

## **Valutazione delle trasformazioni del territorio con metodi satellitari**

M. Caprioli, A. Scognamiglio, L. Mancini

Politecnico di Bari, DVT, Sezione di Geomatica  
E-mail: m.caprioli@poliba.it; a.scognamiglio@poliba.it

### **Riassunto**

L'utilizzo e l'analisi di immagini satellitari rappresenta una efficiente ed economica via per l'ottenimento di informazioni per attività di salvaguardia, di verifica, di valutazione, di investigazione e di supporto. Per molte istituzioni, pubbliche o private, la conoscenza delle dinamiche delle risorse naturali e/o delle strutture antropiche è una notevole fonte di informazioni per i processi decisionali.

Le attuali tecnologie satellitari, con l'acquisizione periodica di dati utili per la generazione tempestiva di prodotti cartografici, aggiornati e coerenti con il contesto territoriale d'indagine, offrono la possibilità di colmare il distacco temporale fra la necessità di informazioni urgenti e la disponibilità di informazioni ufficiali di riferimento.

Tra le tecniche evolute di elaborazione delle immagini, quelle di "Change Detection" servono per facilitare l'individuazione delle variazioni nel tempo, contribuendo a ridurre l'intervento dell'operatore tramite l'automatizzazione dei processi e migliorandone progressivamente anche l'accuratezza, qualitativa e quantitativa, dei risultati.

Alla luce delle problematiche evidenziate, lo studio intende approfondire una metodologia di analisi automatizzata delle modifiche dell'uso del suolo, mediante tecniche di "Change Detection" operate su dati da telerilevamento satellitare e di diversa origine che sono quindi eterogenei per risoluzione spaziale e spettrale. L'omogeneizzazione e la registrazione in un unico ambiente digitale delle informazioni, grazie all'identificazione e quantificazione delle variazioni intercorse nel territorio, permetteranno, anche in questa situazione non convenzionale di ottenere delle utili informazioni.

### **Abstract**

The current satellite technology, with the acquisition of useful data for the periodic generation of cartographic products, updated and consistent with the local context of inquiry, offer the possibility to bridge the gap in time between the urgent need for information and availability reference to official information.

Among the advanced techniques of image processing, those of "Change Detection" are used to facilitate the identification of trends over time, helping to reduce operator intervention by automating processes and improving progressively the accuracy, quality and quantitative results.

In light of the problems highlighted, the study intends to investigate a methodology for automated analysis of changes of land use, with "Change Detection" techniques on satellite remote sensing data from different sources and are therefore heterogeneous spatial and spectral resolution.

Homogenization and recording in a single digital environment of information, through the identification and quantification of changes occurring in the territory, allow to obtain useful information even in this not conventional situation.

## **Introduzione**

La necessità di reperire sempre nuove forme di informazioni con alti livelli di accuratezza, localizzate spazialmente e ripetibili anche in intervalli di tempo ravvicinati, è fondamentale per una gestione dell'ambiente fondata sul concetto di sostenibilità.

In questo contesto le tecniche per il monitoraggio delle dinamiche di evoluzione di fenomeni naturali e le interazioni che questi hanno con i manufatti antropici, risultano essere una importante fattore di ausilio per i processi di decisione/intervento in una grande varietà di applicazioni.

Il rilevamento del cambiamento dell'uso/copertura del suolo, mediante analisi automatiche di immagini telerilevate, acquisite su di una stessa area in tempi diversi, è diventato così uno dei campi di sviluppo della ricerca in continuo perfezionamento.

Le metodologie per le analisi dei cambiamenti vengono definite tecniche di "Change Detection" (CD) e consistono in quei processi atti ad identificare e quantificare le differenze temporali di stato di oggetti e/o fenomeni in una determinata area della superficie terrestre.

In generale i metodi di CD confrontano immagini acquisite dallo stesso sensore per assicurare la comparabilità dei vari aspetti nell'arco di tempo e di spazio di interesse. In realtà in molti casi si è costretti ad usare immagini multitemporali provenienti da diversi sensori. Per esempio, in analisi di serie storiche estese, alcuni dati potrebbero essere stati acquisiti da sensori non più esistenti o che attualmente hanno smesso di acquisire immagini per ragioni tecniche oppure si potrebbero avere immagini prive di documentazione o di metadati precisi sul tipo di sensore utilizzato o persino sulla data di acquisizione. In altri casi, nonostante i dati possano ritenersi comparabili dal punto di vista sensoriale, possono non risultare idonei in termini di qualità dell'immagine per la presenza di coperture nuvolose o di difetti di acquisizione nella zona di interesse per variazioni dell'inclinazione e/o dell'esposizione solare

Un'altra problematica di carattere generale è che i processi di CD non sono in alcun modo standardizzati e difficilmente, anche in futuro, si potrà raggiungere un grado di standardizzazione spinta. Ciò implica che i risultati prodotti sono difficili da replicare, perché differenti interpreti potrebbero produrre differenti risultati. È quindi sempre necessaria una verifica statistica di verità a terra, a conferma della oggettività dei risultati raggiunti.

