

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

**TELERILEVAMENTO E CONSUMO DI SUOLO: DINAMICHE DI URBANIZZAZIONE E SFRUTTAMENTO DELLE RISORSE NATURALI IN JHARKHAND (INDIA)**

**This is the author's manuscript**

*Original Citation:*

*Availability:*

This version is available <http://hdl.handle.net/2318/1521658> since 2015-09-02T14:28:40Z

*Publisher:*

ELENA CANDIGLIOTA, FRANCESCO IMMORDINO

*Terms of use:*

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)



The ENEA logo consists of the word "ENEA" in a bold, blue, sans-serif font.

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
DIPARTIMENTO DI STORIA CULTURE CIVILTÀ



Associazione  
Italiana di  
Telerilevamento  
ISPRS - ASITA

9° Workshop Tematico

# TELERILEVAMENTO PER LA DIFESA DEL SUOLO E LA SALVAGUARDIA DI AMBIENTE E TERRITORIO

Università di Bologna  
Dipartimento di Storia, Culture, Civiltà  
AULA PRODI  
San Giovanni in Monte, Bologna  
4-5 giugno 2015

A cura di Elena Candigliota e Francesco Immordino  
ENEA - UTSISM Unità Tecnica di Ingegneria Sismica - Bologna

Remote Sensing



# Telerilevamento e consumo di suolo: dinamiche di urbanizzazione e sfruttamento delle risorse naturali in Jharkhand (India)

Andrea Lessio<sup>1</sup>, Enrico Borgogno-Mondino<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari

Autore di riferimento: andrea.lessio@outlook.com

Parole chiave: change detection, PCA, consumo di suolo

## Introduzione

Nell'ambito del telerilevamento satellitare molte sono le applicazioni utilizzate per la pianificazione ed il monitoraggio del territorio. Tra queste rivestono notevole importanza ed interesse gli studi legati alle politiche di conservazione e gestione sostenibile, rivelandosi strumenti versatili per valutare gli impatti ambientali come risultato dell'evoluzione dei fenomeni naturali e dell'attività umana.

Il presente lavoro ha come obiettivo quello di indagare alcune delle dinamiche legate al consumo e cambio di copertura del suolo, verificatesi tra il 1975 e il 2011, nella regione del Jharkhand (India NE), concentrando l'attenzione sull'intorno del centro abitato di Ranchi, capoluogo amministrativo, coinvolgendo una superficie di circa 1900 km<sup>2</sup>.

L'intenzione è quella di indagare le dinamiche che si vengono a creare in aree in via di sviluppo soggette ad una forte espansione urbanistica, nella prospettiva di calibrare dei modelli di gestione sostenibile delle risorse.

Ad oggi non esiste ancora una definizione univoca per il termine consumo di suolo (Pileri, 2009), pertanto, facendo riferimento alle trasformazioni che questo può subire si può parlare di cambio d'uso legato a tre classi: urbano, agricolo e naturale (Fig. 1).

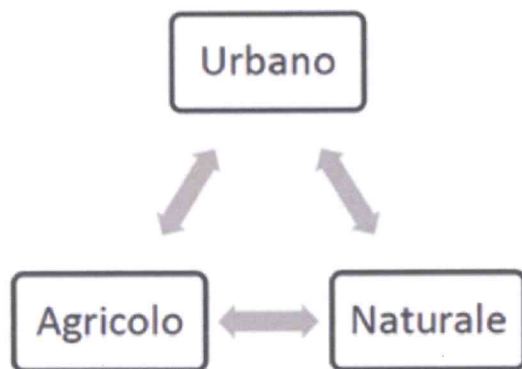


Figura 1. Possibili trasformazioni della natura delle superfici

Il cambio d'uso del suolo tra queste tre classi ovviamente ha un peso diverso a seconda delle trasformazioni che subiscono le superfici; sarà quindi più corretto parlare di cambio di copertura. Il termine "uso del suolo" si riferisce infatti all'attività dell'uomo connessa allo sfruttamento del territorio ed i vari impieghi che questo può avere, mentre il termine "copertura del suolo" viene impiegato per definire la natura delle superfici. In questo senso è stata posta l'attenzione sulle trasformazioni di tipo irreversibile subite dalle superfici nel tempo assumendo queste come indicatore di consumo di suolo.

Il presente lavoro propone una metodologia per la mappatura delle superfici soggette ai cambi di copertura, nel tentativo di automatizzare il più possibile questo processo.

