

TELERILEVAMENTO DA SATELLITE AD ALTA RISOLUZIONE PER IL MONITORAGGIO DEL TERRITORIO DA PARTE DELLA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE

Francesco IMMORDINO (*), Vincent OTTAVIANI (**), Gianluca MASSEI (**), Silvia GRASSI (***)

(*) ENEA Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente - *Protezione del Territorio e dell'Ambiente - Prevenzione e Mitigazione Rischi Naturali*, via Martiri di Monte Sole, 4 - 40128 Bologna. E-mail: immo@bologna.enea.it

(**) Comune di Foligno, *Servizio Ambiente* - Via Gentile da Foligno 28, - 06034 Foligno - Perugia. E-mail: ambiente@comune.foligno.pg.it

(***)Università degli Studi di Perugia, Facoltà di Ingegneria, *DICA - Sezione Ambientale*, Via G. Duranti, 93 - 06125 Perugia. E-mail: silvia@silviagrassi.it

Riassunto

Con il presente lavoro viene descritto il processo di produzione di dati cartografici e tematici da immagini satellitari ad alta risoluzione QuickBird ed il loro utilizzo da parte di una pubblica amministrazione di dimensione medio-grande per la gestione del proprio ambiente e territorio.

L'elevata risoluzione geometrica delle immagini pancromatiche e l'elevata risoluzione radiometrica di quelle multispettrali consentono di produrre dati cartografici di elevato contenuto metrico e interpretativo e carte tematiche funzionali alla pianificazione del territorio e dell'ambiente. La possibilità di acquisizioni frequenti e i ridotti tempi di elaborazione consentono di eseguire il monitoraggio territoriale ed ambientale e di aggiornare i dati cartografici ed i vari tematismi con continuità nel tempo. Sono stati individuati nuovi indici della qualità ambientale e territoriale, desumibili direttamente dalle immagini ad alta risoluzione, compatibili con la scala comunale. Il monitoraggio di detti indici contribuirà, attraverso il processo di Agenda 21 Locale, ad indirizzare il governo della città secondo criteri di sostenibilità.

Abstract

The present work shows an applied example of the management of an ample portion of territory within the administrative boundaries of a township through the use of high resolution QuickBird satellite imagery. This type of data, by its intrinsic characteristics, having been acquired through panchromatic and multispectral sensors, and for its extensive land dimensions, contains an abundance of information, both geometric and radiometric, allowing for applications both in management of the urban network and fundamental urban planning of large-scale public works, as well as for environmental control planning and much more.

Introduzione

Lo svolgimento del progetto può essere sintetizzato in tre fasi. Nella prima le immagini QuickBird vengono preprocessate (*pan-sharpened*), corrette geometricamente e ortorettificate. In particolare vengono prodotti ortofotopiani delle immagini *pan-sharpened* con GSD pari a 0.7 m a scala 1:5.000 e ortofotopiani delle immagini multispettrali con GSD pari a 2.8 m a scala 1:15.000 - 1:20.000. Nella seconda fase questi ultimi vengono utilizzati per la produzione di mappe tematiche come uso e copertura del suolo. Nella terza fase vengono elaborati ed organizzati in un data base geografico i prodotti delle prime due fasi, da parte della pubblica amministrazione, per gli usi connessi alla tutela e salvaguardia del territorio e dell'ambiente.

L'area interessata dal rilevamento satellitare si estende per una superficie complessiva di circa 260 Km² e ricopre l'intero territorio del Comune di Foligno – Perugia. La morfologia varia tra il fluviale pianeggiante, il collinare e pedemontano, il montano di tipo appenninico, con quote comprese tra 200 m e 1200 m s.l.m. (Fig. 1). La città di Foligno ed i principali agglomerati urbani sono concentrati nella zona Ovest del territorio comunale, prevalentemente pianeggiante, mentre la fascia collinare e montana, principalmente boscata e a bassa densità abitativa, si estende ad Est.