Un'ultima problematica è stabilire se una procedura che tende all'automatizzazione possa garantire risultati soddisfacenti, ovvero se il lavoro di una macchina possa sostituire le capacità umane. Infatti spesso non esistono algoritmi che possano emulare i livelli di interpretazione della mente e da ciò deriva che un esperto fotointerprete di fotogrammetria aerea fornisce risultati molto più accurati in termini di precisione di qualsiasi software. D'altronde si ottengono consistenti vantaggi sia nella ripetizione rapida delle procedure che per la possibilità di analizzare elementi non visibili all'occhio umano, sfruttando frequenze esterne al campo della luce visibile. Sarà necessario, quindi, per ogni tipo di lavoro valutare i costi e i benefici offerti dalle procedure automatiche informatizzate, invece che dalla capacità di operatori esperti.

I principali parametri che possono influire sui processi di CD sono soprattutto la risoluzione spaziale e spettrale dei sensori. Per un confronto corretto le due (o più) immagini dovrebbero avere stessa risoluzione spaziale e spettrale in modo da poter evitare processi di ricampionamento dei pixel e la relativa perdita di informazione.

Per ciò che riguarda il sensore sarebbe opportuno avere immagini acquisite dallo stesso satellite, per evitare fastidiosi problemi legati a differenti angolazioni di ripresa o discrepanze di intervalli di lunghezza d'onda delle bande.

L'analisi di un gran numero di studi inerenti alle varie tecniche di CD ha dimostrato che la scelta di un determinato algoritmo è in molti casi pragmatica, piuttosto che scientificamente basata. Ciò rende difficoltoso redigere una classifica su quali algoritmi utilizzare per ottenere i migliori risultati nei vari campi di interesse.

Sembrerebbe comunque che una parallela implementazione di diversi metodi di CD, seguita da una integrazione dei risultati, possa rappresentare la più corretta via per la determinazione dei diversi e possibili cambiamenti che condizionano l'ambiente.

### Area di studio

L'area di studio è una porzione di territorio pugliese dell' Alta Murgia, localizzata all'interno dei confini comunali della città di Andria. Tale porzione, situata nelle vicinanze di Castel del Monte, è compresa all'interno del Parco Regionale dell'Alta Murgia di recente istituzione (L.426/1999) e rappresenta perciò un area di notevole interesse naturalistico e paesaggistico, nonché di promozione e riqualificazione di attività agro-silvo-pastorali.

Al fine di garantire la necessaria tutela di un'area di così grande interesse, è dunque fondamentale dotarsi di metodi di controllo e di monitoraggio efficaci per poter rapidamente e chiaramente individuare eventuali zone in cui vincoli di tipo ambientale vengano infranti. Si pensi ad esempio alla piaga dell'abusivismo edilizio, delle discariche e cave abusive. A tal fine si ritiene che le metodologie di Change Detection possano risultare estremamente efficaci e degne di considerazione.

