

Tecniche di telerilevamento per il riconoscimento dei soggetti arborei appartenenti al genere *Platanus spp.*

Stefano Fiorillo (*), Gabriele Villa (*), Andrea Marchesi (**)

(*) Demetra Specialist Srl, Via Visconta 75, Besana in Brianza (MB) Tel 0362/802120
fiorillo@demetra.net, villa@demetra.net

(**) Politecnico di Milano - Dipartimento ABC, Via G. Ponzio 31, 20133 Milano
andrea.marchesi@polimi.it

Riassunto

Il Cancro Colorato del Platano è una problematica che coinvolge ormai da parecchi anni tutto il territorio della Lombardia. Una delle difficoltà del monitoraggio della patologia è scoprire l'ubicazione dei Platani in territorio urbano, di pertinenza pubblica o privata, o inseriti in ambito boschivo, meno visibili. Per questo motivo in collaborazione con ERSAF Regione Lombardia, è stata proposta questa ricerca finalizzata all'individuazione dei soggetti appartenenti al genere *Platanus spp.*, attraverso l'analisi di immagini satellitari multispettrali ad alta risoluzione geometrica. Al fine di superare le criticità dovute alla bassa risoluzione spettrale dei dati satellitari, questa ricerca ha sperimentato un metodo di unione di due immagini acquisite da differenti satelliti (GeoEye e WordView-2) e in date diverse (maggio – settembre). Tecniche di classificazione *pixel* e *object-based* applicate a questo nuovo dataset multi-temporale hanno quindi permesso il riconoscimento dei generi arborei con una accuratezza globale pari al 75,3%. E' stato quindi sviluppato un metodo statisticamente significativo, a basso costo rispetto ad un sorvolo iperspettrale, per il riconoscimento del genere *Platanus spp.*

Abstract

Ceratocystis fimbriata of Plane Trees is an issue that is still involving the whole territory of Lombardy. One of the difficulties of monitoring the disease is to find out the location of Plane Trees both in public and private land as well as within forests, less visible.

For this reason, in cooperation with ERSAF (Regione Lombardia), we developed a research aimed to identify subjects of genus *Platanus spp.* through the analysis of high resolution multispectral satellite images. In order to overcome the difficulties due to low spectral resolution satellite data, this research has tested a method which combines images acquired by different satellites (GeoEye and WordView-2) at different times (May – September). Pixel and object-based techniques applied to this new multi-temporal dataset have therefore enabled the identification of different tree genera with an overall accuracy of 75.3%. Therefore, it has been developed a statistically significant method and lower cost, compared to a hyperspectral overflight, for the identification of genus *Platanus spp.*

INTRODUZIONE

Il riesame conclusivo delle attività previste dal Protocollo d'intesa, stipulato tra ERSAF e Demetra, avente come finalità il monitoraggio di *Ceratocystis fimbriata* su piante di Platano, ha evidenziato principalmente la difficoltà di individuazione dei soggetti arborei *Platanus* su un territorio esteso e senza la disponibilità di un censimento da parte degli Enti interessati.

L'attività di monitoraggio svolta sul territorio assegnato ha evidenziato questa difficoltà che costringe gli operatori a girare per tutte le vie delle varie municipalità alla ricerca dei Platani da valutare, senza tralasciare che, anche avendo a disposizione un elenco delle vie interessate (nella

media solo informazioni parziali), vengono esclusi tutti i Platani radicati nelle proprietà private o in aree marginali.

Sostanzialmente non si è in grado, se non a costi molto alti, di ottenere un quadro completo della situazione fitopatologica dei Platani di un determinato territorio.

A questo punto è stata considerata la possibilità di utilizzare le immagini satellitari multispettrali, di archivio, disponibili sul mercato a costi accessibili e di sviluppare una specifica procedura di analisi da applicare in questo caso che consentisse l'individuazione dei soggetti arborei del genere *Platanus*, in modo semiautomatico, con un elevato indice di attendibilità.

