

## LA CARTOGRAFIA DELLE UNITÀ DI COPERTURA DEL SUOLO DA DATI ASTER, DI UN SETTORE DEL PARCO NAZIONALE DEL SAGARMATHA (NEPAL)

Antonio BOGGIA (\*), Fabrizio LUCANI (\*\*), Maria Teresa MELIS (\*\*\*)

(\*) Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Scienze Economico-Estimative e degli Alimenti, S. Pietro,  
06100 Perugia, tel. 0755857136, fax 0755856263, e-mail [boggia@unipg.it](mailto:boggia@unipg.it)

(\*\*) 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](mailto:evk2cnr@unipg.it)

(\*\*\*)Università degli Studi di Cagliari, Laboratorio TeleGIS, Dipartimento di Scienze della Terra,  
Via Trentino 51, 09127 Cagliari, tel. 0706767701, fax 070282236, e-mail [telegis@unica.it](mailto:telegis@unica.it)

### Riassunto

Lo studio, qui presentato, è di complemento ad un'indagine più ampia che ha come tema la "Ricerca, studio e valutazione degli impatti ambientali conseguenza dell'attività agricola, zootecnica e turistica nel parco nazionale del Sagarmatha (Everest, Nepal)", realizzata dal Dipartimento di Economia, Finanza e Statistica dell'Università degli Studi di Perugia, in collaborazione con il Comitato Ev- K2-CNR.

Nel dettaglio, al fine di affiancare convenientemente la parte economico ambientale a quella naturalistica, l'unità di ricerca ha ritenuto indispensabile procedere alla creazione di una base conoscitiva sulla copertura del suolo di un settore dell'area del parco, da utilizzare come mappatura delle unità di riferimento per le successive analisi multitemporali; l'aspetto, quindi, che ha guidato la scelta del sistema di classificazione, è stato quello di riferirsi a classi spettralmente riconoscibili e monitorabili, in un sistema di analisi multitemporale. I dati disponibili per quest'area e che attualmente costituiscono il punto di partenza per lo studio, sono stati le immagini del sensore ASTER acquisite il 23 ottobre 2003. Nell'ottobre del 2005 e nell'ottobre del 2006, sono state effettuate le campagne di verità a terra, utilizzando i dati telerilevati coerenti come stato delle coperture del suolo. Le immagini sono state interpretate, seguendo una metodologia di fotointerpretazione spettrale ampiamente testata in ambito europeo con il Progetto "CORINE Land Cover" e che è basata sulla costruzione di chiavi di interpretazione che guidano il fotointerprete verso una mappatura, la quale permette di individuare quelle unità di territorio successivamente utilizzabili in contesti di riconoscimento automatico delle classi e, quindi, anche di eventuali valutazioni dei cambiamenti (*change detection*). Sulla base di questa valutazione viene oggi proposta una carta delle unità di copertura del suolo con base ASTER ed avente un'accuratezza spaziale riconducibile alla scala cartografica 1:50.000.

### Abstract

*This study was carried out within the framework of the Ev-K<sup>2</sup>-CNR "Scientific and Technological Research in Himalaya and Karakorum" Project with support from the Ev-K<sup>2</sup>-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 State 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.*

## Introduzione

Obiettivo dichiarato della successiva analisi, è quello di identificare le variazioni di copertura del suolo di un settore del Parco del Sagarmatha, nel Nepal settentrionale, rilevabili mediante elaborazione di dati provenienti da *remote sensing* e riferibili, principalmente, agli interventi dell'uomo legati a sostanziali attività turistiche.

Per la comprensione delle variazioni di copertura del suolo si è proceduto alla mappatura di quelle unità ritenute importanti per la valutazione dei cambiamenti e riconducibili quindi principalmente a mutazioni di biomassa. L'aspetto forse più particolare di questa ricerca è stato quello di constatare l'assenza di dati cartografici su questa regione ed in particolare la mancanza di un riferimento tematico che permettesse di quantificare le reali coperture forestali e gli eventuali cambiamenti di destinazione d'uso del territorio (deforestazione, utilizzo per il pascolo, utilizzo agricolo, urbanizzazione). La cartografia topografica di riferimento è quella realizzata dal "Survey Department of His Majesty's Government of Nepal" in cooperazione con il Governo finlandese.