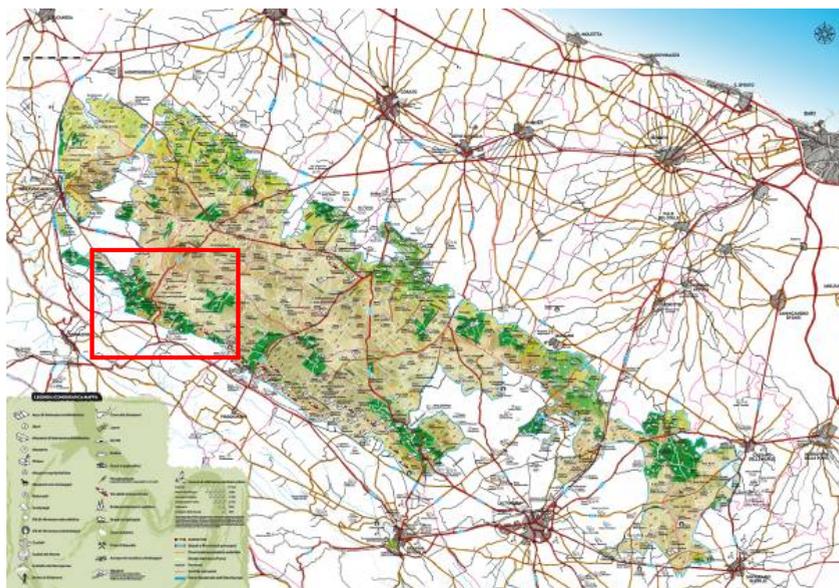


Figura 1 – Il parco dell'Alta Murgia e localizzazione dell'area di studio.

La sezione di Geomatica e Cartografia del Politecnico di Bari dispone di una immagine telerilevata della zona di interesse. Si tratta di un dato rilevato dal sensore IKONOS-2 avente come coordinate dei punti di margine del rettangolo in rosso: Lat: 40.93°-Long: 16.19° e Lat: 41.06°-Long.: 16.33°, georeferenziato nel sistema UTM-WGS84 con una risoluzione spaziale di 1m per la banda pancromatica, 4 bande spettrali, acquisita il 18-05-2000, 09:33. Questa immagine verrà definita **IMG1**, acquisita al tempo  $t_1$  = maggio 2000.

Il sito del Sistema Informativo Territoriale ([www.sit.puglia.it](http://www.sit.puglia.it)) predisposto dalla Regione Puglia, mette a disposizione una molteplicità di risorse utili a studi cartografici. Tra queste possono risultare utili ai nostri scopi i fogli di ortofoto del territorio. La zona di interesse è coperta da molti fogli opportunamente mosaicati in un'unica immagine mediante il Tool "Mosaic" di Arcgis.

Le date di aggiornamento di ciascun foglio risalgono al 15 dicembre 2008 ( $t_2$ ) e nel seguito tale immagine sarà denominata come **IMG2**.

Infine abbiamo utilizzato le immagini di Google Earth ricavate sfruttando il software gratuito Google Map Downloader. L'acquisizione, avvenuta mediante sensore GeoEye, è databile al 5 set 2010 ( $t_3$ ) e tale immagine sarà denominata **IMG3**. Il focus di questo studio è quindi proprio la verifica dei risultati ottenibili in condizioni non convenzionali con l'uso di materiali già gratuitamente disponibili anche se di tipologia molto eterogenea.

## Pre-elaborazioni

### Pansharpning

Gli algoritmi di pan-sharpen permettono di poter sfruttare la più elevata risoluzione spaziale offerta dalla banda pancromatica del dato ottenendone un'immagine a colori naturali.

Per realizzare i nostri confronti abbiamo deciso contrariamente alla normale procedura di ridurre le bande di tutte le immagini disponibili ai soli colori naturali.

Si esegue quindi l'operazione di pan-sharpening sulla IMG1 in modo da renderla quanto più omogenea alla IMG2 e IMG3 che sono di per se a colori naturali. Si otterrà così un'immagine a colori naturali e alla risoluzione di 1m per pixel.

I softwares offrono appositi tools per le operazioni di pansharpening con una serie di algoritmi specifici per l'operazione di pansharpening:

- HPF Resolution Merge;
- Modified IHS Resolution Merge;
- Subtractive Resolution Merge;
- Ehlers Fusion Resolution Merge;
- Ecc...

È stato utilizzato l'algoritmo "Subtractive Resolution Merge" che nella maggior parte dei casi offre il giusto compromesso tra l'elevato dettaglio spaziale e una realistica rappresentazione dei colori.

### Co-registrazione

La corretta e perfetta sovrapposizione delle immagini è un requisito fondamentale per evitare che gli algoritmi automatici di CD possano considerare "cambiamento" ciò che in realtà è solo una traslazione delle immagini dovuta ad una non perfetta co-registrazione dei dati.

Nel nostro caso abbiamo co-registrato IMG2 e IMG3 avendo come riferimento (reference) IMG1. Abbiamo utilizzato una serie di GPCs individuati in maniera manuale tra quei punti certamente invariati alle diverse epoche, come spigoli di edifici incroci di strade etc.. ma quelli individuabili in via automatica mediante algoritmi di auto-correlazione.