Il Platano fiorisce dopo lo sviluppo completo delle foglie nel mese di maggio mentre nel mese di settembre riesce a mantenere una superficie fogliare ancora molto estesa rispetto agli altri generi ma perde precocemente il pigmento anche in conseguenza di patogeni come la tignide che causa un ingiallimento sulla pagina fogliare. Il differente ciclo fenologico del genere *Platanus* lo distingue notevolmente rispetto ai suoi simili (Tigges *et al.*, 2013). Per questo motivo un approccio multi-temporale, con immagini satellitari acquisite in primavera (tra aprile e fine maggio) e settembre, permetterebbe una migliore individuazione dei Platani.

MATERIALI E METODI

La modalità proposta ha carattere sperimentale ed innovativo, in quanto non sono disponibili esempi in bibliografia di elaborazioni analoghe e nella fattispecie per l'individuazione di uno specifico genere vegetale. L'obiettivo che ci siamo proposti è la classificazione delle immagini satellitari e la successiva estrazione della classe '*Platanus*' utilizzando il metodo della classificazione supervisionata (*pixel-based*) ed il metodo di classificazione ad oggetti (*object-oriented*, OBIA). L'approccio di classificazione *pixel-based* utilizza le informazioni di riflettanza contenute nei *pixels* dell'immagine. L'assegnazione delle classi avviene a livello del singolo pixel e dipende esclusivamente dal suo contenuto digitale informativo per cui le uniche informazioni disponibili sono quelle relative al contenuto spettrale dell'immagine. I *pixels* dell'immagine vengono classificati uno ad uno in funzione dell'informazione radiometrica con l'algoritmo adottato (Martelli, 2009). L'analisi OBIA sfrutta non solo l'informazione radiometrica dei *pixels* ma anche le proprietà semantiche degli oggetti da analizzare; oggetti (poligoni) generati tramite una prima fase di segmentazione a partire dall'immagine grezza (Blaschke, 2010).

Area di studio e dati impiegati

L'area campione scelta per il progetto risiede all'interno della città di Pavia, capoluogo dell'omonima provincia in Regione Lombardia, posta sul fiume Ticino, e si estende per una superficie di circa 40 kmq (Figura 1).

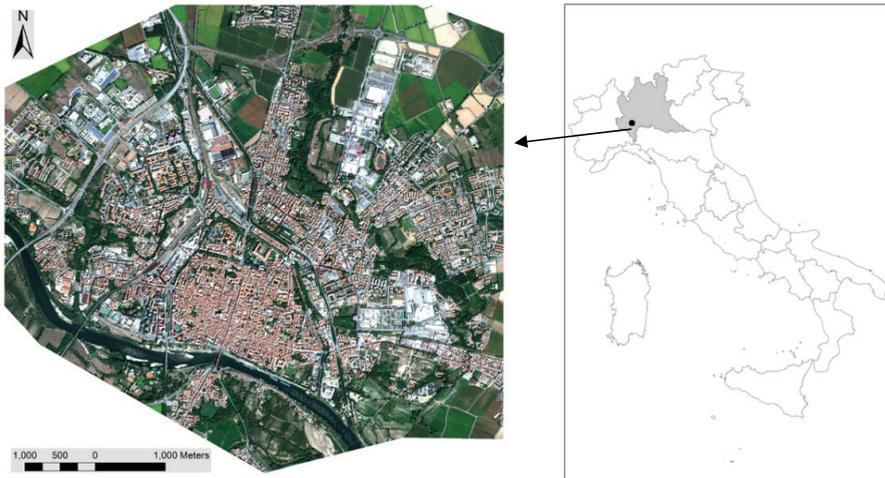


Figura 1 - Città di Pavia, Lombardia, Italia.

Le immagini satellitari multispettrali utilizzate provengono da riprese acquisite dal satellite GeoEye (GE) il 24 maggio 2012 e dal satellite WorldView-2 (WV02) il 09 settembre 2013. Entrambi i satelliti WV02 e GE sono dotati di sensori multispettrali in grado di registrare la quantità di energia riflessa di oggetti della superficie terrestre in un *range* di lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico che varia dal visibile al vicino infrarosso (400 nm – 1040 nm). Il WV02 presenta una risoluzione spettrale, in termini di numero di bande rilevate e relativa larghezza, maggiore rispetto al GE (Pu *et al.*, 2012); mentre in termini di risoluzione geometrica, dimensione dell'impronta a terra di un singolo *pixel*, non vi sono differenze (Tabella 1).

