

# Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione per la realizzazione di mappe dei limiti delle aree edificate nei piccoli agglomerati urbani

A.B. Della Rocca, A. Danzi, L. La Porta, S. Marcoccia, M. Pollino

ENEA – C.R. CASACCIA, Via Anguillarese 301 - 00060 ROMA  
Tel.: 06.30486159 – Fax: 06.30486038 - e-mail: dellarocca@casaccia.enea.it

## Riassunto

Presso il Laboratorio EDI (*ENEA Digital Imagery*) è stata sviluppata una originale metodologia, per la quale sono state utilizzate due immagini QuickBird (pancromatica e multispettrale *in bundle*). Esse sono state ortorettificate e sottoposte al processo di *pan-sharpening*, ottenendo una nuova immagine con tre bande sintetiche ricampionate con risoluzione pari a 0,61 m.

Seguendo l'approccio *supervised*, l'immagine *pan-sharpened* è stata classificata, in modo da identificare la classe degli edifici e quella (distinta) delle zone d'ombra da essi stessi generate. Successivamente, i risultati della classificazione sono stati elaborati mediante una innovativa procedura che prevede la selezione dei potenziali edifici sulla base di precisi criteri geometrici e morfologici, e l'analisi della contiguità con zone d'ombra, effettuata attraverso l'applicazione di un algoritmo specificatamente sviluppato.

In tal modo, sono stati individuati una serie di poligoni reputati edifici reali con un accettabile grado di confidenza. La posizione geografica degli edifici ottenuti unitamente alla loro rispettiva estensione superficiale sono state utilizzate per stimare la distribuzione della densità di edificato (intesa come metri quadrati di edificato per ogni metro quadrato di territorio). Individuando un significativo valore di soglia di tale densità, è stata prodotta in modo automatico ed estensivo una mappa aggiornata dei limiti delle zone edificate presenti all'interno della area di studio.

## Abstract

*This paper focuses on delimitation of agglomerations in small urban areas by processing two very high spatial resolution satellite images (QuickBird). The study area is located in Southern Italy Puglia and Molise Regions. Two images (0,62 m panchromatic and 2,52 m multispectral) are processed by orthorectification and pan-sharpening. The pan-sharpened image has been classified using the supervised approach, in order to identify the buildings and the shade zones produced by them. Subsequently, classification results have been processed by an innovative procedure, where the selection of the "potential buildings" is based on precise geometrical and morphological criteria. This process also takes into account the analysis of the contiguity of buildings with shade zones, through the application of a specifically developed algorithm.*

*In such a way, a series of polygons considered real buildings has been identified with an acceptable confidence degree. The geographic position of the buildings and their respective extension have been used to estimate the distribution of the density of built-up ( $m^2$  of built-up for  $m^2$  meter of territory). A significant density threshold value has been fixed, in order to produce, automatically and extensively, an up-to-date map of the limits of the built-up zones located inside the study area.*

## 1 Introduzione

Negli ultimi anni molti agglomerati urbani hanno vissuto notevoli cambiamenti territoriali che, tra l'altro, hanno condotto ad un aumento dell'estensione superficiale e ad una significativa variazione morfologica. In genere, l'impronta planimetrica di un agglomerato urbano è ben diversa dall'area racchiusa dai suoi confini amministrativi e risulta, piuttosto, formata dalla effettiva distribuzione sul territorio di edifici e strutture urbane. Conoscere l'andamento cartografico aggiornato di tale perimetro costituisce un presupposto di informazione indispensabile per numerose e diversificate esigenze operative di pianificazione territoriale e per la programmazione di interventi.

Presso il laboratorio EDI (*ENEA Digital Imagery*) è stato condotto uno studio finalizzato alla generazione di una mappa dei limiti delle aree edificate in piccoli agglomerati urbani attraverso lo sviluppo di una procedura semi-automatica di elaborazione di immagini satellitari ad alta risoluzione (QuickBird) riprese nel mese di giugno 2003.

Per piccolo agglomerato urbano si intende un insieme di edifici di varia natura (abitazioni, edifici industriali, casali, ecc.) disposti nelle adiacenze di una via di comunicazione. Tale definizione non ha implicazioni economiche o sociali, ma nella sua semplicità permette di tradurre il concetto di agglomerato nella pratica delle elaborazioni previste.

L'area presa in esame (Figura 1) è situata al confine tra Puglia e Molise, nelle province di Foggia e Campobasso, dove sono presenti alcuni piccoli centri abitati, quali: Serracapriola (FG), Chieuti (FG), Ururi (CB), Nuova Cliternia (CB), San Martino in Pensilis (CB).