È stato valutato come sufficiente un totale di 20 GPC che sono stati selezionati manualmente, più molti altri punti rilevati automaticamente mediante AutoTie con algoritmo Affine (soglia RSM impostata a 0.5) e un range di affidabilità non inferiore all' 80%.

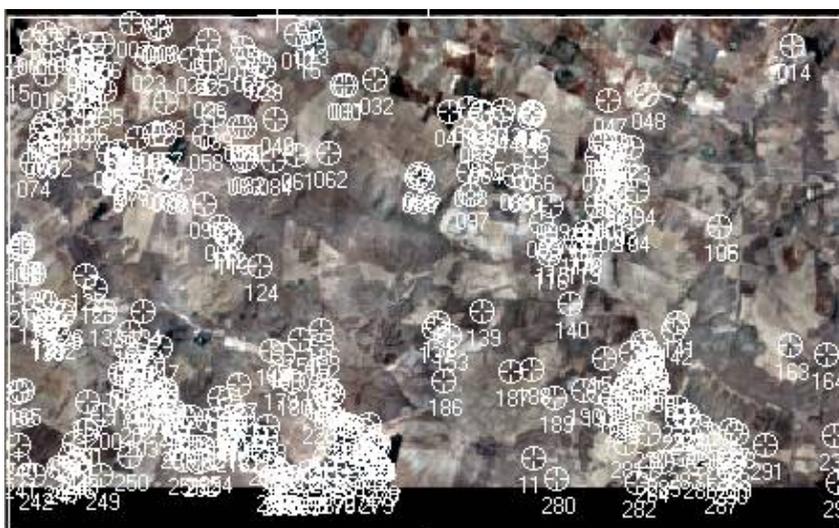


Figura 2 – I GPC individuati.

### Ricampionamento e cut

IMG2 e IMG3 risultano avere una risoluzione spaziale maggiore rispetto a quella di IMG1. Bisogna anche da questo punto di vista omogeneizzare la situazione, e perciò entrambe le immagini subiranno un'operazione di ricampionamento mediante algoritmo Cubic convolution per ottenere una grandezza di pixel comune a tutte e 3 le immagini.

Le immagini IMG1 e IMG2 sono poi state "tagliate" in modo da eliminare le zone al di fuori dai bordi della IMG3.

### Normalizzazione

A questo punto le immagini possono ritenersi omogenee da un punto di vista spaziale, ma non ancora da un punto di vista spettrale. Per correggere questa ulteriore discrepanza si è ritenuto sufficiente adoperare un Histogram Matching con immagine di riferimento la IMG2.

L'operazione scelta risulta totalmente automatizzata e restituisce un risultato di discreta qualità. La scelta di utilizzare la IMG2 come reference per la normalizzazione è dettata dal fatto che tale condizione restituiva i risultati qualitativamente più accettabili.

### Controllo e valutazione

Un controllo visivo dei risultati delle operazioni fin qui svolte permette di evitare quantomeno discrepanze grossolane. Nelle immagini sotto riportate vengono mostrati i risultati ottenuti (fig. 3 ), anche nei casi non soddisfacenti.

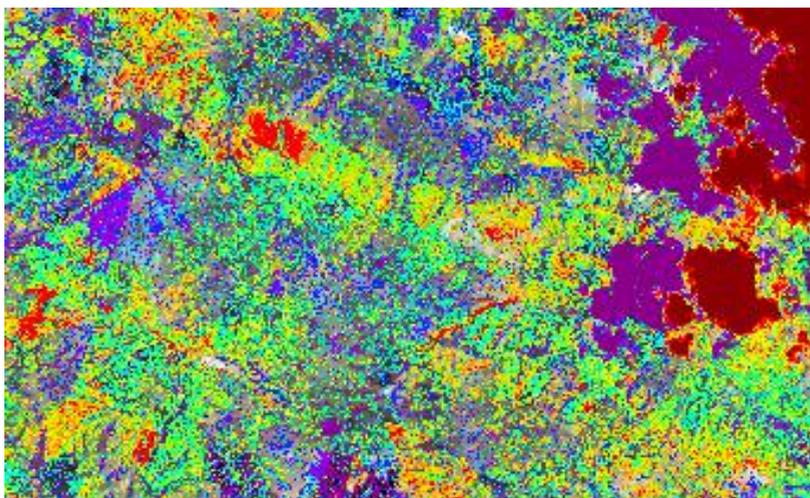


*Figura 3 – Risultati ottenuto dopo la co-registrazione e la normalizzazione.*

### **Change Detection**

Con le immagini ormai omogenee, è possibile effettuare infine l'analisi di Change Detection.

