

Utilizzo di tecnologie e dati EO ottici a supporto della conoscenza e del monitoraggio dei fenomeni di frana

M. Antoninetti (*), P.N. Blonda (**), L. Candela(***), R. Carlà(****), F. Guzzetti(****), A. Mondini(*****), G. Ober(*****), G. Pasquariello(**), M. Pepe(*), L. Santurri(****), P. Villa(*)

(*) CNR IREA, Bassini 15, 20133 Milano Italy

(**) CNR ISSIA via Amendola 122/D, I-70126, Bari

(***) Agenzia Spaziale Italiana, Centro di Geodesia Spaziale 'Giuseppe Colombo', Località Terlecchia, 75100 Matera (MT), Italy

(****) CNR IFAC Via Madonna del Piano, 10 50019 Sesto Fiorentino (FI) Italy

(*****) CNR IRPI Via Madonna Alta 126 06128 Perugia (Italy)

(*****) Carlo Gavazzi Space SpA, Via Gallarate, 150 20151 Milano, Italy tel. +39 02 380481, E-mail gober@cgspace.it

Riassunto

Nel contesto del progetto MORFEO, finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), è in corso una sperimentazione e valutazione dell'utilizzo di tecnologie e dati EO ottici a supporto della conoscenza e del monitoraggio del rischio da frana. L'elaborazione di dati EO ottici ripresi a diverse scale spaziali, in differenti porzioni dello spettro elettromagnetico ed in differenti momenti viene applicata principalmente per:

- Verificare il contributo di immagini EO ottiche ad alta ed altissima risoluzione – anche stereoscopiche – per la mappatura, la classificazione ed il monitoraggio di singole frane e di territori in frana.
- Verificare il contributo di immagini multispettrali nella produzione di carte tematiche utili alla modellistica della suscettibilità e della pericolosità da frana, incluso l'aggiornamento di cartografie tematiche utili ad una migliore definizione delle condizioni di pericolosità e di rischio da frana (ad esempio, carte di uso del suolo e dei cambiamenti di uso del suolo, carte dell'umidità del suolo, ecc.)

In particolare i prodotti derivati dall'osservazione della terra vengono realizzati per potere essere utilizzati nella modellistica di suscettibilità e di pericolosità da frana, nell'individuazione e nella mappatura delle frane, nel monitoraggio, previsione e preannuncio di frane attraverso l'utilizzo di modelli. La sperimentazione relativa all'utilizzo di informazioni tematiche derivate da dati EO in MORFEO, in previsione, porterà alla loro integrazione nella metodologie tradizionali di monitoraggio del rischio da frana.

Abstract

In the framework of the project MORFEO, financed by the Italian Space Agency (ASI) a trial and evaluation phase is under way for the application of EO optical data and technologies to support landslide hazard knowledge and monitoring. EO optical data processing on different space scales, in different portions of the electromagnetic spectrum and at different times is mainly applied for:

- *Checking the contribution of EO high and very high-resolution optical images – stereoscopic as well – for mapping, classification and monitoring of single landslides and regions at risk.*
- *Checking the contribution of multispectral images in dressing up thematic maps useful for susceptibility and landslide hazard models, including thematic maps update for a better*

definition of landslide hazard and risk conditions (e.g., soil use and soil use change maps, soil humidity maps, etc.)

In particular the products derived from Earth Observation are performed to be applied to landslide susceptibility and danger models, to the identification of landslide maps, monitoring and forecast through models. The experiment concerning the use of thematic information from EO data in MORFEO is expected to lead to the integration in traditional methods for landslide risk monitoring.

Introduzione

Da oltre un trentennio il telerilevamento da satellite e da aereo trova applicazione nello studio dell'ambiente. Le immagini acquisite da sensori satellitari sono infatti le sole a fornire, per aree geograficamente estese e con una elevata ricorrenza temporale, grandi quantità di dati sullo stato fisico, chimico e biologico della superficie della terra. Tuttavia la diffusione delle tecniche di telerilevamento ha incontrato notevoli ostacoli, riferibili principalmente al fatto che i sensori attualmente operanti da satellite associano ad ampi campi di vista una risoluzione sia spaziale che spettrale insufficiente. In breve, i motivi che fino ad ora hanno limitato la diffusione del telerilevamento da satellite negli studi sull'ambiente sono da ricondursi alle difficoltà ad estrarre dal dato telerilevato informazioni significative per l'identificazione e monitoraggio di quei fenomeni ambientali che si manifestano su limitate porzioni della superficie della terra o che a grande scala hanno una elevata variabilità spaziale. Ciò è particolarmente vero per il settore della identificazione e del monitoraggio di alcuni rischi ambientali, quali quelli connessi ai movimenti franosi. Questi, in generale, interessano aree di modeste dimensioni (da uno a pochi ettari) e sono caratterizzati da feature morfologiche che, tradizionalmente, vengono studiate da operatori esperti (foto-interpreti) tramite l'impiego della fotografia aerea e dell'osservazione diretta su campo. (Kusaka et al. 1992). Tuttavia, sia la prima che la seconda operazione richiedono tempi lunghi e sono fortemente dipendenti dall'esperienza del rilevatore. A ciò si aggiungono la difficoltà di ottenere un quadro di insieme di porzioni estese di territorio, e l'onere economico e logistico derivante dalla ripetizione periodica di rilevamenti aerofotogrammetrici delle zone di interesse.