Questa cartografia è stata restituita da un rilievo aereo del 1992 e verificata sul campo nel 1996, è in scala 1:50.000 ed è riferita al sistema Everest- (o India-) 1830. Partendo da questi elementi si è ritenuto che la prima fase della ricerca dovesse essere quella di realizzare una base di riferimento tematica e si è scelto di elaborare le immagini telerilevate dal sensore ASTER, utilizzando principalmente i dati VNIR con 15 metri di risoluzione a terra.

La cartografia tematica di copertura del suolo nasce come strumento per l'analisi sulla natura degli oggetti che coprono la superficie terrestre. L'indagine viene svolta utilizzando basi informative quali le fotografie aeree, le immagini da satellite, la cartografia e le fonti bibliografiche disponibili. Il processo che porta alla definizione della carta tematica è di tipo interpretativo, ovvero di scelta di come convertire l'informazione presente sul supporto che si analizza in unità reale. Questo processo impone l'omissione di quei dati che non vengono ritenuti importanti e la focalizzazione del processo interpretativo verso quelle classi che meglio descrivono l'obiettivo del lavoro. Le immagini multispettrali, per loro natura contengono una vasta mole di dati e di informazioni da interpretare e la carta tematica di copertura del suolo deve quindi scegliere quali intervalli spettrali e quali indicatori costituiranno la base per l'interpretazione.

La metodologia CORINE Land Cover, che nasce con lo scopo di creare una banca dati tematica sulla copertura del suolo dell'intera Europa, ha posto un'estrema attenzione nella definizione delle chiavi di interpretazione, ovvero negli strumenti di conversione dello spazio spettrale in unità reale. Il principio di classificazione si basa sull'interpretazione visiva dell'immagine telerilevata e sull'attribuzione di ogni unità omogenea secondo le variabili definite (colore, tono, struttura, tessitura) ad una determinata classe di legenda. Questa classificazione si basa quindi su una legenda che, se pur rigida poiché predefinita, rappresenta peraltro un riferimento interpretativo, in quanto ogni classe, qualunque sia la sua localizzazione geografica, è definita da variabili spettrali e spaziali riconoscibili univocamente sulle immagini.

In questo studio si è ritenuto che l'utilizzo di questa metodologia fosse il più idoneo per procedere ad un'analisi di variazioni di copertura del suolo "controllate" ovvero riconducibili a variazioni spettrali.

### 1. Localizzazione geografica e descrizione dei paesaggi

Il Parco Nazionale del Sagarmatha, il più elevato del mondo, con un ambiente naturale di straordinaria grandiosità presente in un'area di circa 1200 Km<sup>2</sup>, predisposta alla tutela dell'unicità della regione, della gente, delle sue montagne, della flora e della fauna, con l'intento di conciliare il turismo moderno con la cultura tradizionale Sherpa, è situato nel distretto del Solu-Khumbu, nella

regione nord-orientale del Nepal e venne ufficialmente istituito nel 1976, con uno statuto di rigorosa protezione e conservazione delle sue risorse naturali.

Il limite settentrionale del Parco segna il confine con la Regione Autonoma del Tibet in Cina e lungo lo spartiacque sventa la cima più alta del mondo, il Monte Everest (8.848 m. s.l.m.), conosciuto in Tibet come Chomolangma e per i nepalesi come Sagarmatha. Nel 2002 le regioni di Lukla, Pharak e Phakding a sud e fuori dal parco vennero dichiarate una "buffer zone" (Fig. 1).