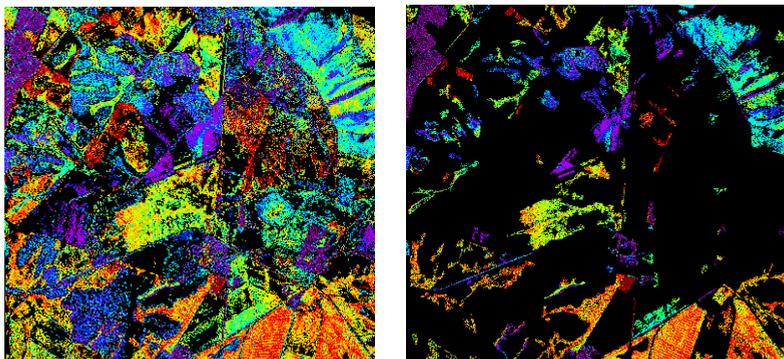
Caricando IMG1 e IMG2 e lanciando la prima iterazione con parametri predefiniti, ci si rende subito conto che il risultato non consente una immediata analisi in quanto evidenzia tutta una serie di cambiamenti non significativi.



*Figura 4 – Risultato di prima iterazione.*

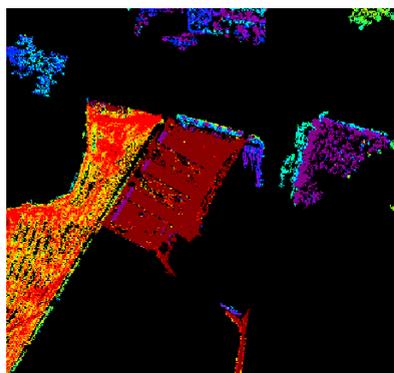
Ovviamente è necessario un attento processo iterativo per cercare di regolare i filtri che il software mette a disposizione al fine di eliminare l'eccessivo rumore della classificazione e far evidenziare solo i cambiamenti di interesse.

Attraverso la calibrazione di filtri spaziali e più precisamente di quello di area, a cui è stato imposto di far rilevare solo i cambiamenti che comprendessero almeno l'insieme di 1000 pixel contigui e una soglia di variazione del 70%, si è riuscito ad ottenere una discreta riduzione del rumore.

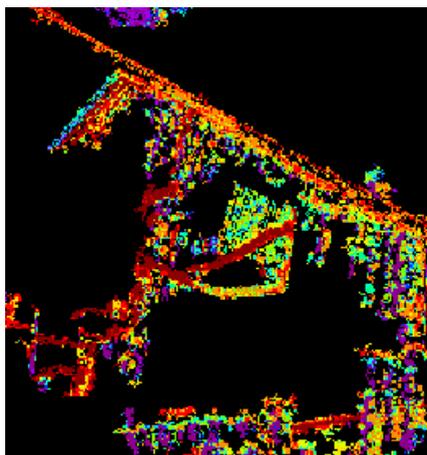


*Figura 5 – Particolare per evidenziare la riduzione del rumore.*

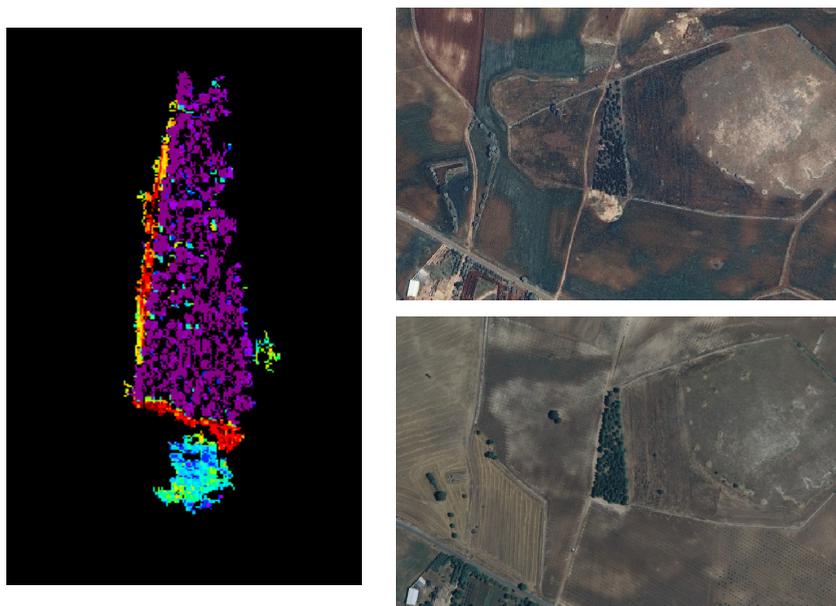
Si riportano alcuni esempi di avvenuta e immediata rilevazione, in cui si evidenziano gli stati agli istanti di tempo  $t_1$  (immagine in alto a destra),  $t_2$  (in basso a destra), e la classificazione che evidenzia la zona di cambiamento, in cui il colore rosso evidenzia valori di cambiamento rilevanti.



