

PRIMA ANALISI DEGLI IMPATTI AMBIENTALI CAUSATI DALL'ANTROPIZZAZIONE DEL PARCO NAZIONALE DEL SAGARMATHA (EVEREST), ATTRAVERSO IL TELERILEVAMENTO SATELLITARE

Fabrizio LUCIANI(*), Maria Teresa MELIS(**), Mariledi PIERANTOZZI (*)

(*) Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Economia, Finanza e Statistica, Via Pascoli 20, 06100 Perugia,
tel. 0755855246, fax 0755855299, e-mail evk2cnr@unipg.it

(**)Università degli Studi di Cagliari Laboratorio TeleGIS, Dipartimento di Scienze della Terra –
Via Trentino, 51 09127 Cagliari tel 0706767701 fax 070282236 telegis@unica.it

Riassunto

Questa ricerca è stata realizzata nell'ambito del progetto Ev-K²-CNR – Ricerche Scientifiche e Tecnologiche in Himalaya e Karakorum, con il sostegno del Comitato Ev-K²-CNR e in collaborazione con la Royal Nepal Academy of Science and Technology (RONAST) come previsto dal Memorandum of Understanding tra il Regno del Nepal e il Governo della Repubblica Italiana e grazie al contributo del Consiglio Nazionale delle Ricerche e del Ministero degli Affari Esteri. Il presente articolo è poi, in effetti, una ideale prosecuzione dello studio presentato lo scorso anno alla 9° Conferenza nazionale ASITA di Catania ed avente per titolo "L'uso del telerilevamento satellitare per una corretta analisi degli impatti ambientali del turismo, nel Parco nazionale del Sagarmatha (Nepal)". In questi ultimi mesi il gruppo di ricerca del progetto Ev-K²-CNR che afferisce al Dipartimento di Economia, Finanza e Statistica dell'Università degli Studi di Perugia, attraverso lo studio e l'interpretazione di immagini multitemporali telerilevate da satellite, incrociate con le informazioni raccolte in loco attraverso apposite missioni, si è posto l'obiettivo di ampliare l'oggetto dello studio, arrivando a riconoscere ogni possibile segno identificativo di presenza umana nell'area parco. Questa è, quindi, non più e solo, una indagine rivolta all'influenza che un turismo elitario, ma non meno devastante, provoca all'ambiente naturale nel suo complesso, ma anche un primo, esaustivo esame delle opere di diverso tipo che "tutta" la popolazione residente, all'interno del perimetro, ha realizzato nel tempo. I risultati attesi dalla metodologia di ricerca applicata, sono riconducibili alla individuazione di impatti ambientali presenti nell'area protetta e conseguenza dell'attività agricola, zootecnica e urbanistica.

Abstract

This study was carried out within the framework of the Ev-K²-CNR "Scientific and Technological Research in Himalaya and Karakorum" Project with support from the Ev-K²-CNR Committee and in collaboration with the Nepal Academy of Science and Technology (NAST) as foreseen by the Memorandum of Understanding between the Government of the Kingdom of Nepal and the Government of the Republic of Italy. The research conducted was also made possible thanks to contributions from the Italian National Research Council and the Italian Ministry of Foreign Affairs. This study is carrying on the previous study "L'uso del telerilevamento satellitare per una corretta analisi degli impatti ambientali del turismo, nel Parco nazionale del Sagarmatha (Nepal)" presented by the same authors during the 9th ASITA Conference held in Catania. During the last monthes, the research group of the project Ev-K²-CNR, afferent to the Dipartimento di Economia, Finanza e Statistica, Università di Perugia by interpretation of remote sensing satellite images and field work, was aimed to enlarge the objective of this study. It is planned first to analyse the tourism impact but to consider the influences of the local population too.