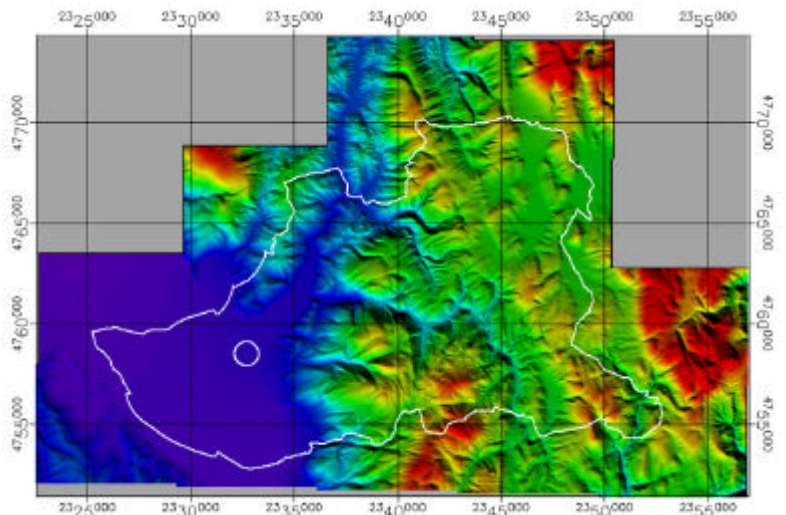


Fig. 1 Inquadramento generale del territorio in esame

Data set e preelaborazione delle immagini

Per la ricerca si dispone di tre serie di immagini QuickBird ritagliate in corrispondenza del limite amministrativo del Comune, acquisite rispettivamente nelle date: 19-24/05/03 (1° serie) (Fig.2), 26/12/03 (2° serie) e 06/07/04 (3° serie), in formato Pan e MS in modalità “bundle” OrthoReady (Fig.3).

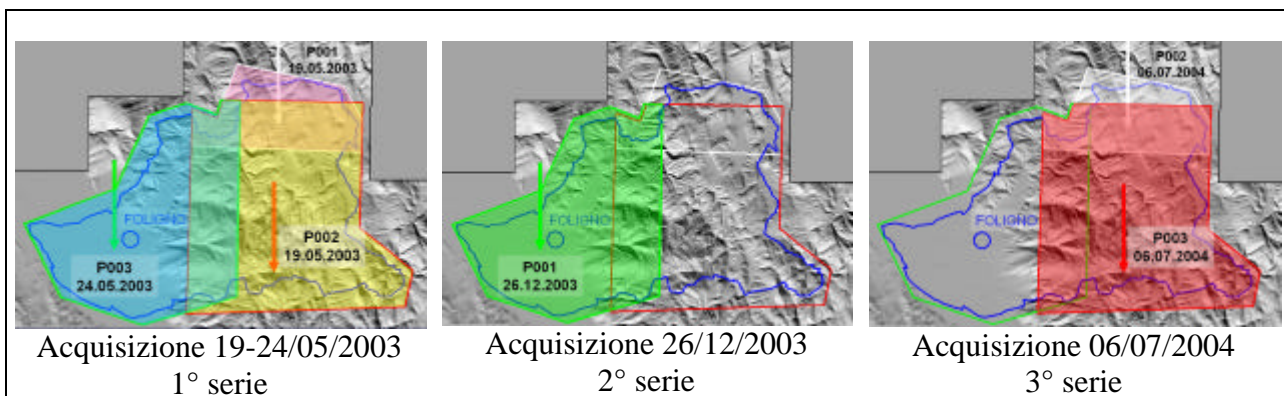


Fig. 3 Inquadramento generale delle immagini acquisite

Al fine di sfruttare a pieno il contenuto geometrico e radiometrico rispettivamente del dato pancromatico e multispettrale, le immagini sono state fuse tra loro tramite la procedura di *pan-sharpening*. Lo scopo di questa tecnica di fusione è quella di ottenere un'immagine multispettrale ad alta risoluzione che combini le informazioni radiometriche del dato a bassa risoluzione con quelle geometriche del dato pancromatico.

I punti di controllo a terra sono stati determinati per mezzo di misure GPS in modalità statica-veloce con precisione plano-altimetrica di circa 10 cm. Sono stati misurati un numero complessivo di 44 GCP (*Ground Control Point*) secondo la distribuzione indicata in Fig.4.