Tabella 1 - Principali caratteristiche dei dati satellitari di input.

Sensore	Numero di bande	Intervallo lunghezze d'onda	Risoluzione spettrale	Risoluzione geometrica	Risoluzione radiometrica	
GeoEye	3 V	450-510 nm (B)	35-140 nm (VNIR)	1.84 m (VNIR)	11 bits	
	1 NIR	510-580 nm (G)	350 nm (pan)	0.46 m (pan) a nadir		
	1 pan	655-690 nm (R).				
		780-920 nm (NIR)				
WorldView-2	6 V 2 NIR 1 pan	400-450 nm (C)	40-180 nm (VNIR)	1.84 m (VNIR)	11 bits	
		450-510 nm (B)	350 nm (pan)	0.46 m (pan) a nadir		
		510-580 nm (G)				
		585-625 nm (Y)				
		630-690 nm (R)				
		705-745 nm (RE)				
		770 895 nm (NIR1)				
		860-1040 nm (NIR2)				
		450-800 nm (pan)				

Le immagini, essendo state registrate in tempi differenti (Maggio 2012 e Settembre 2013) e corrispondenti a due fasi fenologiche distinte, sono state elaborate con le dovute precauzioni metodologiche per quanto riguarda la ortorettificazione e la co-registrazione delle stesse. Si rammenta che l'assetto idoneo per poter affrontare una analisi multi-temporale dovrebbe prevedere l'utilizzo di immagini satellitari riprese nello stesso anno (maggio e settembre) e un campionamento terrestre svolto nell'intervallo di tempo delle riprese, in quanto le alberature possono cambiare

aspetto da un anno all'altro a seguito di patologie o stress climatici oppure scomparire a causa di abbattimenti preventivi.

Dati GPS, in formato vettoriale, dei generi Aceri, Conifere, Erba, Pioppi, Platani, Tigli, Querce, Prunus, Fraxinus, Ippocastani, Robinia e Celtis provengono da un censimento arboreo di Pavia effettuato nel 2008 con successivi aggiornamenti sino al 2013. Il campionamento terrestre effettuato tramite GPS Trimble antenna Zephyr rispecchia la realtà con una affidabilità di posizione e di accuratezza del dato elevatissima essendo stato effettuato da agronomi professionisti che hanno contribuito a costanti aggiornamenti nel corso degli anni dal 2008 al 2013.

Pre-processing dei dati satellitari

La prima fase del processo di analisi è consistita nell'ortorettificazione di entrambe le immagini a cui è seguita la correzione radiometrica e atmosferica, al fine di ottenere due immagini con valori di riflettanza confrontabili. E' seguita poi la coregistrazione delle immagini che ha permesso di ottenere una coerenza geometrica (spaziale) tra le due immagini tramite l'operazione cosiddetta di "warping" con l'utilizzo di una polinomiale di secondo grado. Infine, essendo immagini acquisite da diversi sensori, i dati sono stati uniti creando uno *stack* di bande spettrali ordinate a seconda delle lunghezze d'onda in modo da poter ottenere delle firme spettrali omogenee. L'immagine finale ottenuta con questa procedura è costituita da 12 Bande, 4 appartenenti al GE e 8 bande al WV02. Infine, per facilitare la successiva fase di classificazione, è stato calcolato l'indice NDVI (Rouse *et al.*, 1974) con l'obiettivo di mascherare tutti i *pixels* che presentavano una copertura priva di vegetazione.

Definizione dei training e testing set

Una volta ottenuta l'immagine sintetica a 12 bande sono state individuate le *Region Of Interest* (ROI) per poter generare una classificazione supervisionata (*training set*) e per valutare l'accuratezza della classificazione (*testing set*). I dati GPS ottenuti dal censimento arboreo, sono stati innanzitutto suddivisi in maniera random in due gruppi (*training e testing set*) e grazie alla geolocalizzazione degli stessi è stato possibile selezionare i corrispondenti *pixels* direttamente sull'immagine. Nonostante le correzioni geometriche apportate alle immagini satellitari e la loro coregistrazione, è stato necessario un controllo manuale delle ROI al fine di evitare errori dovuti alle diverse date di acquisizione delle immagini e del campionamento a terra.