*Figura 6 – Rilevata la presenza di nuovi fabbricati.*



*Figura 7 – Rilevato un cambiamento della viabilità.*



*Figura 8 – Cambio di viabilità e modificazione del terreno.*



*Figura 9 – Cambiamento non rilevato.*

### **Analisi dei risultati**

Le elaborazioni automatiche hanno dimostrato limiti e possibilità conseguibili con le procedure di CD anche con l'utilizzazione di immagini non satellitari reperibili gratuitamente in rete. La procedura automatica ha permesso di localizzare in maniera rapida molti punti di cambiamento del territorio, ma al contempo in qualche occasione ha dato luogo a “falsi positivi” o in altri casi non ha rilevato cambiamenti.

Abbiamo verificato che le operazioni prelieve di calibrazioni e registrazioni dei dati permettono di migliorare i risultati conseguibili, riducendo in maniera significativa i margini di errore già prevedibili, dovuti allo stesso procedimento di confronto pixel per pixel realizzato su immagini eterogenee.

È evidente che qualora avessimo condotto la sperimentazione con immagini multi temporali provenienti dallo stesso sensore avremmo raggiunto risultati più confortanti, ma vogliamo

sottolineare che anche con mezzi molto ridotti è possibile effettuare uno screening di massima dei cambiamenti, salvo poi andare ad indagare più puntualmente nelle zone individuate dalla prima analisi di CD.

Tale metodo risulta essere di un qualche interesse proprio in quelle zone dove a seguito di emergenze si debbano valutare i cambiamenti intervenuti su un'area di cui non si posseggano serie storiche di immagini telerilevate.

Il presente studio ha utilizzato immagini a risoluzione spaziale di 1m; sarà interessante in futuro valutare i risultati ottenibili con una serie di immagini a risoluzione maggiore, verificando quanto l'algoritmo automatico di Change Detection è sensibile alla risoluzione in ingresso.

Il gruppo di lavoro si propone anche di ripetere i confronti utilizzando le immagini della stessa zona del nuovo satellite World View II che presto saranno rese disponibili.

L'utilizzo, in questo caso, delle otto bande fornite dal sensore potrà infatti rendere ancora più interessanti i risultati proprio in quelle variazioni del territorio più difficilmente evidenziabili all'occhio umano.

### **Bibliografia**

- Canty M. J., Nielsen A. A., Schmidt M. (2004), Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*.
- Caprioli, M., Figorito, B., Tarantino, E., (2006). Radiometric Normalization of Landsat Etm+ data for Multitemporal Analysis. In: *Proceedings of ISPRS Commission VII Mid-Term Symposium on "Remote Sensing: from Pixels to Processes"*, Enschede.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E., (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*
- Du Y., Teillet P.M., Cihlar J. (2002), Radiometric normalization of multitemporal high-resolution images with quality control for land cover change detection. *Remote sensing of Environment*.
- Furby S. L., Campbell N. A. (2001), Calibrating images from different dates to 'like-value' digital counts. *Remote sensing of Environment*.
- Hong, G., Zhang, Y., (2005). Radiometric Normalization of Multisensor Multispectral Very High Resolution Satellite Images. In: *Proceeding of IEEE/ISPRS 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005)*, Tempe, Arizona, USA.
- Jungho, I., Jensen, J. R., (2005), A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification. *Remote Sensing of Environment*.
- Mingsheng Liao, Lu Zhang, Hui Lin(2005), Change detection in multispectral imagery from multisensor *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05. Proceedings*.
- XIA Song, LI Deren,(2007) Research on key points of 3D change detection of geospatial database *ISPRS Workshop on Updating Geo-spatial Databases with Imagery & The 5th ISPRS Workshop on DMGISs*