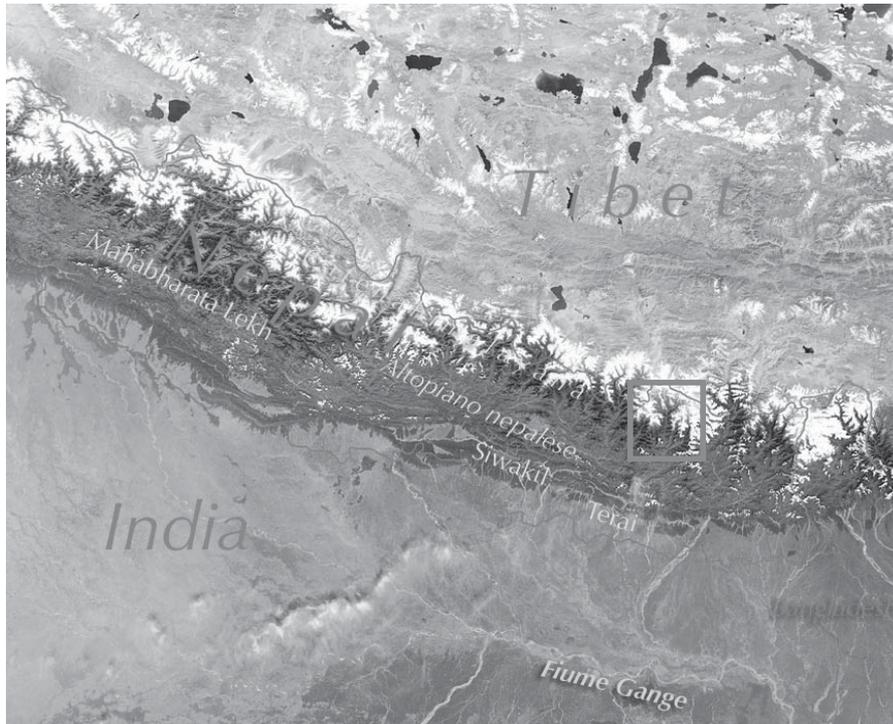


Fig.1 - Inquadramento geografico dell'area in studio.

La zonazione geomorfologica proposta in letteratura, che descrive il Nepal orientale sino al Tibet meridionale, fornisce una guida alla lettura del paesaggio in studio ed alla comprensione dei fenomeni morfologici e del contesto ambientale nel quale si devono comprendere le dinamiche di evoluzione. La piana del Gange è bordata dalle colline del Siwalik costituite da sedimenti miocenici sino a plio-pleistocenici. Queste colline sono caratterizzate da una fitta copertura vegetale e solo sulla sommità sono utilizzate dall'uomo per le coltivazioni; salendo di quota si va verso il Lesser Himalaya, costituito da una sequenza di metamorfiti di età pre-cambliche che hanno sovrascorso sui metasedimenti di basso grado, Higher Himalaya. Dal punto di vista altimetrico si tratta di paesaggi con quote che arrivano ai 3000 metri, caratterizzati da forti incisioni vallive su versanti ad acclività molto elevata con copertura vegetale ancora molto densa. Circa a questa quota, si trova il centro di Lukla che è la base di partenza per l'attraversamento della valle del Dudh Koshi, lungo la quale sono stati svolti i nostri rilevamenti.

La catena himalayana è un rilievo estremamente giovane e le forze che hanno generato il sollevamento sono attive. La deformazione del margine settentrionale della Placca indiana, come conseguenza della collisione con la Placca eurasiatica, è registrata nella storia tettono-metamorfica e magmatica del *Cristallino Higher Himalayan*. La Fig. 2 riporta una sezione geo-strutturale in cui sono rappresentate le formazioni che costituiscono l'unità metamorfica HHC (Higher Himalayan Crystallines: Barun Gneiss, i Namche Migmatite Orthogneiss, i Black Gneiss, la Formazione Rongphu e i Lhotse Schists) il sistema dei rilievi del Lesser Himalaya, le formazioni North Col, Mt Jolmo Lungma e Yellow Band e i plutoni granitici (R. Carosi et al., 1999).

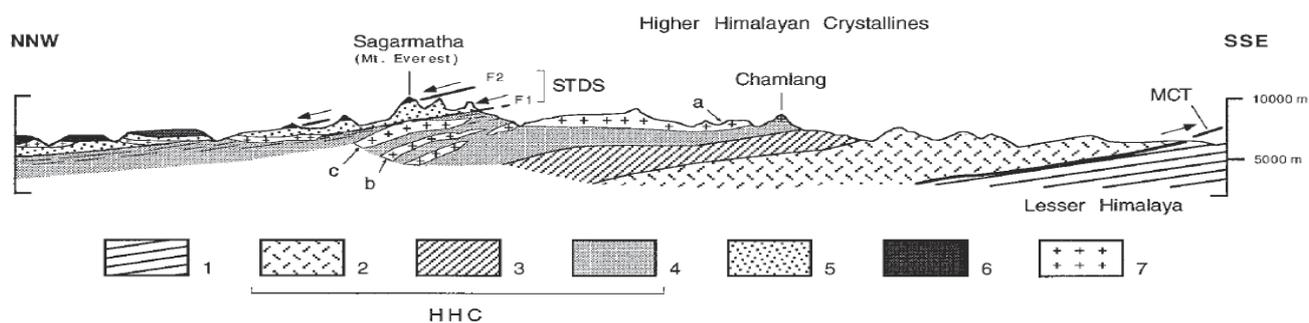


Fig.2 - Sezione geo-strutturale attraverso la catena dal Khumbu Himalaya al Tibet meridionale: 1. Lesser Himalaya; 2. Barun Gneiss; 3. Namche Migmatite Orthogneiss; 4. Black Gneiss, Formazione Rongphu e i Lhotse Schists; 5. Formazione North Col; 6. Formazione Mt Jolmo Lungma e Yellow Band; 7. plutoni: a. Tramserku, b. Baruntse, c. Nuptse; STDS: South Tibetan Detachment System. (da R. Carosi et al., 1999).