In totale sono state create 12 ROI ognuna composta da circa 100 *pixels* distribuiti all'interno di tutta l'area di studio.

L'analisi grafica delle firme delle ROI relative al *training set* (Figura 2) mostra un andamento differente del Platano nella regione spettrale del verde e del rosso (560 – 660 nm) rispetto agli altri generi; tale caratteristica conferma le considerazioni precedenti sul diverso comportamento del ciclo fenologico nel mese di settembre e dimostra come si è reso necessario un approccio multi-temporale per la classificazione del genere *Platanus spp.*

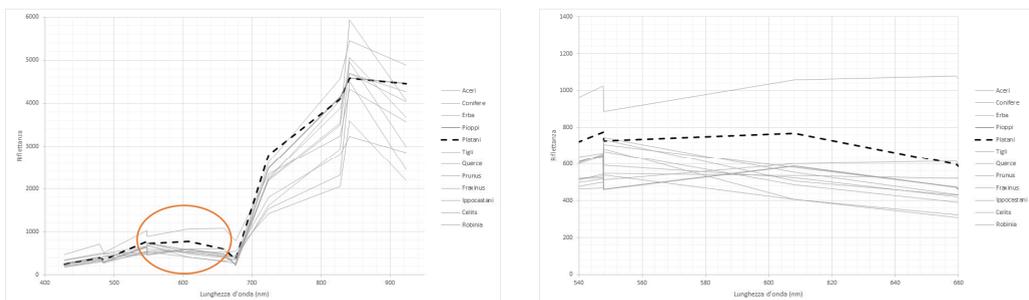


Figura 2 - Training set: confronto firme spettrali dei generi arborei.

CLASSIFICAZIONE PIXEL-BASED

La prima tipologia di classificazione adottata è rappresentata da una classica tecnica *pixel-based supervised*. Questo tipo di classificazione necessita di un certo numero di campioni (*training set*) indispensabili come riferimento per addestrare l'algoritmo e assegnare una specifica etichetta (classe) ad ogni *pixel*. Si è scelto di adottare l'algoritmo di Massima verosimiglianza (*Maximum Likelihood*), che calcola le statistiche di ogni campione per poi calcolare la probabilità di appartenenza (verosimiglianza) di ogni singolo *pixel* ad una specifica classe (Richards, 1999). Infine, è stato applicato un filtro *Majority* con un *kernel* 5x5, al fine di omogeneizzare il risultato della classificazione e minimizzare il problema "sale e pepe" che in alcuni ambiti rischiava di manifestarsi (Rapinel *et al.*, 2014).

CLASSIFICAZIONE OBJECT-BASED

La seconda tipologia di analisi affrontata per il processing semi automatico delle immagini satellitari è stata la tecnica di classificazione denominata *Object Based Image Analysis* (OBIA). Si tratta di una tecnica che permette di sfruttare non solo l'informazione radiometrica dei pixels (approccio *pixel-based*) ma anche le proprietà semantiche degli oggetti da classificare, oggetti (poligoni) generati tramite una prima fase di segmentazione a partire dall'immagine grezza (Blaschke, 2010). Il risultato finale è di natura vettoriale compatibile con GIS, e rende il prodotto più vicino alle aspettative degli utenti finali ed ai canoni standard tradizionali della cartografia tematica (Antunes *et al.*, 2003).

All'interno della copertura vegetale questo metodo analizza i *pixel* e li aggrega per valori simili creando una stratificazione di *layer* con caratteristiche simili. Dal controllo terrestre si attribuiscono i valori calcolati alle classi di appartenenza ed il tutto può essere esportato sulle piattaforme GIS come dato vettoriale.