## Materiali e metodi

L'indagine è stata effettuata attraverso l'impiego di tecniche di telerilevamento per la caratterizzazione delle superfici, a partire dai dati Landsat MSS e TM gratuitamente disponibili e processati mediante software free/open-source (QGIS 2.1.4, SAGA Gis 2.8.1).

Quattro immagini riferite a momenti differenti (1975, 1988, 2004, 2011) sono state impiegate allo scopo di mappare le dinamiche di antropizzazione e cementificazione, cambio d'uso del suolo e perdita di aree verdi. Attraverso un'analisi di *change detection* è stata possibile la localizzazione delle superfici coinvolte dalle suddette trasformazioni.

Durante la fase di pre-processamento a seguito delle consuete fasi di calibrazione in valori di riflettanza e correzione atmosferica è stata effettuata una ulteriore fase di calibrazione relativa (inter-calibrazione), al fine di minimizzare le differenze di riflettanza residue tra le immagini multi-temporali da confrontare.

Partendo dall'ipotesi che superfici nel tempo invarianti (edifici, piazzali) abbiano mantenuto un comportamento riflettivo costante, sono state identificate sulle immagini delle aree campione di questa natura da cui estrarre i valori di riflettanza sulla base dei quali procedere all'intercalibrazione di affinamento. Prendendo come riferimento l'immagine del 1988 è stato possibile definire per coppie di bande, mediante regressione lineare, le curve di calibrazione relativa tra immagini di periodi diversi.

A verifica di quest'ultima fase, si è proceduto con la stima dell'incertezza potenziale delle riflettanze per determinare se le differenze residue tra immagini diverse in corrispondenza di superfici invarianti fossero significative o meno. Il valore di incertezza è stato determinato applicando la legge di propagazione della varianza (LPV - Bevington & Robinson, 2002) al modello di trasferimento radiativo (MTR). Questo tipo di analisi ha richiesto l'impiego di un modello semplificato di tipo "aperto" [1] in cui tutte le componenti partecipanti alla stima della riflettanza fossero accessibili:

$$\rho_{TOA} = \frac{L \cdot \pi}{k \cdot \cos(i) \cdot I} \quad [1]$$

Dove  $L$  è il valore di radianza al sensore [ $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ ],  $k$  il coefficiente astronomico di correzione distanza Terra-Sole,  $i$  l'angolo di incidenza della radiazione solare ed  $I$  il valore di irradianza solare [ $W/m^2 \cdot \mu m$ ].

I valori di riflettanza eso-atmosferica così ottenuti sono stati quindi corretti mediante il metodo di *Dark Object Subtraction* (Chavez, 1996) al fine di ridurre l'effetto diffusivo dell'atmosfera.

$$\rho_{SUP} = \rho_{TOA} - \rho_{ATM} \quad [2]$$

La misura dell'incertezza nella determinazione di  $\rho$  al suolo, assumendo che l'incertezza della determinazione del contributo atmosferico ( $\rho_{ATM}$ ) sia la medesima di  $\rho_{TOA}$ , è stata espressa attraverso la sua deviazione standard  $\sigma_{\rho SUP}$  data in [3]:

$$\sigma_{\rho SUP} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{A^2 \cdot \sigma_L^2 + B^2 \cdot \sigma_{\cos(i)}^2 + C^2 \cdot \sigma_I^2} \quad [3]$$

Dove i termini  $A$ ,  $B$  e  $C$  corrispondono rispettivamente ai fattori di incertezza della stima relativi a radianza al sensore, morfologia della superficie osservata ed irradianza solare, calcolati secondo [4]:

$$\begin{aligned} A &= \frac{\partial \rho}{\partial L} = \frac{\pi}{k \cdot \cos(i) \cdot I} \\ B &= \frac{\partial \rho}{\partial \cos(i)} = - \frac{L \cdot \pi}{k \cdot I \cdot \cos(i)^2} \\ C &= \frac{\partial \rho}{\partial I} = - \frac{L \cdot \pi}{k \cdot \cos(i) \cdot I^2} \end{aligned} \quad [4]$$

Al fine di valutare se le differenze residue delle riflettanze tra pixel invarianti, su bande omologhe di immagini acquisite in momenti diversi, fossero significative si è proceduto a stimarne l'incertezza attesa [5]:

$$\bar{\sigma}_{\Delta \rho} = \sqrt{\sigma_{\rho SUP0}^2 + \sigma_{\rho SUPn}^2} \quad [5]$$

Dove  $\sigma_{\rho SUP0}$  e  $\sigma_{\rho SUPn}$  sono rispettivamente la precisione della riflettanza dell'immagine presa come riferimento per l'intercalibrazione (1988) e di quella dell'immagine da correggere. Il valore  $\sigma_{\Delta \rho}$  darà quindi anche indicazione della sensibilità con la quale è possibile apprezzare le differenze di riflettanza tra periodi diversi.