1. Premessa

Lo studio presenta i risultati dell'analisi di dati telerilevati multiplatforma svolta in un settore della valle del Khumbu, nell'area meridionale del Parco di Sagarmatha in Nepal. Il lavoro prosegue le attività proposte dagli Autori alla 9° Conferenza ASITA in cui erano state presentate le finalità ed il contesto ambientale in cui è inserito lo studio (Luciani et al., 2005). L'obiettivo della ricerca è quello di creare una base dati che possa permettere valutazioni oggettive dei cambiamenti di copertura del suolo, sui quali potranno essere basati i successivi ragionamenti sulle principali cause.

2. Metodologia e dati utilizzati

La caratterizzazione delle variazioni di copertura del suolo si è svolta secondo uno schema che ha previsto diversi step di lavoro:

- 1. Redazione della cartografia tematica di copertura del suolo secondo la metodologia CORINE Land Cover:**
 - studio preliminare e proposta di legenda;*
 - elaborazione e prima interpretazione dei dati ASTER;*
 - verifica di campagna e creazione delle chiavi di interpretazione;*
 - interpretazione definitiva e proposta di cartografia in scala 1:100.000.*
- 2. Classificazione *supervised* secondo la definizione di *training site* definiti anche sulla base delle osservazioni di campagna.**
- 3. Applicazione di un algoritmo di *change detection* sui dati multitemporali Landsat sulla base di un *decision tree*.**

I dati da satellite utilizzati sono riportati nella tabella 1

SENSORE	PATH/ROW	DATA DI ACQUISIZIONE	COPERTURA NUVOLOSA
TM5	140/41	17/11/1992	0%
ETM	140/41	30/10/2000	0%
ASTER		23/10/2003	25%

Tabella1- Dati telerilevati utilizzati nello studio

Inoltre è stato previsto di gestire i dati raccolti in un database geografico in cui sono stati creati i seguenti piani informativi propedeutici alle valutazioni di *change detection*.

La cartografia topografica acquisita durante la campagna è stata utilizzata per la creazione dei livelli:

- idrografia*
- strade e sentieri*
- villaggi*
- coperture del suolo*
- toponomastica*

Si tratta di una serie di tematismi estratti per digitalizzazione con contenuto informativo aggiornato alla data di rilevamento delle foto aeree utilizzate per la restituzione, 1992.

2.1 Redazione della cartografia tematica di copertura del suolo secondo la metodologia CORINE Land Cover

Il processo di classificazione si basa su fotointerpretazione di immagini da satellite e, solamente per un numero molto ristretto di classi, l'individuazione deve essere svolta con l'ausilio di dati ancillari quali foto aeree e cartografia tematica.

La creazione delle chiavi di interpretazione, ossia della codifica in senso spettrale delle classi di legenda, è il passo più complesso e più importante; lo scopo della definizione delle chiavi di interpretazione è quello di creare un sistema di riconoscimento che colleghi le unità di copertura del suolo alla definizione spettrale delle stesse nelle combinazioni create per l'interpretazione.

La finalità di questo processo è la creazione di un sistema di regole per cui sia possibile capire ed utilizzare la classificazione anche come base di riferimento per l'analisi di altri dati.

L'interpretazione dell'immagine ASTER nella combinazione 321 con 15 metri di risoluzione a terra ha permesso la reazione del livello *copertura del suolo*. Il processo di fotointerpretazione ha utilizzato i dati raccolti durante la campagna di verità a terra ed in particolare sono stati creati i due livelli:

- *percorsi di rilevamento e punti di acquisizione*
- *fotografie orientate*

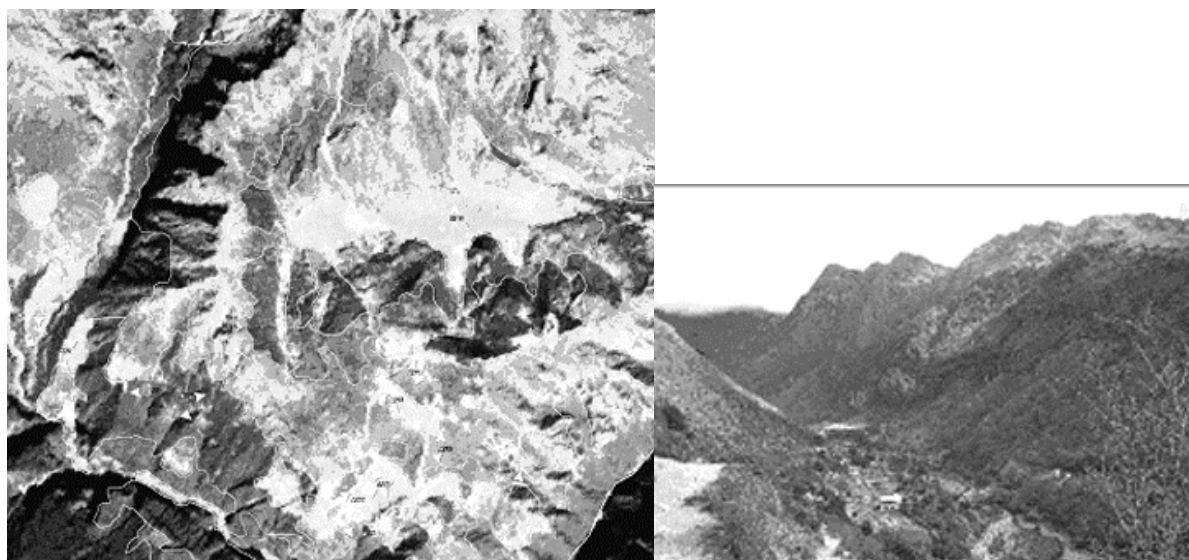


Fig. 1 - Punti di osservazione (in bianco) e foto panoramica

Le fotografie possiedono quindi le informazioni sul punto di acquisizione, espresso in coordinate e sull'orientazione del punto di vista rispetto al nord. Sono pertanto collegate geograficamente al database. E' interessante notare che diversi studi svolti precedentemente sul tema dell'impatto turistico sulla deforestazione nella regione del Sagarmatha si siano ampiamente basate su osservazioni di cambiamenti evidenti su fotografie riprese in momenti diversi. Esistendo quindi una notevole mole di questi dati è importante poterli utilizzare se inseriti in un database georiferito.

1. TERRITORI ARTIFICIALI	1.1 Aree urbane	1.1.2 Tessuto urbano discontinuo
2. TERRITORI AGRICOLI	2.4 Zone agricole eterogenee	2.4.1 Colture annuali associate a colture permanenti 2.4.2 Colture particellari 2.4.3 Aree principalmente occupate dall'agricoltura, con presenza di vegetazione naturale
3. TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMI-NATURALI	3.1 Zone boscate 3.2 Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea 3.3 Spazi aperti senza o con poca vegetazione	3.1.2 Boschi di conifere 3.1.3 Boschi misti 3.2.1 Praterie e pascoli naturali 3.2.2 Brughiere e cespuglieti 3.2.4 Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in mutazione 3.3.1 Alvei, sabbie 3.3.2 Rocce nude 3.3.3 Aree con vegetazione rada 3.3.5 Ghiacciai e nevi perenni
5. CORPI IDRICI	5.1 Acque continentali	5.1.1 Corsi d'acqua 5.1.2 Bacini d'acqua

Tabella 2 - Classi di copertura del suolo adottate nella fotointerpretazione

La procedura di interpretazione ha portato alla classificazione delle classi di copertura del suolo, riferite come detto alla struttura di legenda CORINE. con un'accuratezza basata sull'uso delle chiavi di interpretazione e quindi delle verità a terra rilevate durante la campagna.

2.2 Classificazione supervised secondo la definizione di training site definiti anche sulla base delle osservazioni di campagna

Il classificatore utilizzato in questa fase dello studio è stato il SAM poiché uno dei principali problemi incontrati per il riconoscimento anche visuale delle differenti coperture del suolo è stato l'illuminazione dei versanti. La morfologia aspra e le forti variazioni altimetriche anche in pochi chilometri condizionano fortemente la risposta spettrale degli oggetti imponendo di seguire versante per versante le coperture applicando le funzioni di *enhancement* in modo pressoché locale.