L'assetto strutturale del settore, legato ad eventi tettonici che hanno condizionato fortemente la dinamica morfologica, si può in generale ricondurre ad un sistema con incisioni principali orientate N-S e valli ortogonali i cui versanti presentano una netta esposizione verso nord e verso sud.

L'esposizione gioca un ruolo importante nella distribuzione delle specie vegetali, principalmente legata alle condizioni di umidità e quindi anche di evoluzione pedologica.. Le specie vegetali che crescono sui versanti esposti a sud, più secchi e alle quote comprese tra 3.600 e 4.030 metri sono rappresentate da cespugli di *Rhododendron lepidotum*, *Cotoneaster microphyllous*, *Juniperus recurva* e *indica* e *Berberis sp.* Associati a diversi tipi di specie erbacee. I versanti esposti a nord, più umidi accolgono vaste aree di foresta mista composta da specie di *Abies spectabilis*, *Betula utilis* e diverse specie di rododendri.. Localmente si trovano importanti associazioni ad *Acer caudatum*, *Sorbus microphyllus*, *Salix eriostachya* e *daltoniana*, *Arundinara sp.* e *Juniperus ricurva* (Byers, 2005).

Le morfologie aspre e l'acclività dei versanti hanno limitato fortemente lo sviluppo delle coltivazioni che sono limitate in lembi terrazzati e soggetti ad evidenti fenomeni di erosione del suolo anche favoriti dall'assenza di copertura boschiva. La dinamica morfologica è estremamente attiva ed evidente nelle giovani forme e nei fenomeni di instabilità dei versanti che generano anche importanti fenomeni franosi.

## 2. I flussi turistici nel Parco del Sagarmatha

Quanto alle presenze di visitatori nell'area parco, nel 1964 risultano registrati un totale di 20 unità. Nella stagione autunno-primavera del 1972/'73, sono presenti 3.200 visitatori. (Mishra, 1973). Nella stagione 1977/'78, un'incompleta registrazione ha mostrato perlomeno 3.850 trekkers. Nel 1981, questo dato è salito a 5.836. Le presenze sono aumentate a 9.900 nel 1986 ed a 11.366 nel 1988, con un incremento del 37 per cento. Un picco di 16.000 fu raggiunto nel 1993/94 (Banskota and Sharma, 1998). Riassumendo, la presenza turistica nella valle è cresciuta praticamente dallo zero del 1964 ai 3.200 visitatori nel 1972-73. Da allora, il numero degli escursionisti è aumentato di oltre l'82 per cento fino al 1981, per arrivare ad uno stupefacente 174 per cento tra il 1981 e il 1994. Oggi, in media, più di 20.000 turisti visitano il parco ogni anno. I turisti del Khumbu sono assai eterogenei; la loro età varia da meno di un anno a più di 80 e provengono da ogni paese del mondo. Dai dati consultati presso il centro visite del parco, risulta che i più numerosi sono gli statunitensi, seguiti dai giapponesi e dagli europei. Gli indiani, pur essendo fra i più assidui frequentatori del Nepal, rappresentano una piccola percentuale dei trekkers del Parco del Sagarmatha (Mishra, 1973; Pawsan,

1984). Il trekking nel Khumbu è fortemente stagionale in conseguenza delle piogge monsoniche che insistono sull'intero arco himalayano ed impediscono i viaggi aerei interni; di conseguenza, sono scarse le presenze turistiche in estate. Da ottobre a dicembre il tempo è migliore e spesso relativamente dolce; i trekkers, interessati ad ammirare e affrontare le montagne più alte della terra, si trovano quindi nella condizione ideale. Il secondo periodo consigliato va da marzo alla prima metà di maggio, quando inizia una fase pre-monsoonica di grande instabilità. La stagionalità di questo turismo provoca due conseguenze per l'ambiente: la prima, positiva, riguarda il sistema ecologico complessivo che può "rigenerarsi" dall'enorme pressione antropica subita nei mesi turistici di punta; la seconda è che, al contrario, un pronunciato afflusso turistico racchiuso in pochi mesi e non scaglionato in tutto l'arco dell'anno, ha sicuramente un altrettanto notevole impatto ma, questa volta, negativo. Si è quindi ritenuto opportuno approfondire questa problematica; la nostra indagine ha impiegato i dati desunti dal telerilevamento satellitare, incrociati con quelli ricavati direttamente sul posto, per iniziare una verifica dell'impatto complessivo che il turismo determina in questa regione fisica.