L'efficacia dell'inter-calibrazione è stata verificata sulle statistiche calcolate in corrispondenza delle aree campione su superfici invariate (Fig. 2), osservando come la quasi totalità delle differenze riscontrate ricadesse al di sotto della soglia di significatività  $\sigma_{\Delta p}$  precedentemente stimata.

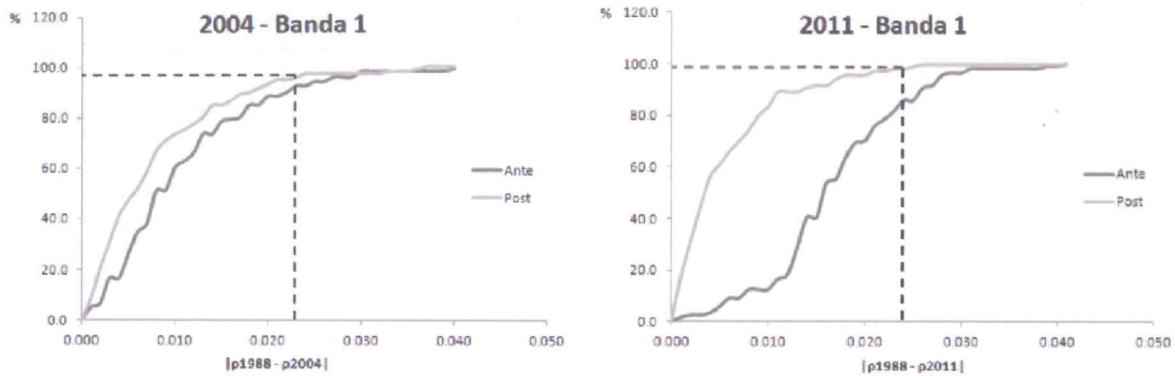


Figura 2. Distribuzione di frequenza cumulata dei valori  $\Delta p$  ante e post inter-calibrazione, relativi alle celle delle aree campione su superfici invariate. È possibile notare come la quasi totalità dei valori post inter-calibrazione si collochi al di sotto della soglia  $\sigma_{\Delta p}$ .

Nella successiva fase di processamento si sono identificate le diverse tipologie di superfici focalizzando l'attenzione su quelle riconducibili al concetto di consumo di suolo precedentemente descritto.

In particolare per l'identificazione delle aree urbanizzate è stata proposta una metodologia di classificazione automatica (K-means) effettuata attraverso l'impiego delle bande calibrate in valori di riflettanza e di bande sintetiche (indici spettrali) come NDVI, NDWI e NDBI. A partire da queste bande è stata condotta l'Analisi delle Componenti Principali fine di aggregare l'informazione spettrale nel tentativo di enfatizzare le differenze riconducibili alla diversa natura delle superfici indagate. La classificazione automatica è stata condotta su quelle componenti, selezionate per fotointerpretazione, che meglio permettevano di separare le superfici urbanizzate. A causa della diversa risoluzione spettrale e della diversa stagionalità delle immagini a disposizione le componenti principali selezionate sono risultate diverse per ogni periodo indagato. Il cluster che meglio, per fotointerpretazione, rappresentava la classe "Urbanizzato" è stata estratta ed utilizzata per il mascheramento dell'immagine multispettrale originaria (solo riflettanze). L'immagine multispettrale mascherata è stata poi ulteriormente classificata in modo automatico nel tentativo di riconoscere le aree forestali di tipo aperto e chiuso, quelle agricole e i corpi idrici. I cluster ottenuti sono stati identificati sulla base delle firme spettrali medie ed attraverso un controllo foto-interpretativo. Il risultato è stata una mappa delle macro-coperture presenti nell'area nei diversi periodi di indagine (urbanizzato, foresta aperta e chiusa, superfici agricole e corpi idrici).

