

## **Classificazione di immagini SPOT per l'aggiornamento al 2008 della mappa di copertura del suolo della Regione Lombardia**

Paolo Zaffaroni, Marta Maggi, Paolo Pileri

(\*) Dipartimento di Architettura e Pianificazione, Politecnico di Milano  
via Bonardi 3, Milano, tel. 02-23994114, e-mail: paolo.zaffaroni@alice.it

### **Riassunto**

In questo articolo viene presentata la mappa delle coperture del suolo della Regione Lombardia aggiornata al 2008 mediante la classificazione di immagini satellitari SPOT multispettrali. Questo lavoro si inserisce nel progetto "Effetti ambientali dei cambiamenti di uso e copertura del suolo in Lombardia e nelle province di Novara e Verbania", finanziato da Fondazione Cariplo. La mappa presenta una legenda di 10 classi aggregate di copertura del suolo e possiede un'accuratezza tematica verificata del 79%.

### **Abstract**

This article presents the 2008 land cover map of Lombardia Region obtained with the classification of SPOT multi-spectral images. This work is part of the project "Environmental effects of land use and land cover change in Lombardy and in the Provinces of Novara and Verbania", which is supported by Fondazione Cariplo. The map considers 10 aggregated classes of land cover and its overall accuracy is 79%.

### **Introduzione**

La disponibilità di dati aggiornati sulle coperture e sugli usi del suolo rappresenta un fattore fondamentale per il governo del territorio, infatti consente, attraverso il monitoraggio delle dinamiche dei cambiamenti, di individuare le politiche più efficaci per la gestione sostenibile delle risorse naturali.

Fondazione Cariplo ha finanziato una ricerca scientifica che si pone come obiettivo la valutazione degli effetti ambientali dei cambiamenti di copertura del suolo avvenuti in Regione Lombardia e nelle province piemontesi di Novara e del Verbano-Cusio-Ossola nel periodo 1999-2008. La prima parte del progetto prevede la creazione di un geodatabase multitemporale delle coperture/usi del suolo e l'analisi dei cambiamenti mediante immagini satellitari.

In questo articolo si presenta la mappa delle coperture del suolo della Regione Lombardia aggiornata al 2008, analizzando proprietà geometriche e tematiche, metodo di produzione e verifica dell'accuratezza tematica.

### **Caratteristiche delle immagini SPOT**

La mappa delle coperture del suolo al 2008 della Regione Lombardia è stata generata dalla classificazione di 25 immagini multispettrali SPOT4-HRVIR e SPOT5-HRG (Tab. 1) acquisite nel 2008 (per alcune aree sono state utilizzate anche alcune immagini 2007). In base alle disponibilità dell'archivio SPOTIMAGE, è stata selezionata una copertura multitemporale per il territorio regionale di pianura (primavera, inizio e fine estate) e monotemporale estiva per il territorio collinare e montano (Tab. 2).

BANDE SPETTRALI	SPOT4-HRVIR	SPOT5-HRG
B1: 0.50-0.59 $\mu\text{m}$ (Verde)	20 m	10 m
B2: 0.61-0.68 $\mu\text{m}$ (Rosso)	20 m	10 m
B3: 0.78-0.89 (Infrarosso Vicino)	20 m	10 m
B4: 1.58-1.75 (Infrarosso a onde corte)	20 m	20 m

Tabella 1 – Caratteristiche delle bande spettrali SPOT4-HRVIR e SPOT5-HRG.

DATA	ID SCENA	COPERTURA NUVOLOSA (%)	SATELLITE	GRS K	GRS J
13/04/2007	40592580704131019211I	6	SPOT4	59	258
17/04/2007	50582590704171011061J	0	SPOT5	58	259
24/04/2007	40582580704241007391I	1	SPOT4	58	258
01/04/2008	40562580804011007052I	0	SPOT4	56	258
01/04/2008	40562590804011007132I	0	SPOT4	56	259
26/04/2008	50592590804260955021J	1	SPOT5	59	259
27/06/2008	50572600806271001591J	2	SPOT5	57	260
07/08/2008	40562560808071044191I	11	SPOT4	56	256
14/08/2008	40602590808141009512I	4	SPOT4	60	259
19/08/2008	40572590808191013442I	4	SPOT4	57	259
19/08/2008	40592590808191013421I	0	SPOT4	59	259
23/08/2008	40562580808231036452I	17	SPOT4	56	258
24/08/2008	40592560808241017062I	9	SPOT4	59	256
24/08/2008	40592570808241017152I	5	SPOT4	59	257
24/08/2008	40592580808241017232I	5	SPOT4	59	258
24/08/2008	40572560808241017081I	8	SPOT4	57	256
24/08/2008	40572570808241017171I	5	SPOT4	57	257
24/08/2008	40572580808241017251I	4	SPOT4	57	258
09/08/2008	40542570809091009222I	8	SPOT4	54	257
09/08/2008	40542580809091009312I	6	SPOT4	54	258
28/09/2008	50582580809281011312J	16	SPOT5	58	258
28/09/2008	50582590809281011392J	1	SPOT5	58	259
29/09/2008	40612590809291024412I	0	SPOT4	61	259
05/10/2008	40562570810051008562I	0	SPOT4	56	257
05/10/2008	40562590810051009132I	7	SPOT4	56	259