### **3. Dati utilizzati**

Come detto sopra, il Nepal ha un clima monsonico tropicale e l'anno è diviso in due stagioni: la stagione secca (ottobre-marzo) e la stagione umida o dei monsoni (giugno-settembre). Per questo motivo sono state cercate e risultano molto ben definite dal punto di vista radiometrico, le immagini acquisite nell'ottobre/novembre di diversi anni. La metodologia applicata ha previsto la scelta dei punti di interesse per la costruzione delle chiavi di interpretazione da svolgersi durante la campagna; il rilevamento prevede la verifica puntuale della risposta spettrale secondo transetti scelti nelle immagini e l'acquisizione di informazioni tematiche di tipo fisiografico, che vengono integrate da fotografie orientate e che costituiscono la banca dati sulla quale elaborare le interpretazioni.

In particolare, si intende capire quali indicatori naturali potranno essere inseriti in un sistema di monitoraggio che valuti la effettiva risposta in termini di resistenza dell'ambiente sul quale insiste la forte pressione antropica. Questi impatti, difficilmente osservabili come singoli episodi in un sistema da satellite, hanno prodotto variazioni di uso del suolo e conseguentemente di copertura vegetale, che un'analisi multitemporale può però mettere bene in evidenza. Si tratta quindi di trovare la chiave di lettura delle informazioni tematiche che sono state raccolte e che dovranno essere organizzate per proporre l'interpretazione.

I dati, disponibili per quest'area e che attualmente costituiscono un punto di partenza per lo studio, sono stati le immagini del sensore ASTER acquisite il 23 ottobre 2003. Ottobre 2005 ed ottobre 2006, sono, invece, i due periodi temporali in cui i ricercatori hanno confrontato sul posto i dati telerilevati coerenti con lo stato vegetativo delle coperture del suolo.

### **4. Metodologia per il rilevamento e la creazione delle chiavi di interpretazione**

Il rilevamento sul terreno per la mappatura delle classi di copertura del suolo attraverso l'analisi di dati telerilevati, si è svolto nel settore meridionale del Parco del Sagarmatha, lungo la valle che da Lukla sale verso Namche e che da qui si apre verso i ghiacciai del Khumbu. Il lavoro riporta una prima fase di analisi del territorio per una valutazione dei cambiamenti di uso/copertura del suolo avvenuti negli ultimi dieci anni ed evidenziati mediante l'elaborazione di immagini multitemporali e multispettrali da satellite, integrate da due campagne sul terreno per una prima validazione.

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 redazione 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*

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.

## 5. Legenda

La scelta delle classi di legenda risponde parzialmente all'esigenza di capire quali influenze le attività turistiche abbiano avuto sull'habitat e quali modificazioni possano essere rilevate dai sensori utilizzati. Dal punto di vista metodologico è stata scelta la classificazione del CORINE Land Cover, che nasce come prodotto di foto-interpretazione di dati multispettrali e che ha permesso di definire, durante le sue prime fasi di lavoro e di aggiornamento, le chiavi di interpretazione per la creazione delle classi di legenda (Tab. 1). L'utilizzo dei dati del sensore ASTER, aumenta le capacità radiometriche per l'applicazione di algoritmi di classificazione delle coperture del suolo, anche in funzione di una risoluzione al suolo di 15 metri nel set di bande del VIR.

1. TERRITORI ARTIFICIALI	1.1 Aree urbane	1.1.2 Tessuto urbano discontinuo
2. TERRITORI AGRICOLI	2.4 Zone agricole eterogenee	2.4.2 Sistemi particellari complessi 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 Cespuglieti 3.2.4 Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in mutazione 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 1 – Classi di legenda secondo lo schema CORINE Land Cover.

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.

Di seguito, si riportano alcune chiavi di lettura delle immagini utilizzate per la redazione delle unità di copertura del suolo.