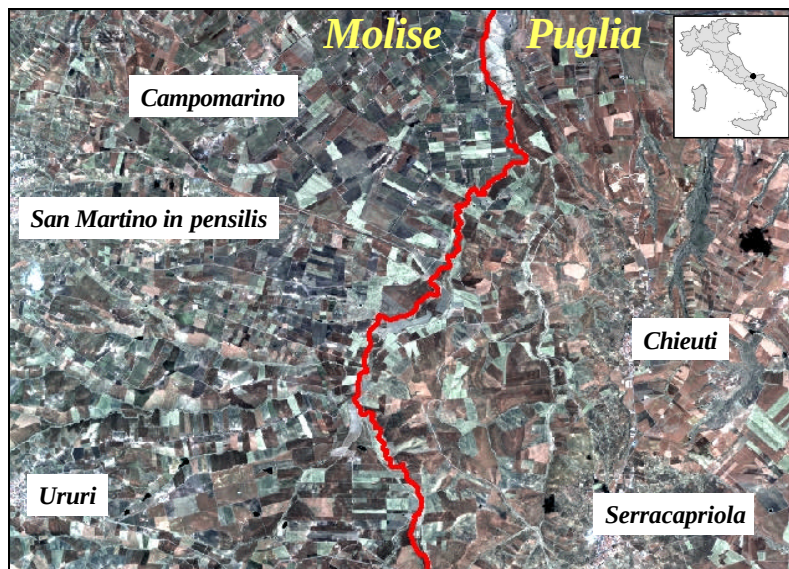


Figura 1 – Area di studio

## 2 Metodologia

La procedura di elaborazione delle immagini QuickBird, finalizzata all'estrazione delle informazioni di interesse, è stata effettuata in ambiente *software* ERDAS Image ed ESRI ArcGIS, con in aggiunta lo sviluppo di alcuni algoritmi specifici in linguaggio VBA. Essa può sintetizzarsi nei seguenti passi operativi:

- *pre-processing* dei dati acquisiti;
- estrazione degli edifici mediante procedure di classificazione ed algoritmi di selezione;
- generazione della mappa delle aree urbanizzate mediante la stima della densità di edificato.

### 2.1 Set di dati e *pre-processing*

Sono state acquisite:

- 2 immagini satellitari QuickBird (*Basic Imagery*: dimensione scena 16,5 x 16,5 km), 16 bit, pancromatica (0,62 m) e multispettrale (2,52 m) *in bundle* riprese il 5/6/2003 con angolo zenitale di vista = 10,81°.
- 33 Carte Tecniche Regionali (CTR) a scala 1:5000 delle Regioni Puglia e Molise (in formato *raster*).

I dati acquisiti sono stati sottoposti a processi di elaborazione per essere impiegati nelle fasi successive del lavoro:

- Generazione di un *Digital Elevation Model* (2,0 m di risoluzione) mediante interpolazione di punti quotati digitalizzati sulle CTR con interpolatore stocastico basato sul metodo *kriging*, assumendo un variogramma sferico anisotropo. Tale modello, nel ricostruire l'andamento altimetrico dell'area di studio, si è dimostrato più accurato rispetto al TIN prodotto sulla base degli stessi punti.
- Georeferenziazione in UTM-ED50 Fuso 33 e ortocorrezione delle immagini satellitari mediante il metodo delle Funzioni Polinomiali Razionali (Toutin, 2000; Tao, Hu, 2001; Dowman, Tao, 2002; Dial, Grodecki, 2004), per cui la trasformazione tra le coordinate di un punto dell'immagine e le coordinate del punto corrispondente sul terreno è descritta tramite una relazione funzionale di tipo matematico che non tiene conto del processo fisico-geometrico di generazione dell'immagine stessa, ma esprime tale trasformazione mediante il rapporto di due polinomi. I coefficienti associati a tale rapporto sono contenuti nel *file RPC* fornito a corredo delle immagini dalla società distributrice (*Digital Globe Inc.*). Per migliorare l'accuratezza dell'ortocorrezione sono stati individuati 20 GCP (*Ground Control Points*) ed è stato impiegato il DEM generato dalle CTR.
- Generazione di due immagini *pan-sharpened* (0,62 m di risoluzione) a colori reali (bande 3,2,1: rosso, verde, blu) e in falso colore (bande 4,3,1: infrarosso vicino, rosso e blu), ottenute dalla fusione dei canali RGB con il canale pancromatico mediante l'applicazione di un algoritmo di *Resolution Merge*. L'immagine *true color* (3,2,1) è stata prodotta ai fini della foto-interpretazione e della verifica dei risultati della successiva classificazione. L'immagine nelle bande 4,3,1 è stata utilizzata per il processo di classificazione che verrà descritto successivamente. La maggior risoluzione geometrica delle immagini *pan-sharpened* rispetto all'immagine multispettrale e il maggior contrasto migliorano l'estrazione degli edifici in quanto ne esaltano i contorni, nonostante il processo di *pan-sharpening* possa alterare il contenuto radiometrico delle immagini di partenza.