Una delle caratteristiche del classificatore SAM è proprio quella di basarsi invece su condizioni indipendenti dall'angolo di illuminazione e quindi da valori maggiori e minori di riflettanza.

Se si considera il diagramma di dispersione (*scatterplot*) delle n bande utilizzate nella classificazione, gli spettri dei pixel e degli oggetti (target) verranno rappresentati come punti. Se si disegna un vettore dall'origine verso ogni punto, l'angolo formato da due vettori costituisce l'angolo spettrale (*spectral angle*) tra quei due punti. La SAM calcola l'angolo spettrale tra ogni spettro dei pixel ed ogni spettro target. Minore è l'angolo spettrale e più simili sono gli spettri dei pixel e del target. Questo angolo sarà relativamente insensibile ai cambiamenti di illuminazione dei pixel poiché aumentando o diminuendo l'illuminazione non cambia la direzione del vettore, solamente la sua lunghezza (cioè un pixel più scuro sarà *plottato* lungo lo stesso vettore ma si fermerà più vicino all'origine). Nelle applicazioni di questa classificazione l'algoritmo determina la similarità spettrale tra due spettri calcolando l'angolo di cui si è parlato nello spazio con dimensionalità uguale al numero di bande utilizzate.

Gli spettri che si sono utilizzati in questo lavoro sono stati estratti direttamente dalle immagini ASTER nelle stesse bande sulle quali si è svolta la fotointerpretazione. Il risultato è estremamente interessante anche se alcune classi, come già appare nei valori di separabilità tra i training set, devono probabilmente essere ancora meglio definite nello spazio spettrale. Di seguito si riportano alcuni valori di separabilità per le classi più problematiche.

```
agricolo [Blue] 380 points:
urbano [Red] 3820 points: (1.99639212 2.00000000)
conifere [Green] 392 points: (1.91203045 1.99853682)
alveo [Yellow] 53 points: (1.91939846 2.00000000)
bosco misto [Cyan] 314 points: (1.49958322 1.59162710)
arbustivo rado [Magenta] 458 points: (1.44604553 1.82546407)
roccia [Maroon] 359 points: (1.65222925 1.99898124)
laghi [Sea Green] 498 points: (2.00000000 2.00000000)
ghiaccio [Purple] 679 points: (1.98276794 2.00000000)

ghiaccio [Purple] 679 points:
urbano [Red] 3820 points: (1.96588756 2.00000000)
conifere [Green] 392 points: (1.99896036 2.00000000)
agricolo [Blue] 380 points: (1.98276794 2.00000000)
alveo [Yellow] 53 points: (1.54235390 2.00000000)
bosco misto [Cyan] 314 points: (1.99880759 2.00000000)
arbustivo rado [Magenta] 458 points: (1.94873755 2.00000000)
roccia [Maroon] 359 points: (1.81277841 2.00000000)
laghi [Sea Green] 498 points: (1.98876886 2.00000000)
```

Questa fase ha consentito di creare un set di dati da proporre come base di riferimento per le valutazioni successive in fase di creazione del Sistema informativo geografico per le valutazioni dei cambiamenti.

2.3 Applicazione di un algoritmo di change detection sui dati multitemporali Landsat sulla base della differenza degli NDVI e proposta di un decision tree.

2.3.1 NDVI

La prima procedura di analisi delle variazioni di copertura del suolo è stata svolta applicando la differenza tra le immagini NDVI delle due serie Landsat TM ed ETM disponibili. La differenza permette di associare i valori di soglia per le classi che si vogliono evidenziare come variazioni. La classificazione preliminare del dato ASTER permette di verificare i risultati delle analisi per confronto con l'informazione reale.