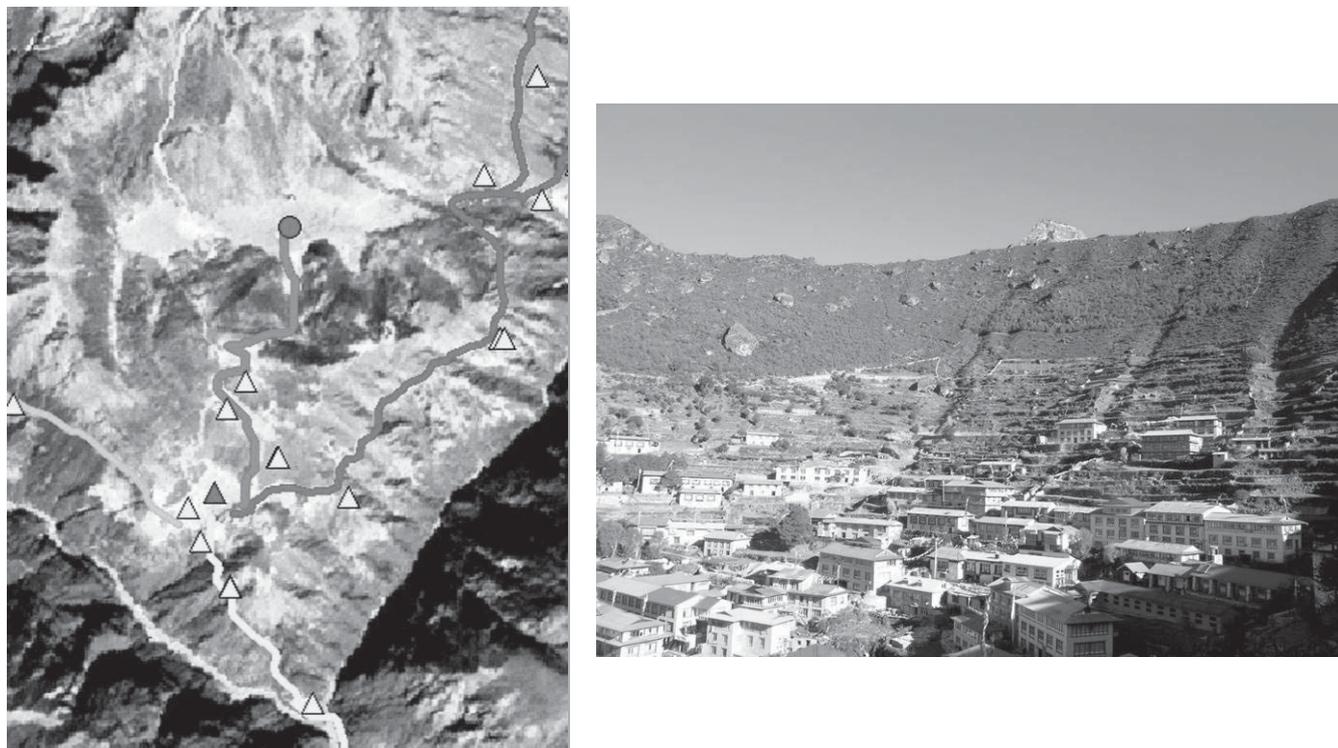


Fig. 3. L'abitato di Namche: a sinistra il triangolo grigio nell'immagine ASTER e a destra in una fotografia panoramica. (Foto Melis)

## 6. 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 pressochè 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/o 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.

## Conclusioni

La cartografia che si presenta qui, per la prima volta, utilizza come base l'immagine ASTER, che risulta essere la più idonea, sia durante le fasi di foto-interpretazione in campagna, che per una prima classificazione di tipo automatico. Viene inoltre testata ulteriormente la classificazione CORINE Land Cover come standard di interpretazione spettrale con sensori diversi.

Come affermato in precedenti lavori da alcuni 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 sperimentale, 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.

## Bibliografia essenziale

Carosi R., Lombardo B., Musumeci G., Pertusati P.C. (2003) - Geology of the Higher Himalayan Crystallines in Khumbu Himalaya (Eastern Nepal). *The Geographical Journal*, Vol.169, No. 3, September 2003, pp. 255-277

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.

LUCIANI F., MELIS M.T. (2006) - Prima analisi degli impatti ambientali causati dall'antropizzazione del Parco nazionale del Sagarmatha (Everest), attraverso il telerilevamento satellitare. Atti 10° Conferenza nazionale ASITA, Bolzano 14-17 novembre 2006. pp 1447-1452.

Stevens S.(1999) Tourism and deforestation in the Mt Everest region of Nepal. *Journal of Asian Earth Sciences* 17 (1999) 785±803.