## 2.2 Classificazione

L'immagine *pan-sharpened* 4,3,1 è stata sottoposta a classificazione di tipo *supervised*. Mediante foto-interpretazione dell'immagine 3,2,1 (Figura 2-a) sono state riconosciute differenti classi di copertura del suolo (edifici, ombre, strade, terreno coltivato, suolo nudo, boschi, specchi d'acqua), per le quali sono state estratte le firme spettrali (*signature*) dall'immagine 4,3,1 mediante l'individuazione di specifiche aree campione (*training areas*).

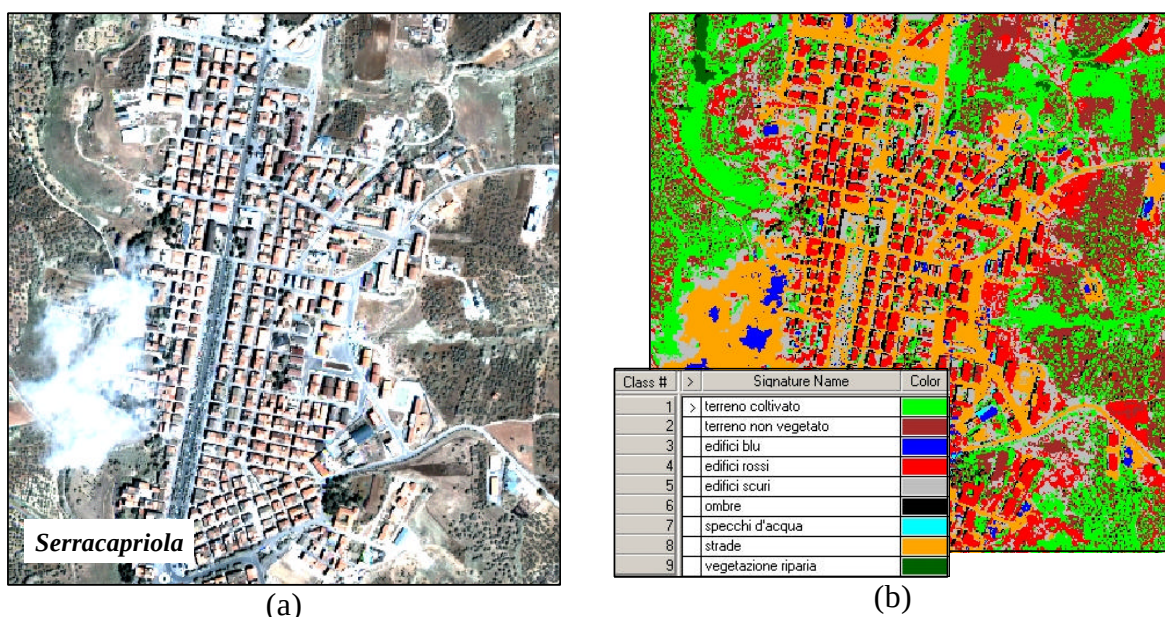


Figura 2 - (a): immagine *pan-sharpened* 3,2,1. (b): risultati della classificazione

La classificazione (Figura 2-b) è stata eseguita mediante l'algoritmo di classificazione a massima verosimiglianza (*Maximum Likelihood*), il quale si basa sull'ipotesi che ogni classe spettrale possa essere descritta da una distribuzione di probabilità nello spazio multispettrale, ossia da una distribuzione multivariata con tante variabili quante sono le bande utilizzate. Questa distribuzione descrive la probabilità di trovare un *pixel* appartenente ad una certa classe in una certa regione dello spazio delle bande. L'adozione di tale algoritmo richiede che la distribuzione della radiometria dei *pixel* di ciascuna classe nelle tre bande sia normale o unimodale. I campioni scelti sono stati analizzati per verificare il rispetto delle ipotesi di distribuzione normale multivariata, sostituendo quelli che non soddisfacevano il suddetto criterio.

