa suddivisione in insiemi di training, test e validation.

	Classe	Training	Test	Validation
1	Altre Colture Arboree	3970	6514	11141
2	Arativo	826	2914	9527
3	Meleto	16992	57304	146599
4	Vigneto	11720	72210	162770
5	Colture protette - Tunnel stagionali	507	1066	1633
6	Prato-Pascolo	7058	23668	49517
7	Corpi idrici	2531	4222	7883
8	Bosco	8145	26189	50205
9	Urbano	10126	25778	33350

III. Sistema di classificazione proposto

Il sistema di classificazione impiegato si compone di diverse fasi di elaborazione, secondo quanto schematizzato in *Figura 1*. Inizialmente le immagini sono state pre-elaborate al fine di limitare le distorsioni geometriche ed inserirle in un opportuno sistema di riferimento geografico. Successivamente le immagini sono state analizzate per estrarre un insieme di *feature* in grado di modellare l'informazione presente in esse (sia informazione di tipo spettrale che di tipo geometrico e tessiturale) e di renderla fruibile al classificatore. Dopodichè l'area di studio è stata classificata utilizzando un approccio basato su *Support Vector Machine* (SVM). Infine è stata applicata una fase di post elaborazione basata sull'analisi delle particelle catastali, allo scopo di rendere l'informazione tematica compatibile con le informazioni già presenti nel *data base* della Provincia Autonoma di Trento (PAT) e di ridurre il rumore puntuale presente nella mappa.

Pre-elaborazione dei dati

La fase di pre-elaborazione ha come scopo quello di correggere le distorsioni topografiche e di posizionare le immagini con la maggior precisione possibile in un opportuno sistema di riferimento. Questa fase si compone delle seguenti tre operazioni: i) ortorettifica, al fine di eliminare le

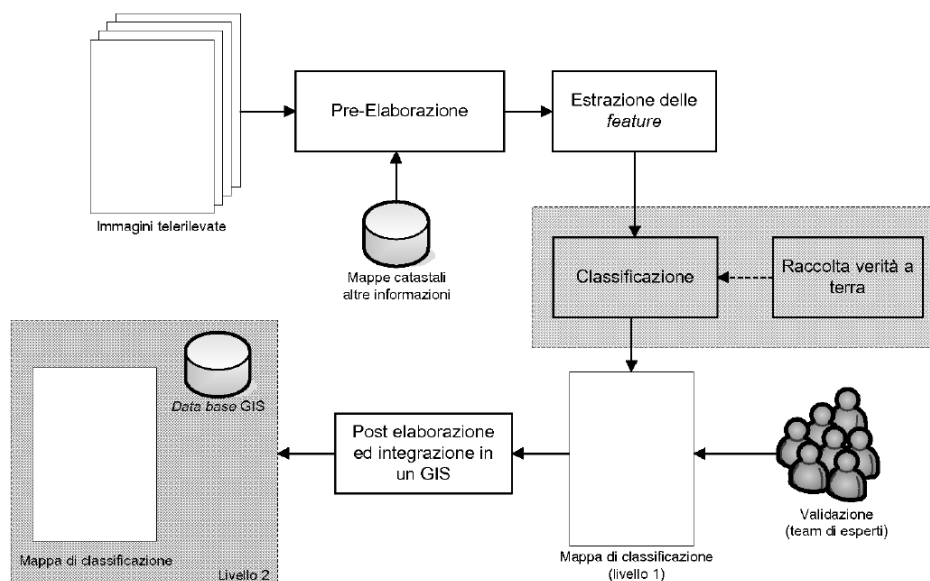


Figura 1 - Architettura generale del sistema di classificazione automatica proposto.

distorsioni introdotte dalla topografia del terreno; ii) *pansharpening*, ovvero fusione della banda pancromatica con le bande multispettrali al fine di migliorarne il dettaglio spaziale; iii) allineamento con le mappe catastali. L'ortorettifica è stata possibile grazie alla disponibilità di un *Digital Terrain Model (DTM)* dell'area di studio e di informazioni che descrivono lo stato e la posizione del sensore al momento dell'acquisizione. Successivamente le quattro bande multispettrali sono state fuse con la pancromatica allo scopo di riportarle alla stessa risoluzione geometrica utilizzando la tecnica di *pansharpening* basata sull'algoritmo di *Gram-Smith*. In seguito, è stato necessario allineare le immagini al foglio catastale mediante un'operazione di registrazione, con una tecnica basata sulla scelta di un certo numero di punti di controllo (*Ground Control Point, GPC*), identificabili sia sull'immagine sia sulla mappa di riferimento (il foglio particellare in questo caso).

Estrazione delle feature

La fase di estrazione delle *feature* ha lo scopo di estrarre dalle immagini le informazioni che meglio consentono di discriminare le diverse classi di copertura del suolo. In questo studio sono state estratte *feature* in grado di descrivere l'informazione spettrale, geometrica e di tessitura.