Una variazione piuttosto importante è ben visibile nel settore orientale dell'area studiata, a valle del sentiero che da Namche si snoda verso Phortse e Tyanboche. Si tratta di un dissesto di notevoli dimensioni probabilmente causato dallo scalzamento alla base del versante per erosione fluviale; si trova lungo il versante destro di un meandro in formazione, dove è massima l'energia delle acque ricche di materiale sospeso è quindi con un alto potere erosivo. L'area fa parte di un intervento di riforestazione che appare quindi non sufficiente per proteggere il versante. Il sentiero si trova a monte del fenomeno e pertanto difficilmente è rilevabile da terra se non presso Phortse, dopo aver attraversato il corso d'acqua.

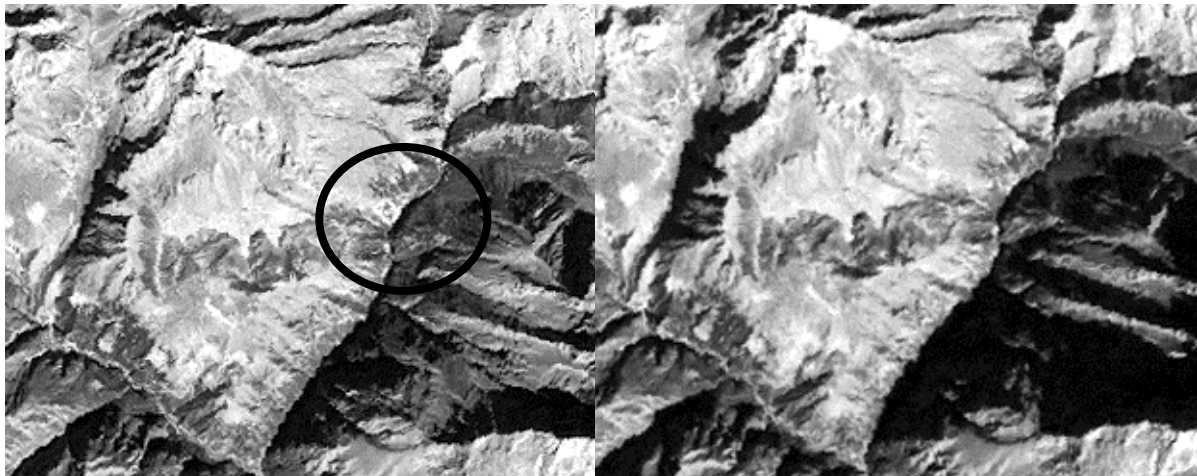


Fig. 2 - Il dissesto rilevato nell'immagine Landsat ETM e la stessa area nell'immagine TM

Una prima valutazione numerica dei cambiamenti di biomassa sulla base degli indici di vegetazione rosso/infrarosso è riportata di seguito:

Class Name	Npts	Pct
Unclassified	[41067]	0.592%
Change (+5)	[132]	0.002%
Change (+4)	[1322]	0.019%
Change (+3)	[18490]	0.267%
Change (+2)	[293245]	4.228%
Change (+1)	[3730802]	53.792%
No Change	[150352]	2.168%
Change (-1)	[2662002]	38.382%
Change (-2)	[33569]	0.484%
Change (-3)	[3871]	0.056%
Change (-4)	[625]	0.009%
Change (-5)	[81]	0.001%

2.3.2 Decision tree

I classificatori di tipo decision tree hanno ricevuto negli ultimi anni un notevole sviluppo nelle applicazioni mirate particolarmente alle classificazioni di copertura del suolo a scala continentale e globale. Particolare interesse riveste inoltre l'applicazione di questi algoritmi nei temi della *change detection* e sono stati sviluppati specifici indici, di cui il VCC (*Vegetation Cover Conversion*) rappresenta un sistema indirizzato alle applicazioni dei dati MODIS. Differenti esperienze svolte