Dal confronto con l'immagine 3,2,1 sono emersi alcuni errori nella classificazione: l'algoritmo ha mostrato difficoltà a distinguere oggetti che hanno risposta spettrale simile, in particolare nei casi di edifici a tetto scuro e strade oppure di edifici a tetto scuro e suolo nudo. Per ridurre l'entità di tali errori (arrivando in alcuni casi alla loro completa eliminazione), sono stati applicati metodi comprendenti funzioni di mascheramento di oggetti e funzioni di analisi di tipo GIS.

### 2.3 Tecniche di miglioramento dei risultati della classificazione: estrazione degli edifici

Dall'immagine classificata è stata estratta la classe dei cosiddetti "probabili edifici", generando la corrispondente immagine tematica necessaria per la produzione della carta finale dei confini delle aree urbanizzate. Tale immagine tematica, a sua volta, è stata sottoposta ad una operazione di raggruppamento tramite *clump* in modo da assegnare un identificativo univoco a ciascun raggruppamento di *pixel* corrispondente ad un singolo edificio.

Successivamente, per ridurre significativamente gli errori della classificazione, sono stati fissati una serie di criteri di selezione geometrici e morfologici (area, perimetro, forma, rapporto lunghezza/larghezza), applicati per passi successivi. Innanzitutto, è stata operata sull'immagine in formato *raster* una prima selezione mediante l'utilizzo iterativo della funzione *sieve*, in modo da identificare raggruppamenti di *pixel* omogenei di dimensioni areali comprese tra una soglia limite superiore (2500 m<sup>2</sup>) ed una soglia limite inferiore (100 m<sup>2</sup>).

Dopo la conversione in formato vettoriale, i "probabili edifici" sono stati ulteriormente filtrati sulla base di un fattore di forma stimato attraverso il calcolo degli autovalori e degli autovettori dell'ellissoide di inerzia. Esso è, in generale, una superficie che permette di descrivere analiticamente la distribuzione di massa di un corpo rigido; in questo caso specifico, un simile approccio fornisce uno strumento razionale per la stima della geometria di poligoni ("probabili edifici"), aventi spesso forme molto irregolari e quindi di difficile descrizione analitica.

Nel risultato della selezione basata sui suddetti criteri geometrico-morfologici, tuttavia, continuano ad essere presenti un certo numero di poligoni erroneamente classificati come edifici. Tale problema è stato affrontato mediante un'originale metodologia basata sulla selezione dei "probabili edifici" in ragione della loro contiguità a zone d'ombra. Infatti, gli edifici, come altri oggetti dotati di una certa altezza rispetto al suolo, proiettano - al momento dell'acquisizione dell'immagine - l'ombra a NO, essendo l'angolo azimutale del sole 138,18° e l'angolo di elevazione pari a 65,60°. Per determinare l'appartenenza dell'ombra all'edificio che la proietta è stata appositamente sviluppata una *macro* in VBA (Figura 3) e sono state utilizzate una serie di funzioni di analisi GIS (*buffering*, *query*, ecc.).

La procedura sviluppata si articola sui seguenti passaggi:

1. Estrazione della classe "ombre" dall'immagine classificata e conversione in formato vettoriale (campitura in giallo in Figura 4-a);
2. Generazione di un *layer* di "coni d'ombra" applicati

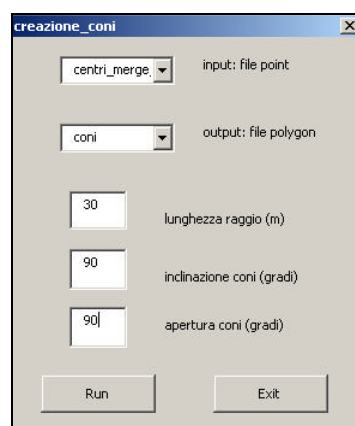


Figura 3 – Finestra di dialogo per la creazione dei "coni d'ombra"

- sul centroide di ciascun edificio, mediante una *macro* in VBA (Figura 3 e Figura 4-b);
3. Creazione, intorno agli edifici, di una fascia di rispetto (*buffer*) larga 3 m (Figura 4-c);
4. Intersezione tra la fascia di rispetto e il cono d'ombra (Figura 4-d);
5. Selezione delle ombre che cadono all'interno dell'area di intersezione: ciò garantisce l'appartenenza dell'ombra all'edificio che effettivamente la proietta e non ad un altro elemento (ad es., un albero);
6. Selezione dal *layer* dei "probabili edifici" dei poligoni che distano meno di 2 m dalle ombre individuate secondo la modalità descritta al punto 5.