La validazione quantitativa della mappa ottenuta è stata effettuata utilizzando le matrici di confusione costruite sulla base del dato di riferimento: *Land Use/Land Cover map* alla scala 1:50000 dell'*Indian Space Research Organization (ISRO)* disponibile per i periodi 2005-2006 e 2011-2012. In questa fase sono stati utilizzati 300 punti di controllo generati in modo casuale. Vista l'impossibilità di reperire dati di riferimento precedenti l'anno 2006, si assume che le classificazioni relative al 1975 e al 1988, essendo state generate con la stessa metodologia, mantengano un grado di accuratezza comparabile a quello delle immagini validate.

Le carte di copertura ottenute, relative a ciascun periodo indagato, sono state quindi sottoposte a procedure di *change detection* effettuata per coppie di immagini (1975-1988, 1988-2004, 2004-2011) attraverso una *post classification comparison* (Fig. 3).

Per ciascuna coppia di immagini si è proceduto, oltre all'individuazione delle superfici coinvolte, alla lettura di tale cambiamento ("da - a"). Contestualmente alle mappe sono state generate delle matrici di transizione, utili a dare lettura quantitativa sintetica dei fenomeni evolutivi del territorio e delle superfici coinvolte.

La classe definita come "Superfici coinvolte dal consumo di suolo" è stata infine utilizzata per un confronto effettuato su immagini ad alta risoluzione, ove disponibili, in ambiente Google Earth.

## Risultati e discussione

Il riconoscimento automatico delle superfici a seguito delle elaborazioni si è rivelato attendibile, registrando in fase di validazione delle mappe di copertura prodotte valori di *Overall Accuracy* che si attestano intorno all'83%. Dalle matrici di confusione prodotte per la validazione del dato (Tab. 1) si evince che i livelli minori di accuratezza nella classificazione si sono verificati a causa della commistione tra classi vegetate di tipologia differente (classi 2, 3, 4). L'errore tuttavia potrebbe essere legato a situazioni di ecotono, transitorie, tra una classe ed un'altra che più delle altre potrebbero risentire della diversa stagionalità delle immagini a disposizione e quindi anche legato alla differente interpretazione delle classi tra dato di riferimento e dato da validare.



	2004						2011					
	1	2	3	4	5	Tot.	1	2	3	4	5	Tot.
1 - Urbanizzato	75.0	0.0	5.0	20.0	0.0	100	82.5	2.5	0.5	1.0	0.0	100
2 - Foresta aperta	0.0	68.8	6.2	25.0	0.0	100	0.0	56.1	7.3	36.6	0.0	100
3 - Foresta chiusa	0.0	13.8	75.5	10.7	0.0	100	0.0	12.9	76.5	10.6	0.0	85
4 - Superfici agricole	0.9	4.4	0.0	94.7	0.0	100	0.0	2.6	0.0	97.4	0.0	115
5 - Corpi idrici	0.0	0.0	0.0	5.0	95.0	100	5.3	0.0	0.0	0.0	94.7	19

Tabella 1. Matrici di confusione (user %) relative alle classificazioni delle immagini 2004 e 2011.

Dalla lettura dei risultati ottenuti a seguito della *change detection*, le superfici coinvolte da consumo di suolo nell'area periurbana di Ranchi (1928.81 km<sup>2</sup>), stimate per i periodi considerati risultano essere le seguenti:

Stima delle superfici coinvolte		
1975 – 1988	2.70 km <sup>2</sup>	0.14%
1988 – 2004	18.77 km <sup>2</sup>	0.97%
2004 – 2011	49.73 km <sup>2</sup>	2.58%

Tabella 2. Stima delle superfici e percentuali sul totale dell'area considerata, coinvolte da cambiamenti legati al consumo di suolo per i tre periodi considerati.