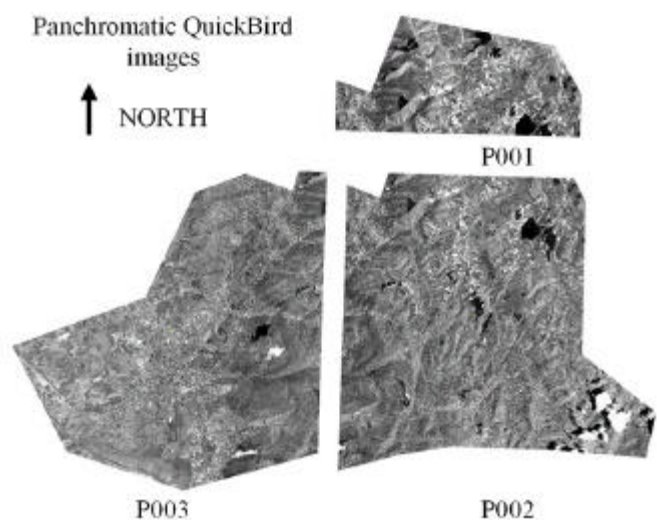


Fig. 2 Immagini non elaborate – 1° serie

I GCP sono stati scelti in modo da non generare estrapolazioni né in planimetria né in altimetria [1] [2], compatibilmente con la morfologia del territorio e con le difficoltà di accesso a luoghi talvolta impervi e impraticabili. Nella scelta dei punti sono stati privilegiati manufatti stabili e ben visibili al fine di definire una rete di punti facilmente individuabili anche in differenti serie storiche di dati.

Correzione geometrica ed ortorettificazione delle immagini

Per la procedura di correzione geometrica delle immagini *pan-sharpened* è stato adottato il modello rigoroso implementato nel software Geomatica 9.1 di PCI Geomatics (Canada). Come è noto questo metodo di correzione geometrica consente di ottenere risultati più stabili ed accurati rispetto

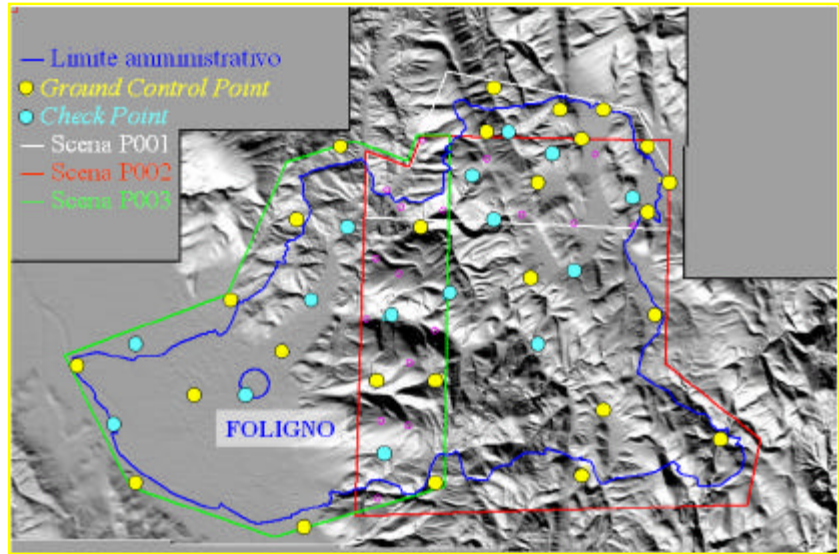


Fig. 4 Distribuzione planimetrica dei GCP e CP

ai metodi non rigorosi quali funzioni polinomiali, funzioni polinomiali razionali e quant'altro.

Il modello matematico, calcolato utilizzando GCP e CP secondo la distribuzione indicata in Fig. 4, rispettivamente per le immagini *pan-sharpened* e multispettrali, ha fornito i seguenti risultati (Tab.1):

		IMMAGINI PAN-SHARPENED (GSD 0.70 m) (*)		IMMAGINI MULTISPETTRALI (GSD 2.80 m) (**)	
Serie	Tipo	RMS Res.X (m)	RMS Res.Y (m)	RMS Res.X (m)	RMS Res.Y (m)
1°	GCP	0.55	0.61	0.95	0.87
2°	GCP	0.31	0.49	0.98	1.03
3°	GCP	0.74	0.58	1.02	0.96
1°	CP	0.55	0.71	1.28	1.00
2°	CP	0.57	0.99	1.05	1.14
3°	CP	0.85	0.83	1.30	1.00

(*) 1°serie: 29 GCP, 15 CP; 2°serie: 15 GCP, 6 CP; 3°serie: 15 GCP, 6 CP.