Tabella 2 – Immagini acquisite per la classificazione delle coperture del suolo della Regione Lombardia.

### Caratteristiche della mappa di copertura del suolo

La mappa raster, in proiezione Gauss-Boaga Fuso Ovest e in scala 1:50.000, ha una risoluzione spaziale di 20 metri. Nella successiva analisi di land cover change, essa verrà confrontata con due mappe del 1999 e del 2004 prodotte da Arpa Lombardia attraverso la classificazione di immagini Landsat TM; queste mappe hanno una risoluzione spaziale di 30 metri e una superficie minima rilevata (minimum mapping unit, mmu) pari a 2700 mq (Bellingeri et al., 2007). Per la mappa del 2008 si è quindi deciso di considerare una mmu di 2800 mq, pari a 7 pixel SPOT.

Dal punto di vista tematico si è adottata una legenda confrontabile con i dati Arpa: essa comprende un totale di 15 classi di copertura del suolo che, aggregate semanticamente, diventano 10 (Tab. 3).

CODICE 10 CLASSI	CODICE 15 CLASSI	NOME	COPERTURE
1	1	Corpi idrici	Laghi, fiumi, canali
2	2	Superfici antropizzate	Aree residenziali, industriali, commerciali, reti di trasporto, cave, cantieri
3	3	Rocce	Affioramenti rocciosi, ghiaioni, greti fluviali
4	4	Boschi di conifere	Boschi maturi di conifere
5	5	Boschi di latifoglie	Boschi maturi di latifoglie, pioppeti maturi
6	6	Vegetazione mista	Vegetazione di transizione bosco-prateria, boscaglia, cespuglietti, pioppeti giovani, rimboschimenti recenti
7	7	Seminativi generici	Seminativi vegetati in tutte le date, prati permanenti
	8	Seminativi invernali	Seminativi vegetati nelle immagini invernali, non vegetati nelle altre
	9	Seminativi estivi	Seminativi vegetati nelle immagini estive, non vegetati nelle altre
	10	Seminativi doppio ciclo	Seminativi vegetati in primavera, non vegetati ad inizio estate e di nuovo vegetati a fine estate
	11	Seminativi mai vegetati	Seminativi non vegetati in tutte le date
	12	Risaie	Seminativi con presenza d'acqua nelle immagini primaverili
8	13	Colture permanenti	Vigneti, oliveti, frutteti
9	14	Praterie alpine	Prati d'alta quota, pascoli
10	15	Neve e ghiacciai	Nevai e ghiacciai

*Tabella 3 – Legenda della mappa tematica.*

### **Metodologia di produzione della mappa**

Nella fase di pre-processing le immagini SPOT sono state ortorettificate (RMS medio pari a 0.58) e corrette atmosfericamente (metodo Dark Object Subtraction), ottenendo i valori di riflettività. Ove necessario sono state mascherate le nuvole e la proiezione della loro ombra al suolo.

Al fine di minimizzare la varianza spettrale, si è deciso di applicare la classificazione suddividendo il territorio lombardo in ambiti geografici caratterizzati da coperture del suolo omogenee. L'individuazione degli ambiti è stata condotta utilizzando la cartografia DUSAF v.2.0 secondo i seguenti criteri:

- ambito "corridoi fluviali": classi DUSAF codice 3113, 3222, 331 (con buffer di 20 metri), 411, 511 (con buffer di 200 metri);
- ambito "montagna": classi DUSAF codice 3, 4 e 5 con quota maggiore di 300 metri;
- ambito "pianura": classi DUSAF codice 1,2 e 3,4,5 con quota minore o uguale a 300 metri.

Il metodo di classificazione impiegato è supervised, con algoritmo Maximum Likelihood applicato ad un dataset composto dalle 4 bande spettrali e, solo per l'ambito "montagna", anche dal DEM. La fase di addestramento del classificatore si è svolta selezionando i punti di training direttamente a video sull'immagine satellitare, con l'ausilio della cartografia DUSAF v.2.0 e delle ortofoto del volo IT2007.