La tecnica di classificazione ad oggetti permette di superare il cosiddetto effetto "sale e pepe" delle mappe tematiche provenienti da una classificazione *pixel-based*. Si ha così una definizione delle regioni che, in maniera auto-consistente, corrispondono agli oggetti reali, etichettate con un singolo attributo. Non più pixel misti, ma mappe che diventano un prodotto GIS direttamente utilizzabile (Malinverni *et al.*, 2011). Il processo di classificazione *object-based* analizzato si compone da due azioni: la segmentazione e la classificazione. E' stata scelta come piattaforma per l'elaborazione dei dati digitali il *software* E-Cognition Developer della Trimble.

La segmentazione è un processo di suddivisione di un'immagine in porzioni separate (oggetti/poligoni) che sono dei raggruppamenti di *pixels* vicini che presentano analoghe caratteristiche come lucentezza, colore, tessitura. I poligoni corrispondono idealmente ad oggetti appartenenti al mondo reale (Baatz & Shape, 2000).

La scelta della scala di aggregazione degli oggetti geometrici generati automaticamente è di fondamentale importanza in quanto la tecnica prevede diversi livelli fino al raggiungimento della dimensione ottimale di classificazione. Il dataset di partenza è lo stesso descritto nel capitolo precedente con l'aggiunta dei filtri di dissimilarità e di *Sobel* calcolati a partire dalla banda dell'infrarosso dell'immagine GeoEye. I filtri dissimilarità e di *Sobel* sono degli algoritmi utili al riconoscimento dei contorni degli oggetti (*edge detection*) e utilizzati in questo studio per guidare la fase di segmentazione ed una prima fase di classificazione mirata all'individuazione delle componenti arboree e arbustive (Kittler, 1983; Johansen *et al.*, 2007).

E' stato individuato un primo livello di segmentazione L1 dando peso maggiore all'informazione derivante dai filtri di dissimilarità e di *Sobel* con l'obiettivo di riconoscere oggetti di grandi dimensioni e facilitarne la successiva classificazione.

Questi oggetti rappresentano campi agricoli e superfici a prato con vegetazione verde al momento della ripresa; in questo modo i poligoni rimasti rappresentano univocamente la vegetazione arborea e arbustiva. Il secondo livello di segmentazione L2 è stato creato a partire da L1; il fattore di scala minore rispetto al livello di segmentazione precedente ha permesso l'individuazione di poligoni

rappresentanti le singole corone (o filari) degli alberi e superfici di erba di piccola taglia. L'ultimo livello di scala vede il coinvolgimento del raggruppamento delle diverse classi di alberi (Tabella 2). La fase di classificazione prevede l'assegnazione di una classe (etichetta) ad ogni oggetto (poligono) ottenuto da ogni singolo livello di segmentazione. L'operatore definisce le regole (*decision tree*), le quali attribuiscono agli oggetti, sull'immagine, una determinata classe; in alternativa le regole possono essere definite attraverso una fase di addestramento (*training*). La potenzialità dell'approccio OBIA è la possibilità di utilizzare non solo le caratteristiche spettrali, ma anche le numerose caratteristiche geometriche, strutturali e relazionali dell'oggetto.

Come descritto in precedenza, il primo livello di segmentazione L1 è stato creato al fine di delineare oggetti di grandi dimensione. La classificazione è stata quindi completata creando una regola basata sui valori del filtro di dissimilarità; tutti gli oggetti con un valore del filtro di dissimilarità minore di 350 sono stati classificati come campi agricoli e i prati verdi.

Per la classificazione degli oggetti appartenenti al livello L2 sono stati utilizzati i *training set (samples)*, ottenuti come descritto precedentemente. Sono stati importati un numero totale di 221 *samples*, equamente rappresentanti le 12 classi; in automatico il *software* ha calcolato per ogni *sample* le caratteristiche (*features*) del valore radiometrico e di *standard deviation* delle 12 bande della nuova immagine sintetica (GE + VW02). Attraverso l'algoritmo di classificazione *standard nearest neighbor* tutti gli altri oggetti sono stati successivamente associati ad una specifica classe di appartenenza. La classificazione appena descritta è stata applicata solo agli oggetti che hanno ereditato la non appartenenza alla classe campi agricoli e prati verdi individuati al livello L1.