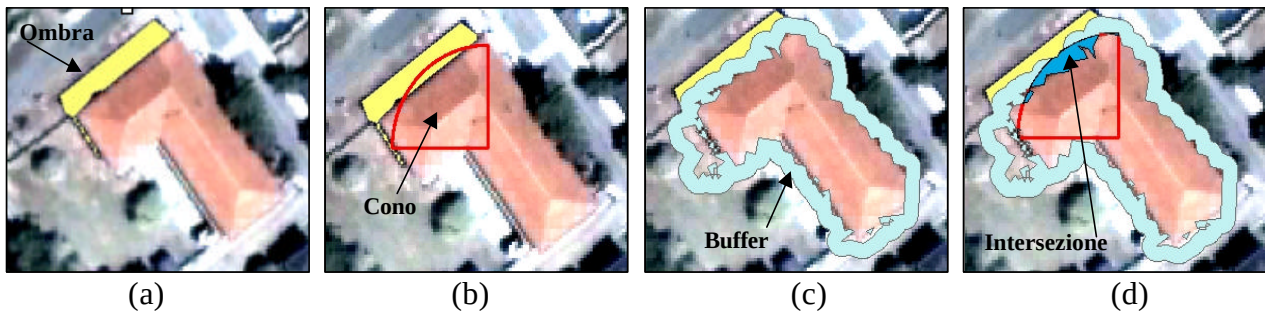


Figura 4 - Selezione degli edifici sulla base della contiguità a zone d'ombra

Questo tipo di procedura si è dimostrato assai efficace, pur avendo manifestato alcuni limiti nell'applicazione all'interno dei centri storici, dove gli edifici sono molto vicini tra loro, e di conseguenza le ombre vengono proiettate sugli edifici adiacenti.

### 3 Generazione della mappa dei limiti delle aree urbanizzate

Per ottenere la delimitazione delle aree urbanizzate (ossia la loro impronta planimetrica) è stata prodotta una mappa della densità di edificato (area di edificato/area di territorio) per mezzo della funzione *Density* di *Spatial Analyst* di ESRI ArcGIS.

La funzione *Density* permette di estendere ad un'area misure puntuali di una determinata grandezza; ad ogni cella del *raster* in uscita è assegnato un valore di densità. La mappa di densità di edificato è stata realizzata producendo il *file* dei centroidi degli edifici, a ciascuno dei quali è stata attribuita l'area dell'edificio stesso; intorno ad essi è stata tracciata un'area circolare (con un raggio di 200 m), all'interno della quale sono stati individuati i punti di misura: sulla base di questi è stata calcolata la densità da attribuire ad ogni cella del *raster* prodotto. Tale calcolo è stato effettuato in modalità *kernel*: i punti di misura più vicini al centro dell'area circolare hanno un peso maggiore di quelli più lontani. Impostando un valore di densità pari a 0,03 come soglia tra aree densamente urbanizzate e aree scarsamente o non edificate, la mappa della densità ottenuta in prima battuta è stata riclassificata

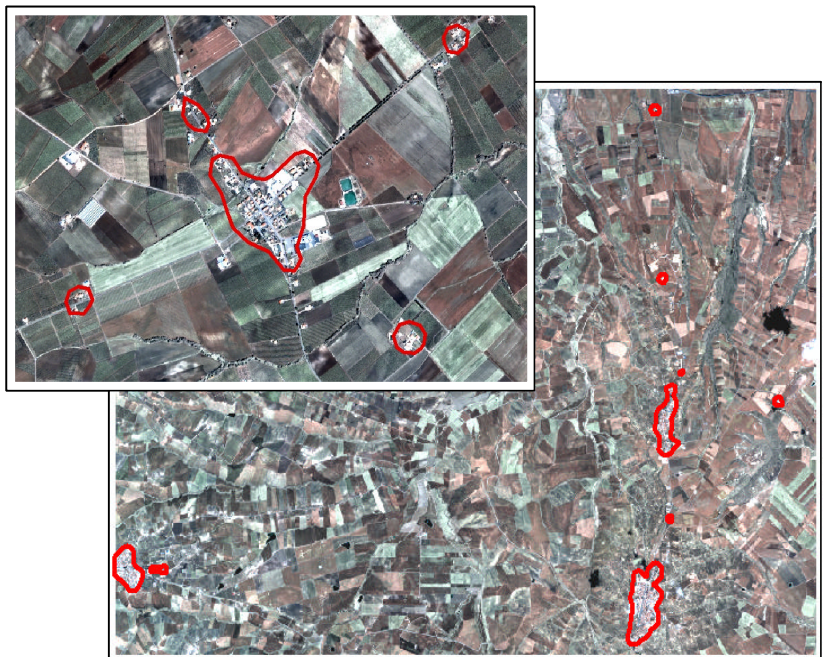


Figura 5 - Mappa dei confini delle aree urbanizzate: in alto a sinistra, particolare dell'area di Nuova Cliternia (CB)