dagli Autori hanno dimostrato l'interesse nell'applicazione di questo algoritmo nel contesto territoriale italiano estremamente frammentato e quindi di complessa modellazione ed in questo studio si è voluta testarne la capacità utilizzando i dati del Landsat TM ed ETM. Il VCC utilizza cinque differenti metodi per determinare il cambiamento, tre basati sul dominio spettrale e due sulla tessitura dell'immagine. Questi metodi sono il metodo del red-NIR *space partitioning*, il metodo del red-NIR space change vector, il metodo del *modified delta space thresholding*, i cambiamenti nel coefficiente di variazione (NDVI) e i cambiamenti nelle caratteristiche lineari (Zhan X et al, 2002). Il metodo utilizzato è il red-NIR *space partitioning* che ha come obiettivo quello di dividere lo spazio Rosso/Vicino Infrarosso in cinque classi: foresta (vegetazione boschiva alta con un canopy cover >del 40%), non foresta (vegetazione boschiva bassa ed erbacea con un canopy cover < 40%), suoli nudi (aree urbane), corpi idrici. Per ognuna delle immagini considerate sono stati calcolati l'NDVI, l'indice di greenness e l'indice di brightness. Alle classi sopra descritte è stata aggiunta la copertura del suolo dei ghiacci.

Il *decision tree*, come sistema di discriminazione e quindi di classificazione si propone come un metodo di ragionamento mirato a seguire le regole imposte dall'operatore sulla base delle caratteristiche spettrali locali. Dopo aver calcolato l'NDVI, l'indice di *brightness* e l'indice di *greenness* sono stati analizzati gli istogrammi relativi ad ognuno degli indici considerati e attraverso una tecnica di *density slicing* sono stati individuati gli intervalli, riferiti rispettivamente all'NDVI, al *greenness* e al *brightness*, per ognuna delle classi d'interesse. E' stato quindi applicato il metodo della classificazione con un *decision tree*, che utilizza una tecnica di *splitting* ortogonale. Attraverso una sintassi i pixel vengono distribuiti nelle varie classi, utilizzando il concetto IF....THEN. Il *decision tree* prevede l'appartenenza alle classi dei pixel considerati, attraverso *splitting* successivi, fino ad ottenere i nodi puri terminali, ossia le classi d'interesse. Alla fine del processo emerge una classe aggiuntiva che include i pixel che non rientrano in nessuna delle classi precedentemente individuate, ossia non rispondono alle regole imposte dall'operatore. Come anche già rilevato nei precedenti studi il *decision tree* che offre risultati più interessanti è quello che elabora NDVI e greenness, utilizzando quindi due indici relativi alla vegetazione: le immagini ottenute rappresentano meglio i cambiamenti fenologici anche in termini di variazioni di copertura del suolo.

Conclusioni

Come detto nel precedente lavoro degli Autori non esiste un metodo a priori per la mappatura delle unità di copertura del suolo e per le valutazioni dei cambiamenti. In questo lavoro è stato presentato un percorso metodologico che parte dalla creazione delle chiavi di interpretazione dell'immagine ASTER per creare il piano informativo sulla copertura del suolo necessario per la applicazione dei metodi di analisi numerica. L'utilizzo della differenza degli indici di vegetazione consente una lettura rapida dei cambiamenti senza però controllare il percorso di analisi che diventa il centro del sistema di classificazione attraverso un *decision tree*. I risultati ottenuti dalle elaborazioni presentate verranno sintetizzati nella redazione della Carta della copertura del suolo della valle del Khumbu in scala 1: 100.000, che vuole essere un punto di partenza per successive analisi. Si è inoltre strutturato un database geografico contenente i dati tematici e la raccolta iconografica georiferita.

Bibliografia

Luciani F., Melis M.T. (2005), L'uso del telerilevamento satellitare per una corretta analisi degli impatti ambientali del turismo, nel Parco nazionale del Sagarmatha (Nepal), Atti 9° Conferenza ASITA, Catania.

Zhan X. Sohlberg (2002) Detection of land cover changes using MODIS 250 m data, Remote Sensing of Environment, 83 336-350.