Tabella 2 – Parametri di segmentazione.

Dati di Input	Livello di segmentazione L1	Livello di segmentazione L2
GEOEYE - banda 1	1	1
GEOEYE - banda 2	1	1
GEOEYE - banda 3	1	1
GEOEYE - banda 4	1	1
WORLDVIEW-2 - banda 1	1	1
WORLDVIEW-2 - banda 2	1	1
WORLDVIEW-2 - banda 3	1	1
WORLDVIEW-2 - banda 4	1	1
WORLDVIEW-2 - banda 5	1	1
WORLDVIEW-2 - banda 6	1	1
WORLDVIEW-2 - banda 7	1	1
WORLDVIEW-2 - banda 8	1	1
Filtro di Dissimilarità	10	1
Filtro di Sobel	10	1
Scale	200	100
Shape	0.3	0.3
Compactness	0.5	0.8
Livello iniziale	Pixel	L1

RISULTATI

L'accuratezza di entrambe le classificazioni, ottenute con le tecniche *pixel* e *object-based*, è stata valutata dal punto di vista statistico utilizzando dei *testing set*. L'accuratezza di classificazione in termini di *Overall Accuracy* è risultata essere di 75.3% per quanto riguarda la tecnica *pixel-based* e di 72.55% invece per la tecnica OBIA (Gholoobi *et al.*, 2010). Analizzando la Tabella 3 sottostante appare evidente come questo metodo non sia performante per l'individuazione di alcune classi (es. Aceri, Querce, Frassino e Robinia) mentre per quanto riguarda la classe dei Platani la probabilità che un campione di riferimento di Platano venga riconosciuto come tale dal suo spettro è pari al 91% (*producer's accuracy*). Viceversa la probabilità che un Platano riconosciuto come tale dal suo

spettro rientri nella classe assegnatagli è del 78% (*user's accuracy*). Un esempio di classificazione è riportato in Figura 3.

Tabella 3 - Statistiche di accuratezza della classificazione pixel-based.

Classi	Prod. Acc. (%)	User Acc. (%)
Aceri	45.2	57.6
Conifere	91.0	73.4
Erba	85.2	85.2
Pioppi	85.4	72.9
Platani	91.7	78.7
Tigli	93.9	81.7
Querce	62.4	60.0
Prunus	80.4	80.4
Fraxinus	52.9	43.6
Ippocastani	96.1	94.3
Robinia	43.9	51.6
Celtis	59.8	76.2



Figura 3 - Esempio di rappresentazione a colori reali di un subset spaziale dell'immagine sintetica a 12 bande [a] e relativo riconoscimento del genere *Platanus spp* [b]. Nell'immagine di destra in giallo il risultato della classificazione pixel-based e in fucsia la campagna a terra GPS relativi al solo genere *Platanus*.

L'utilizzo di immagini satellitari multispettrali ci ha permesso di creare una procedura che permette di stimare con discreta approssimazione la posizione dei Platani. Utilizzare dati temporalmente vicini sia come campione terrestre GPS che come riprese satellitari migliorerebbe sicuramente la *Overall Accuracy* della classificazione. Il campionamento terrestre si rende necessario e significativo quando raggiunge un numero minimo di piante tale da poter creare un *training* ed un *testing set* sufficientemente rappresentante la distribuzione della classe. Il numero totale dei Platani censiti con GPS compresi nella ripresa satellitare sono 743, di cui 80% adulti e 20% giovani. Le piante giovani potrebbero non essere state classificate in virtù della loro ridotta superficie fogliare rispetto alla risoluzione del pixel (1.8 mq). Stimando la superficie media di una corona di un platano adulto in circa 140-150 mq (raggio 6/7 mt) e, utilizzando la superficie totale classificata del genere platano pari a circa 192.000 mq, è stato possibile calcolare il numero dei soggetti arborei pari a 1.280 esemplari. Tale valore, sebbene di discosti dal numero di platani censiti (743), è assolutamente coerente con l'analisi condotta in quanto l'immagine satellitare non discrimina l'ambito pubblico, l'ambito privato e le aree boschive, mentre il rilievo GPS si è concentrato solo nell'ambito pubblico.