Le *feature* geometriche considerate si basano su una scomposizione gerarchica multilivello in regioni adattive. L'idea alla base di questa metodologia è la caratterizzazione del contesto di ogni singolo *pixel* dell'immagine mediante un insieme di *feature* gerarchiche a diversi livelli di astrazione. Ogni livello di contesto viene definito in maniera adattiva mediante un insieme di vincoli spettrali e spaziali. La caratterizzazione del contesto di ogni *pixel* dell'immagine può essere ottenuta applicando alla scena uno degli algoritmi di segmentazione proposti in letteratura ed alcuni vincoli utili a definire la gerarchica tra i diversi livelli. In questo modo è possibile ottenere delle precise relazioni gerarchiche tra gli oggetti a diversi livelli, o, in altre parole, tra i *pixel* dell'immagine ed i livelli di contesto che li caratterizzano a scale diverse. Il numero di livelli necessari per rappresentare correttamente il contesto di ogni *pixel* dell'immagine dipende da alcuni fattori importanti, primo tra tutti la risoluzione geometrica dell'immagine. Una volta ottenuto l'insieme di mappe di segmentazione che caratterizzano il contesto del *pixel* si dovrà estrarre un opportuno insieme di *feature* che lo descrivono. A seconda del livello, si possono estrarre differenti tipologie di *feature* prendendo in considerazione quelle che meglio sono in grado di descrivere il contesto del *pixel* per quella scala. In particolare, è possibile estrarre *feature* legate alla risposta spettrale, alla forma geometrica ed alle relazioni gerarchiche che intercorrono tra gli oggetti (allo stesso e a diversi livelli). Le *feature* spettrali vengono estratte analizzando il valore associato al *pixel* in analisi (per il primo livello) e i valori dei *pixel* che ne caratterizzano il suo contesto (a livelli superiori). Le misure più semplici sono media e deviazione standard; altre, più complesse, sono entropia e statistiche di ordine superiore che modellano la tessitura. Le *feature* geometriche sono legate alla forma ed alla dimensione degli oggetti (ad esempio l'area o il perimetro di una regione). Nell'ambito di questo progetto si è deciso di impiegare un numero di livelli pari a 6 (livello dei *pixel*, e 5 livelli di segmentazione). Per maggiori dettagli su tale tecnica il lettore può fare riferimento a (Bruzzone, Carlin, 2006).

L'analisi delle immagini Quickbird a nostra disposizione ha messo in risalto come un'estrazione mirata di particolari *feature* tessitura possa essere utile per caratterizzare le classi di maggiore interesse (meleto e vigneto). Per questo motivo è stato condotto uno studio della tessitura delle immagini focalizzando l'attenzione sulle classi meleto e vigneto. In particolare sono stati analizzati la risoluzione spaziale della tessitura, il suo orientamento e la frequenza spaziale (si tratta sostanzialmente della distanza interfilare). L'estrazione delle *feature* di tessitura è stata condotta mediante un'analisi basata sulla matrice di co-occorrenza i cui parametri sono stati scelti in base all'analisi sopra descritta. Successivamente le *feature* di tessitura estratte con le due finestre di analisi (pari a 21x21 e a 11x11 *pixel*), caratterizzate quindi da risoluzioni diverse, sono state combinate mediante un operatore *fuzzy* di OR (che consiste nel prendere il massimo di ogni *feature* corrispondente per le due finestre di analisi).

Classificatore SVM

Nell'ambito di questo progetto si è deciso di impiegare una tecnica di classificazione basata su *Support Vector Machine* (SVM), che ha dimostrato di avere proprietà molto interessanti quali: ottima capacità di generalizzazione, robustezza al fenomeno di Hughes, convessità della funzione costo nella fase di addestramento, etc. (Melgani, Bruzzone, 2004), (Camps-Valls, Bruzzone 2005). Si è scelto di utilizzare una funzione *kernel* a simmetria radiale (*RBF*), e di impiegare una strategia multiclasse *One Against One*. Al fine di determinare i valori ottimi di $2\sigma^2$ (*spread* della funzione *kernel*) e C (parametro di regolarizzazione interno alla funzione di costo della SVM) è stata effettuata una *model selection* con una strategia di tipo *grid search*. Per maggiori dettagli su tale tecnica di classificazione il lettore può fare riferimento a (Bruzzone, Carlin, 2006), (Camps-Valls, Bruzzone 2005), (Melgani, Bruzzone, 2004).