La classificazione dell'ambito "corridoi fluviali" è avvenuta sulle immagini estive considerando 3 classi di copertura del suolo: "Corpi idrici", "Rocce", "Vegetazione generica"; quest'ultima comprende tutti i tipi di copertura vegetale riportati in legenda senza distinzione, poiché all'interno dell'ambito è difficile collezionare dei dati di training affidabili. Quindi le aree classificate come "Vegetazione generica" sono state poi trasferite e classificate negli altri due ambiti.

Nella classificazione dell'ambito "montagna" si sono considerate le classi "Corpi idrici", "Rocce", "Boschi di Conifere", "Boschi di Latifoglie", "Vegetazione Mista", "Praterie alpine" e "Neve e ghiacciai"; inoltre si è reso necessario aggiungere la classe "Ombre" e, in alcuni casi, distinguere due categorie "Boschi di Latifoglie" in funzione dell'esposizione nord e sud. Dopo un'analisi di cross-validazione sulle prime classificazioni, si è deciso di aggiungere al dataset spettrale anche il dato di quota fornito dal DEM, poiché aiuta a riconoscere il gradiente altitudinale della vegetazione. In fase di postclassificazione si è svolta una ri-elaborazione delle classi "Ombre" e "Neve e ghiacciai". Nel primo caso ad ogni pixel è stato assegnato un valore della classe di copertura interpretabile dalla DUSAF 2.0; nel secondo caso invece si è applicata la stessa correzione quando la copertura nevosa rilevata è dovuta ad un fenomeno stagionale occasionale (esempio immagine del 5 ottobre).

Per l'ambito "pianura" si è impiegata una classificazione multitemporale per mappare le classi "Corpi idrici", "Superfici antropizzate", "Boschi di conifere", "Boschi di latifoglie", "Vegetazione mista", "Colture permanenti" e tutte le categorie dei "Seminativi". La disponibilità di immagini nelle diverse fasi del ciclo vegetativo consente infatti di distinguere le coperture agricole in funzione della loro fenologia. L'ambito è stato quindi suddiviso in zone omogenee per data e numero di immagini satellitari disponibili, considerando un numero massimo utile di coperture pari a 4. Infatti, l'aumento delle immagini utilizzate, e quindi del numero di bande spettrali, richiederebbe la selezione di un eccessivo numero di campioni di training.

Nella fase di postclassificazione, i risultati dei tre ambiti sono stati mosaicati in un'unica mappa raster a cui è stato applicato un filtro dimensionale per ottenere una mmu di 7 pixel (2800 mq). Successivamente è stato svolto un controllo correttivo per confronto con le ortofoto 2007.

### **Validazione**

La verifica dell'accuratezza tematica è avvenuta sulla mappa a 10 classi mediante la costruzione della matrice di errore (Tab. 4), in cui il riferimento è costituito da un campione di 110 punti per classe selezionati in modo random. I punti sono stati interpretati su 3 immagini Ikonos e 6 immagini Quickbird multispettrali, aventi una collocazione geografica tale da non consentire la validazione delle classi "Colture permanenti" e "Neve e ghiacciai". Per ogni punto sono state valutate le prime due coperture all'interno di un intorno di raggio 30 m, ottenendo label primario e secondario (Foody, 2002); quindi si considera accordo quando la classe del punto rappresentata nella mappa corrisponde al primo o al secondo label. La fotointerpretazione è stata effettuata da tre diversi operatori, dei quali solo uno coinvolto nella fase di classificazione; in base alla regola di maggioranza si è ricavato un valore univoco per label primario e secondario, mentre i punti di totale disaccordo sono stati ri-valutati. I casi di maggiori discordanza nei tre giudizi si sono avuti nella distinzione fra le classi "Boschi di latifoglie"- "Vegetazione mista", "Seminativi"- "Praterie alpine" (per il caso dei prati permanenti) e "Boschi di latifoglie"- "Boschi di conifere".

L'accuratezza globale stimata è pari al 79.6%, inferiore al valore minimo accettabile (85%) per la cartografia tematica generata da immagini satellitari. Le classi meno accurate sono quelle relative alle coperture vegetali naturali (Fig. 1); molti boschi di latifoglie vengono infatti erroneamente classificati come "Boschi di conifere" e "Vegetazione mista", che è la copertura con la minore accuratezza. La confusione latifoglie-conifere si ha soprattutto per le faggete, che spesso ricoprono versanti ombreggiati e quindi nell'immagine satellitare hanno una risposta spettrale simile a quella delle conifere; la sovrastima della classe "Vegetazione mista" può invece essere dovuta ad un errore nella fase di training, ma anche al limitato numero di bande spettrali disponibili.