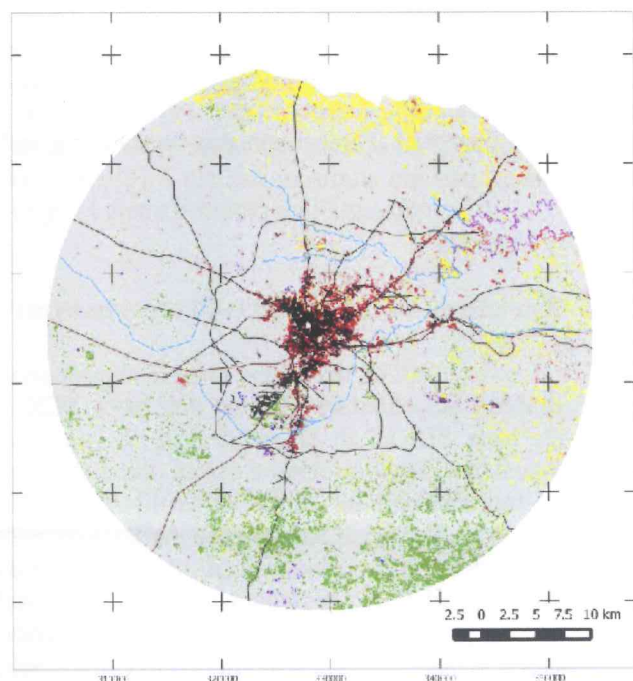


Figura 3. Sinistra - *Change detection* relativa al periodo 2004-2011, in rosso vengono identificate le superfici coinvolte da possibili fenomeni di consumo di suolo. Basso - Confronto effettuato tra la classificazione delle superfici coinvolte dal consumo di suolo ed immagini ad alta risoluzione relative allo stesso periodo di acquisizione.



Gran parte dei cambiamenti avvenuti tra 2004 e 2011 sono imputabili all'intensa attività edilizia avvenuta a seguito del 2000, anno in cui la città di Ranchi è diventata capoluogo amministrativo del neo Stato del Jharkhand. Tuttavia buona parte del effettivo tessuto urbano periferico non è stato riconosciuto in queste immagini (nonostante i tentativi di enfattizzazione del segnale) a causa di motivi riconducibili alla densità abitativa, ai materiali impiegati per le abitazioni ed alla consistente presenza di vegetazione all'interno del tessuto urbano.

Dal confronto della classificazione con le immagini ad alta risoluzione risulta evidente come all'interno della classe "Urbanizzato" ricada gran parte delle superfici edificate nel tempo ma anche i suoli nudi generatisi principalmente a seguito di attività di cava (Fig. 3- Destra).

Dall'analisi condotta è possibile quindi interpretare l'aumento subito dalla classe "Urbanizzato" come un effettivo consumo di suolo legato all'espansione urbana o legato allo sfruttamento delle risorse naturali a scapito di superfici forestali o un tempo destinate all'attività agricola.

## **Conclusioni**

Dal punto di vista dei risultati ottenuti è stato possibile riconoscere che il progressivo aumento delle superfici urbanizzate sia avvenuto a scapito di quelle agricole, considerando però che questo dato potrebbe essere stato sottostimato per via della difficoltà di riconoscere le aree a densità abitativa minore.

Le zone più colpite dal consumo di suolo hanno interessato le aree di espansione urbana e quelle legate allo sfruttamento delle risorse naturali (cave).

In conclusione, per quanto riguarda gli aspetti metodologici, è da sottolineare come una rigorosa fase di pre-processamento radiometrico sia necessaria per la corretta analisi delle immagini, soprattutto in applicazioni multi-temporali.

È possibile individuare delle condizioni stagionali ottimali per il riconoscimento di alcune superfici, ed è consigliabile adottare quando possibile immagini riferite alla stessa stagione per migliorare ulteriormente il risultato.

Per quanto riguarda l'individuazione delle aree urbanizzate sarebbe possibile migliorare i risultati impiegando, laddove possibile, dati a maggiore risoluzione geometrica o modelli di elevazione digitale che introducano ulteriori discriminanti. Certo è che l'alta risoluzione satellitare si è resa disponibile solo a partire dal 1999, e quindi, valutazioni che riguardino periodi precedenti debbono necessariamente fare riferimento a dati a media risoluzione geometrica. In questo senso la metodologia si rivela limitata per la corretta quantificazione delle superfici, ma efficace per la localizzazione delle aree più coinvolte da trasformazioni irreversibili. Le carte di cambiamento devono essere quindi intese come informazioni indiziarie per orientare successivi approfondimenti di dettaglio o rilievi sul campo. Certamente evidenziano dinamiche urbanistiche la cui lettura può aiutare le future politiche pianificatorie.

## **Bibliografia**

Bevington, P.R., Robinson, D.K. (2002). *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*. 3rd Ed.

Chavez, P.S. (1996). Image-based atmospheric correction-revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62, 1025-1036.

Pileri P. (2009). Consumo di suolo consumo di futuro. *Urbanistica*, n. 138/2009



Con il patrocinio di:



Sponsor:



Visual Information Solutions