CONCLUSIONI

L'utilizzo di immagini multispettrali satellitari si è dimostrato essere un valido strumento a basso costo in grado di individuare con una discreta approssimazione la posizione dei Platani.

Partendo da elaborazioni non soddisfacenti che utilizzavano solo le bande di un satellite (es. GeoEye 4 bande multispettrali), si è arrivati a sperimentare un metodo che, attraverso l'unione di più bande multispettrali di due satelliti e sfruttando l'analisi multi-temporale di due riprese, ha incrementato le informazioni spettrali fino a ottenere un'accuratezza del genere *Platanus spp.* pari al 91% (*producer's accuracy*) e 78% (*user's accuracy*). Tale valore permette una localizzazione discretamente accurata del Platano sul territorio, anche in contesti di proprietà privata o in ambiti boschivi difficilmente accessibili.

Questa metodologia ha condotto ad un risultato interessante e incoraggiante, che supera i limiti tecnologici (in termini di risoluzione spettrale) dei satelliti commerciali ad alta risoluzione geometrica. Un campionamento terrestre si rende comunque necessario al fine di poter creare i training e i testing set. Sarebbe inoltre interessante utilizzare dati di input temporalmente vicini sia come verità al suolo che come riprese satellitari al fine di diminuire gli errori dovuti ai cambiamenti del territorio: infatti le alberature possono cambiare aspetto da un anno all'altro a seguito di patologie o stress climatici oppure scomparire a causa di abbattimenti preventivi.

L'avvento di nuove tecnologie, come ad esempio l'utilizzo del nuovo satellite WorldView-3 oppure l'impiego di un drone (UAV) dotato di sensore multi/iperspettrale, potrebbe sicuramente portare a risultati interessanti con valori di accuratezza maggiori.

BIBLIOGRAFIA

- Antunes A. F. B., Lingnau C., Da Silva J. C. (2003), "Object Oriented Analysis And Semantic Network For High Resolution Image Classification", *Anais XI SBSR. Belo Horizonte*, Brasil, INPE, p. 273-279.
- Baatz M., Shape A., (2000), "Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation", *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*, Wichmann, Heidelberg, pp. 12-23, 2000.
- Blaschke, T. (2010), "Object based image analysis for remote sensing", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65(1):2-16.
- Ghoolobi M., Tayyebib A., Taleyi M., Tayyebi A. H. (2010), "Comparing pixel based and object based approach in land use classification in mountainous areas", *International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Science*, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan.
- Johansen, K., Coops, N.C., Gergel, S.E., Stange, Y. (2007), "Application of high spatial resolution satellite imagery for riparian and forest ecosystem classification", *Remote Sensing of Environment*, 110 (1).
- Kittler J. (1983), "On the accuracy of the Sobel edge detector", *Image and Vision Computing*, 1 (1).
- Malinverni E. S., Frontoni E., Mancini A., Zingaretti P. (2011), "Classificazione ad oggetti di mappe uso del suolo: esempi a confronto", Reggio di Colorno 15-18 Novembre 2011.
- Martelli C. (2009), *Estrazione di features con tecniche di classificazione pixel e object-oriented*. Tesi di Laurea D.I.S.T.A.R.T. in Telerilevamento UNIBO.
- Pu R., Landry S. (2012), "A comparative analysis of high spatial resolution IKONOS and WorldView-2 imagery for mapping urban tree species", *Remote Sensing of Environment*, Volume 124, Pages 516-533.
- Rapinel S., Clément B., Magnanon S., Sellin V., Hubert-Moy L. (2014), "Identification and mapping of natural vegetation on a coastal site using a WorldView-2 satellite image", *Journal of Environmental Management*, 1;144:236-46.
- Richards J.A. (1999), *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin.
- Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., and Deering D. W. (1974), "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS", *Third ERTS Symposium*, NASA SP-351 I, 309- 317.
- Tigges J., Lakes T., Hostert P. (2013), "Urban vegetation classification: Benefits of multitemporal RapidEye satellite data", *Remote Sensing of Environment*, Volume 136, September 2013, Pages 66-75.