(**) 1°serie: 28 GCP, 16 CP; 2°serie: 12 GCP, 7 CP; 3°serie: 12 GCP, 6 CP

Tab. 1 Risultati della correzione geometrica delle immagini ottenuti applicando il modello rigoroso di Toutin

Il modello rigoroso ha fornito valori in linea con i risultati attesi: le precisioni in corrispondenza dei GCP e le accuratezze in corrispondenza dei CP sono infatti pari a circa 1 pixel per le immagini *pan-sharpened* e inferiore alla metà del pixel per le immagini multispettrali.

Occorre ricordare che nella produzione di ortofotopiani, fase successiva alla correzione geometrica, una causa di errore è imputabile alle caratteristiche del DEM impiegato per la sua realizzazione. Facendo riferimento al documento Intesa Stato-Regioni-Enti locali per la realizzazione dei sistemi informativi geografici [3] ed in particolare ai "Requisiti di precisione di un DTM per la produzione di ortofoto" si è ritenuto opportuno adottare nel presente caso il "DEM del Programma *it2000* prodotto della Compagnia Italiana Riprese aeree" con passo 40 m e accuratezza ± 5 m con copertura nazionale.

Image Processing

Le caratteristiche radiometriche (16 bit) e geometriche (ris. 0.70 m) permettono un'elevata distinzione degli oggetti e delle coperture presenti nel territorio (Fig. 5). Le differenze tonali possono essere utilizzate per l'identificazione di variazioni tessiturali e di assetto idro-geomorfologico; infatti una variazione del tono può essere associata ad una corrispondente variazione dell'umidità nel suolo (Fig. 5) e collegata ad una caratteristica tessiturale, geomorfologica o strutturale. A tal fine sono state eseguite delle prove di classificazione (ML) su sub-immagini provenienti dalle scene satellitari originali e trasformando i valori di DN in radianza. Le prove sono state effettuate su porzioni dell'area di pianura di Foligno (Fig. 6); le coperture sono state divise in 4 classi principali (seminativi non vegetati, seminativi vegetati, prati, urbanizzato).



Fig. 5 - Le caratteristiche radiometriche (16 bit) e geometriche (ris.: 0.70 m) permettono un'elevata distinzione degli oggetti e delle coperture presenti nel territorio

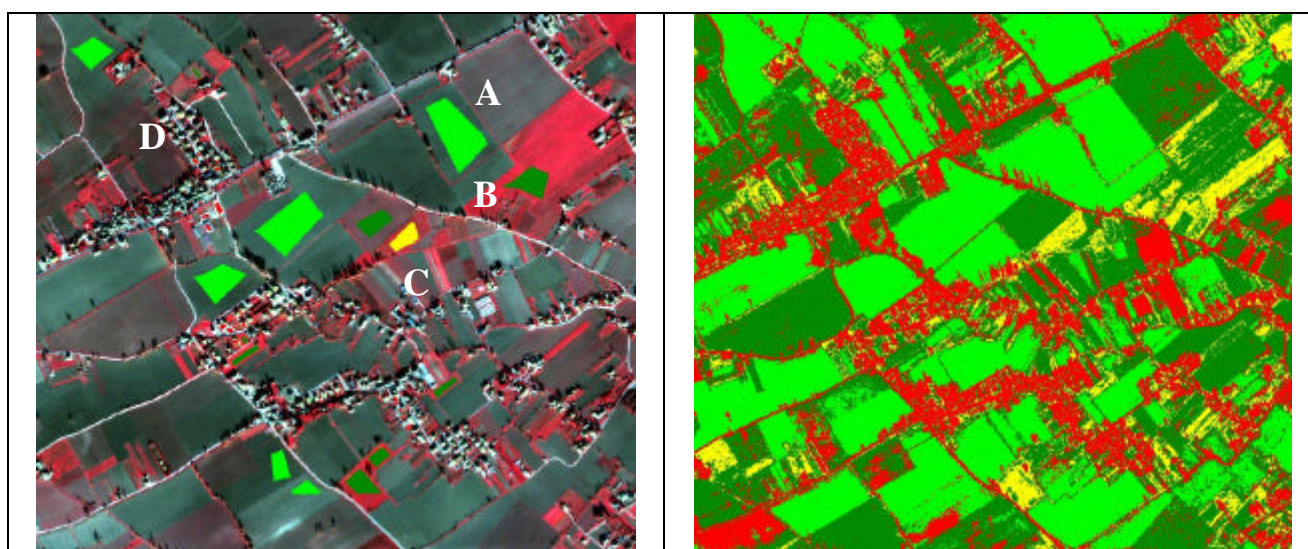


Fig. 6 – Porzione di immagine QuickBird dell'area di pianura di Foligno
sinistra: ROI (Region Of Interest) per classificazione (*supervised ML*);
destra: classificazione ML
A) seminativi non vegetati; B) seminativi vegetati; C) prati; D) urbanizzato