Post-elaborazione ed integrazione dei risultati in un GIS

Alla mappa ottenuta con il classificatore SVM è stata applicata un'ulteriore fase di elaborazione in grado di facilitare: i) l'introduzione della mappe nel sistema GIS in uso dalla PAT, rendendole compatibili con le informazioni legate alle mappe catastali, ii) l'interpretazione delle mappe ottenute. Un'analisi integrata delle particelle catastali e della mappa di classificazione ottenuta ha messo in evidenza sia regioni destinate ad un uso esclusivo (contenenti solamente una tipologia di copertura del suolo) sia aree caratterizzate da più colture o, in generale, da elementi che possono essere caratterizzati da etichette diverse (particelle miste). L'algoritmo di post-elaborazione proposto analizza quindi la mappa di classificazione ottenuta correlandola con la mappa catastale ed assegnando quindi ad ogni regione la classe dominante. Se tuttavia all'interno della regione in analisi vi è la presenza di una coppia di classi con una percentuale rilevante (con soglia fissata dall'utente) la particella viene identificata come mista ed assegnata a queste due classi. In questo modo è possibile eliminare alcuni errori inevitabili dovuti ad esempio alla classificazione dello sfondo di un'area agricola (che solitamente rappresenta una percentuale piuttosto bassa dell'area complessiva). L'applicazione di questa tecnica di post elaborazione comporta: i) la riduzione del rumore puntuale che influenza alcune delle aree classificate, ii) un incremento complessivo della qualità della mappa sia in termini qualitativi sia in termini quantitativi.

IV. Risultati sperimentali

In *Tabella 2* è riportata la matrice di confusione calcolata sul *validation set*, dove l'etichetta associata ai campioni di verità a terra è stata estesa a tutti i *pixel* omogenei dal punto di vista della loro appartenenza ad una particella catastale. Nella fase di post-elaborazione, le soglie sulle percentuali delle classi dominanti sono state poste a 35% e 65%. L'accuratezza globale della classificazione sulle particelle catastali raggiunge il 99.67% mentre il coefficiente kappa vale 0.988. Inoltre si può osservare che le classi meleto e vigneto vengono classificate con un'accuratezza superiore al 95%, mentre le classi che risultano più problematiche sono "altre colture arboree" e "arativo".

L'elevata accuratezza emersa dalla suddetta analisi quantitativa (effettuata sul *validation set* che è scorrelato dal *training* e dal *test set* usati per la definizione del sistema e l'allenamento del classificatore) è confermata da un'analisi visiva delle mappe tematiche ottenute al livello di particelle catastali. Tale analisi, condotta dai tecnici della provincia di Trento, evidenzia la buona aderenza dell'analisi quantitativa effettuata a campione all'accuratezza dell'intera mappa tematica.

V. Conclusioni

I risultati ottenuti con il sistema proposto sono particolarmente soddisfacenti in quanto l'indice di accuratezza kappa globale calcolato in termini di particelle catastali supera il valore di 0.98 e le classi informative di principale interesse per questo studio (meleto e vigneto) vengono distinte con un'accuratezza estremamente elevata. Tali accuratezze sono nettamente superiori a quelle che si riescono ad ottenere con sistemi tradizionali. Inoltre le mappe, ottenute mediante l'ausilio del

sistema automatico di analisi, possono essere integrate nel GIS provinciale allo scopo di aggiornare periodicamente il tematismo delle particelle catastali.

Tabella 2 - Matrice di confusione, User e Producer Accuracy

	Altre. Colture Arb.	Arativo	Meleto	Vigneto	Colt. Protett.	Prato- Pascolo	Corpi Idrici	Bosco	Urbano – Roccia nuda	User Accuracy %
Altr. Colt. Arb	69913	0	4337	6007	0	0	0	0	0	87
Arativo	0	43649	0	0	0	3542	0	0	0	92.49
Meleto	0	0	1340607	0	0	0	0	0	0	100.00
Vigneto	14578	0	0	1568098	0	0	0	0	0	99.08
Colt. Protette	0	0	0	0	12317	0	0	0	0	100.00
Prato- Pascolo	5292	8347	1946	0	0	2125092	0	0	0	99.27
Corpi Idrici	0	0	0	0	0	0	1071289	0	0	100.00
Bosco	0	5615	0	74519	0	28691	0	28179987	0	99.62
Urbano – Roccia nuda	0	0	0	0	0	0	0	0	1163155	100.00
Producer accuracy %	77.87	75.77	99.53	95.12	100	98.51	100.00	100.00	100.00	

Ringraziamenti

La presente ricerca è stata sviluppata nell'ambito di un progetto finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento.

Riferimenti bibliografici

- L. Alparone, S. Baronti, A. Garzelli, and F. Nencini, "A global quality measurement of pan-sharpened multispectral imagery", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol.: 1, Issue: 4, 2004.
- L. Bruzzone, L. Carlin, "A Multilevel Context-Based System for Classification of Very High Spatial Resolution Images", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.: 44, Issue: 9, 2006.
- G. Camps-Valls, L. Bruzzone, "Kernel-based methods for hyperspectral images classification", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol: 43, Issue: 6, 2005.
- F. Melgani and L. Bruzzone, "Classification of Hyperspectral Remote Sensing Images With Support Vector Machines," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, vol. 42, no. 8, pp. 1778-1790, August 2004.
- J.A. Richards, X. Jia, "Remote sensing digital image analysis", 2nd ed., Springer-Verlag, New York, 1993.