generando un *raster* tematico in cui sono evidenziate le aree urbanizzate. Tale valore di soglia è stato scelto in quanto è risultato, dalle prove effettuate, il più idoneo a rappresentare la realtà dell'urbanizzato del territorio in esame. Il *raster* è stato, quindi, convertito in formato vettoriale: si ottengono così una serie di poligoni che delimitano le aree densamente edificate (densità di edificato =3%). Il risultato finale è un *layer* poligonale delle impronte planimetriche delle aree edificate degli agglomerati urbani (Figura 5).

#### 4 Valutazione dell'accuratezza

L'accuratezza è essenzialmente una misura di quanto correttamente i “*pixel* a terra” sono stati classificati. L'*accuracy assessment* confronta per *pixel* l'immagine tematica classificata (immagine degli edifici) con dati geografici di riferimento assunti come veri (immagine *pan-sharpened* 3,2,1).

Sul *layer* degli edifici in formato *raster* sono stati presi in considerazione 280 *pixel* di riferimento, scelti secondo una distribuzione casuale (*random*). Il numero dei *pixel* di riferimento incide sul valore dell'accuratezza della classificazione: Congalton (1991) ha dimostrato che occorrono più di 250 *pixel* di riferimento per stimare l'accuratezza media di una classe con un'approssimazione del  $\pm 5\%$ . Da questo campione sono stati eliminati 10 *pixel* di riferimento che cadono sulle *training area*, e quindi, per i restanti 270 *pixel* è stato determinato il valore di riferimento al suolo mediante foto-interpretazione dell'immagine *pan-sharpened* 3,2,1. Il risultato finale dell'accuratezza della classe edifici è dato dalla seguente espressione:

$$\text{classification accuracy} = \frac{\text{n° pixel classifica ti correttamente}}{\text{n° pixel totali di riferimento}} \cdot 100 = 80,0 \pm 5\%$$

#### 5 Conclusioni

La diffusione sul mercato di immagini satellitari ad altissima risoluzione ha fornito nuove potenzialità per il monitoraggio e la gestione del territorio. Il loro impiego è particolarmente vantaggioso sia dal punto di vista economico sia da quello operativo. Le immagini satellitari, infatti, a differenza delle ortofoto prodotte tradizionalmente hanno un costo per chilometro quadrato più basso, permettono un monitoraggio con frequenza temporale maggiore e si prestano ad elaborazioni di *image processing* finalizzate alla classificazione. In questo contesto, è stato possibile sviluppare e mettere a punto la procedura semi-automatica di generazione della carta dei limiti delle aree urbanizzate basata sull'elaborazione di immagini QuickBird. Essa ha permesso di avere, in tempi relativamente brevi, una cartografia tematica aggiornata della realtà urbana, in grado di rispondere alle esigenze di coloro (amministratori, pianificatori, ricercatori, ecc.) che hanno necessità di conoscerne i cambiamenti (variazioni di forma, espansioni, ecc.). In futuro, la metodologia potrà essere ulteriormente affinata, migliorando la classificazione ed in particolare la capacità di riconoscere la forma o i contorni degli oggetti estratti (edifici).

#### 6 Bibliografia

- Dial G., Grodecki J. (2004), “RPC replacement camera models”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34, Part XXX
- Toutin T. (2004), “Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods”, *International Journal of Remote Sensing*, 25(10): 1893–1924
- Dowman I., Tao V. (2002), “An update on the use of rational Functions for Photogrammetric Restitution”, *ISPRS Highlights*, 7(3): 22-29
- Tao C., Hu Yong (2001), “The Rational Function Model: a tool for processing high-resolution imagery”, *Earth Obseravtion Magazine*, 10(1): 13-16
- ERDAS Field Guide™ (1999), ERDAS Inc., Atlanta, Georgia
- Congalton R. G. (1991), “A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data”, *Remote Sensing of Environment* 37(1): 35-46