Sono state calcolate le separabilità spettrali (dalle ROI) delle classi A) seminativi non vegetati; B) seminativi vegetati; C) prati; D) urbanizzato e le relative matrici di confusione che forniscono valori

di $K = 0,8$; i dati preliminari sulle varie classificazioni hanno mostrato una buona distinzione delle coperture classificate e una conseguente ottima identificazione dei caratteri delle coperture (discontinuità tonali, variazioni nella copertura agricola).

Applicazione da parte del Comune di Foligno

Le informazioni satellitari sono utilizzate per la gestione di territorio comunale e per numerosi scopi che vanno dal semplice monitoraggio e controllo, al supporto alla pianificazione e progettazione, fino alla implementazione di specifici modelli e algoritmi in grado di estrarre informazioni altrimenti difficilmente reperibili. L'attività di telerilevamento si interfaccia direttamente anche con il processo di Agenda 21 Locale, strumento di supporto alla divulgazione dei dati ma, soprattutto, fonte di informazioni per indirizzare il governo della città secondo criteri di sostenibilità. L'acquisizione delle immagini comporta un impegno economico iniziale. Esso è stato valutato nell'ottica di un investimento nel medio – lungo periodo. Infatti, i costi di produzione cartografiche vengono progressivamente abbattuti, in modo da rendere attuabile ed economicamente conveniente un sistema di monitoraggio del territorio con tecnologie satellitari.

L'attività riguarda, in particolare, i seguenti campi di specifico interesse per il Comune di Foligno:

- aggiornamento dell'uso reale del suolo: avviene principalmente mediante la classificazione e limitatamente ricorrendo alla fotointerpretazione; si definiscono con esattezza i metri quadri di suolo edificati, le modifiche subite dai boschi (riuscendo a distinguere in modo automatico quelli a caducifoglie da quelli sempreverdi), l'evoluzione del verde urbano; l'uso del suolo è un tematismo fondamentale nella redazione e aggiornamento del Piano Regolatore Generale, del Piano Comunale di protezione Civile, del Piano di Azione Locale di Agenda 21 e degli altri strumenti di pianificazione comunale;
- monitoraggio delle aree naturali protette: particolarmente importante, per il comune di Foligno, è capire come si evolve nel tempo la palude di Colfiorito, sia in termini di estensione dello specchio palustre, che di sviluppo/regressione del canneto; analogo discorso vale per gli altri SIC (Siti di Importanza Comunitaria) proposti alla Unione Europea dal Ministero dell'Ambiente, per i quali è in corso la predisposizione dei Piani di Gestione;
- monitoraggio dello stato fitosanitario e dell'evoluzione quantitativa del verde urbano ed extraurbano: la risoluzione spaziale, associata ad informazioni acquisite nell'infrarosso (non percepibile dall'occhio umano) fornisce importanti indicazioni sulla quantità e qualità del verde;
- perimetrazione e monitoraggio di discariche e aree degradate: dalle immagini emerge con sufficiente chiarezza l'ubicazione e la perimetrazione di aree adibite in passato a discariche per le quali attualmente non si hanno a disposizione dati esatti sulla estensione;
- controllo dell'attività estrattiva: il controllo dell'attività estrattiva a fossa e di versante è possibile grazie alla risoluzione spaziale, poiché grazie al lavoro di ortorettifica e proiezione nel sistema cartografico nazionale Gauss Boaga è stata eseguita la sovrapposizione della cartografia preesistente sulle immagini telerilevate;
- individuazione di siti archeologici: grazie ad alcune anomalie, sono stati riscontrati tramite fotointerpretazione alcuni siti archeologici; è da precisare che le immagini di cui si è dotato il Comune di Foligno si prestano particolarmente bene, proprio per il fatto di disporre di una banda nell'infrarosso, non presente nelle immagini aeree tradizionali;
- controllo dell'abusivismo edilizio: oltre ad un controllo diretto, l'immagine telerilevata si riferisce ad un determinato momento di acquisizione e, pertanto, costituisce un "certificato" dell'esistenza o meno di un manufatto alla data (e ora) dell'acquisizione dell'immagine;
- implementazione nel Sistema Informativo Territoriale del Comune di Foligno: il Comune di Foligno ha completato la prima fase di realizzazione del Sistema Informativo Territoriale e, pertanto, la cartografia digitale telerilevata rappresenta un importante complemento per facilitare la lettura delle informazioni, oltre che ad essere una fonte diretta di dati, che sono in corso di implementazione nel db geografico;