		RIFERIMENTO									AU	
		1	2	3	4	5	6	7	9			
MAPPA	Corpi idrici	1	104	1	0	0	3	0	2	0	110	95%
	Sup. antropizzate	2	0	107	0	0	0	0	3	0	110	97%
	Rocce	3	0	3	89	0	3	9	2	3	109	* 82%
	Boschi di conifere	4	0	7	2	44	40	10	3	2	108	* 41%
	Boschi di latifoglie	5	0	0	0	0	103	4	3	0	110	94%
	Vegetazione mista	6	0	11	0	1	29	55	12	2	110	50%
	Seminativi	7	0	2	0	0	0	1	107	0	110	97%
	Praterie alpine	9	0	3	5	0	1	7	5	89	110	81%
				104	134	96	45	179	86	137	96	877

AP	100%	80%	93%	98%	58%	64%	78%	93%
----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

\*n<110 per punti non interpretabili

Tabella 4 – Matrice di errore (AP=accuratezza produttore, AU=accuratezza utente).

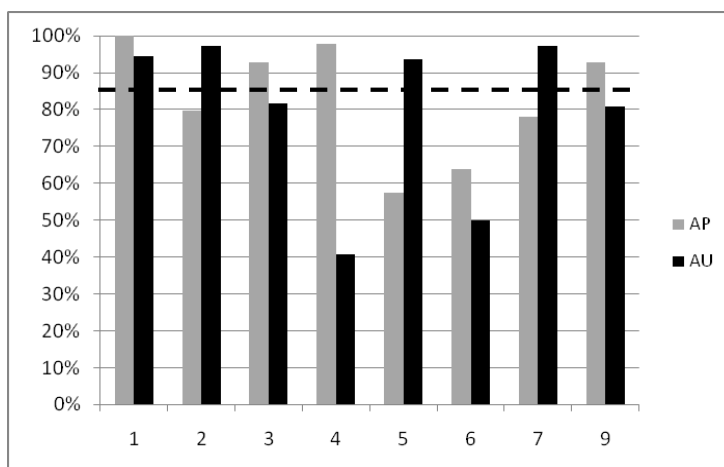


Figura 1 – Istogramma dei valori di accuratezza per le singole classi (in tratteggio il valore accettabile).

### Conclusioni e sviluppi

La mappa delle coperture del suolo al 2008 delle Regione Lombardia è stata ottenuta da una classificazione supervised di immagini multispettrali SPOT; essa comprende 15 classi di copertura, riducibili a 10 macroclassi aggregando le tipologie di colture agrarie.

La mappa ha un'accuratezza globale del 79%, verificata in un'area test mediante il confronto con immagini satellitari ad altissima risoluzione. Le classi meno accurate sono quelle che descrivono le coperture vegetali naturali.

Nella fase successiva la mappa delle coperture verrà trasformata in mappa d'uso del suolo in base alle informazioni della cartografia DUSAF v.2.1; questa operazione servirà per omogeneizzare la legenda rispetto alle mappe degli anni 1999 e 2004 realizzate da Arpa Lombardia, che costituiscono il riferimento per l'analisi multitemporale dei cambiamenti di uso e copertura del suolo.

### **Ringraziamenti**

Si ringraziano l'Ing. Paolo Porro e l'Ing. Luca Tomasini per la fotointerpretazione dei dati di validazione.

### **Bibliografia**

Bellingeri D., Bocci M., Zini E. (2007), "L'aggiornamento al 2004 della mappa di copertura del suolo della Regione Lombardia mediante classificazione di immagini satellitari", *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 38: 73-84

Foody, G. M. (2002), "Status of land cover classification accuracy assessment", *Remote sensing of Environment*, 80: 185-201

Löhnertz, M., Schlerf M., Seeling S. (2006), "Land cover and land use: description of vegetation cover during the growth period and crop classification with multitemporal high resolution SPOT images", *Proceedings of the 2<sup>th</sup> Workshop on Land Use and Land Cover*, 28-30 September 2006, Bonn

Zaffaroni P., Maggi M., Pileri P. (2009), "Effetti ambientali dei cambiamenti di uso e copertura del suolo in Lombardia e nelle Province di Novara e Verbania", *13<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA*, 1-4 Dicembre 2009, Bari