- uso come base cartografica del territorio comunale: le metodiche utilizzate per la correzione geometrica delle immagini rendono possibile l'uso delle immagini come cartografie in scala 1:5.000, con tutti gli usi tipici di una carta topografica a grande scala, fatto per il quale si è proceduto al taglio delle stesse nello stesso formato della Carta Tecnica Regionale.

Il protocollo di Kyoto, con cui è stato adottato dalle Nazioni Unite la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici, e gli impegni connessi all'attuazione di Agenda 21 determinano la necessità di individuare strumenti flessibili per il supporto alle decisioni della pubblica amministrazione a scala locale. Le metodologie ad oggi esistenti sono a scala territoriale insufficiente per le attività di Comuni e Province. Con il presente lavoro si sono individuati alcuni nuovi indici territoriali e ambientali, direttamente desunti dall'elaborazione delle immagini satellitari ad alta risoluzione, quali:

- l'indice FB (rapporto tra superficie boscata ed edificato del territorio comunale);
- l'indice FGU (rapporto tra superfici a verde ed edificato nelle aree urbane);
- l'indice RU1 (rapporto tra superfici a seminativi più colture arboree e foraggiere del territorio comunale, al netto delle aree urbane);
- l'indice RU2 (rapporto tra superfici a seminativi e foraggiere del territorio comunale, al netto delle aree urbane).

Tali indici permetteranno un monitoraggio innovativo ed oggettivo della qualità ambientale mediante dati telerilevati multitemporali ad alta risoluzione. Successive implementazioni saranno svolte applicando algoritmi di segmentazione, che consentiranno il calcolo esatto in maniera automatica delle colture arboree (in particolare, degli ulivi), il monitoraggio delle golene fluviali rispetto alla necessità di manutenzione delle stesse, il monitoraggio del contenuto di umidità del terreno, riferibile a fenomeni idraulici e idrogeologici, lo studio statistico della forma dei campi coltivati e del loro cambiamento nel tempo, da porre in relazione all'evoluzione del paesaggio rurale ed ai suoi effetti socio economici.

Conclusioni

Le caratteristiche radiometriche e geometriche delle immagini permettono un'elevata distinzione degli oggetti e delle coperture presenti nel territorio; le procedure di classificazione preliminari, mostrano buoni coefficienti di correlazione ($K = 0,8$) e possono essere sfruttate per estrarre alcuni tematismi caratterizzanti del territorio (distribuzione dell'umidità, densità di vegetazione,...)

L'apporto congiunto di esperienze scientifiche e tecniche di diversa formazione, normalmente operanti a diversi livelli e scale territoriali, hanno permesso l'individuazione di un percorso efficace ed economico per la produzione di ortofoto satellitari ad alta risoluzione e di cartografie tematiche di supporto agli strumenti di pianificazione comunale. Le successive acquisizioni di immagini permetteranno l'aggiornamento cartografico ed un monitoraggio innovativo della qualità ambientale, attraverso il calcolo del valore di indici territoriali e ambientali, di nuova introduzione, compatibili con la scala comunale.

Riferimenti bibliografici

- [1] Toutin, Th., 1995 "Multisource data fusion with an integrated and unified geometric modelling" *EARSel Advances in Remote Sensing*, Vol. 4, No. 2, pp. 118-129
- [2] Toutin, Th., 2004 "Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods (review paper)" *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 70, No. 6, pp. 695-702
- [3] Intesa Stato - Regioni – Enti locali per la realizzazione dei sistemi informativi geografici. (Versione 16I del 29 Aprile 2001) http://www.intesagis.it/specifiche_tecniche.asp