La valutazione delle effettive potenzialità delle immagini telerilevate da satellite nell'ambito dello studio delle aree a rischio di eventi franosi - nella molteplicità dei suoi obiettivi di identificazione, controllo o verifica e monitoraggio - non sembra, a tutt'oggi, essere stata affrontata in maniera sistematica, almeno per quanto riguarda la molteplicità informativa (spaziale, temporale e spettrale) garantita dalle attuali tecnologie di telerilevamento (M. Shikada et al., 1995) ed alla luce dello sviluppo dei metodi di integrazione di informazione derivante da sensori differenti (data fusion). La disponibilità di immagini multispettrali ad alta ed altissima risoluzione spaziale acquisite anche in modalità stereoscopica quali quelle di IKONOS apre infatti nuove prospettive, per lo più da approfondire, sull'utilizzo di tale sensore nel contesto dello studio della morfologia del terreno mediante la "costruzione" di modelli digitali (DTM). Tale opportunità si rivela particolarmente utile in territori quali quello italiano, che, a causa della sua storia geologica-geomorfologica e alle caratteristiche climatiche, è soggetto a fenomeni franosi che costituiscono l'evento catastrofico spazialmente e temporalmente più frequente per tutta l'area collinare-montuosa del paese.

I dati EO per la caratterizzazione delle aree instabili

Sulla base delle considerazioni precedentemente esposte, emerge l'interesse scientifico e l'utilità applicativa della ricerca di metodi innovativi per la caratterizzazione, il monitoraggio e la delimitazione delle aree instabili interessate da fenomeni di frana che integrino le tecniche tradizionali (osservazioni di campagna e tramite foto aeree) con i moderni strumenti per la gestione ed elaborazione dei dati geografici (GIS) e con le informazioni ottenibili con l'impiego di sensori satellitari e da aereo di nuova concezione (Liu et al. 2004; Fourniadis et al. 2006), caratterizzati da proprietà radiometriche, risoluzioni geometriche e ricorrenze temporali differenti, nonché la necessità di svolgere una ricerca che esplori sistematicamente le possibilità di un effettivo impiego

delle immagini satellitari nelle operazioni di controllo e gestione del territorio per quanto riguarda i rischi di frana. Nell'ottica di soddisfare questa esigenza, il progetto MORFEO si propone di realizzare e sperimentare in aree significative tecniche innovative volte ad evidenziare il rapporto tra fenomeni di frana e contesto ambientale, e quindi ad individuare i parametri fisici che meglio definiscono tale rapporto, basandosi sull'impiego integrato di immagini multi-spetttrali e multi-temporali tradizionali e di nuova generazione, di dati ricavati da nuovi sensori aerei, di modelli digitali del terreno ad alta risoluzione, di tecnologie GIS e di modelli statistici e fisici. L'insieme di tali tecniche e metodologie permetterà da un lato di spiegare la natura e la variabilità, nello spazio e nel tempo, dei fenomeni di frana, dall'altro di contribuire a prevederne la loro ricorrenza.

Uno degli obiettivi principali del progetto MORFEO consiste nel valutare le potenzialità ed i limiti delle immagini prodotte da sensori spaziali di nuova generazione, sia multispettrali che iperspettrali, sia ad alta che ad altissima risoluzione spaziale, nell'individuazione di aree ad elevata propensione alle frane; a questo si aggiunge lo sviluppo di metodi innovativi basati sull'informazione multispettrale e multitemporale dei dati satellitari, per la caratterizzazione fisica delle aree interessate da movimenti franosi. Una delle varie attività di studio comprese nel progetto ha come obiettivo la valutazione delle potenzialità dell'informazione satellitare ad altissima risoluzione (VHR) nel contesto della individuazione dei fenomeni franosi con tecniche tradizionali di fotointerpretazione. Questa attività è stata basata sul confronto di una copertura pancromatica (PAN) e multispettrale (XS) del satellite IKONOS relativa alla zona di studio situata nell'area di Collazione in Umbria, con una corrispondente copertura aerea costituita dalla mappatura dei fogli ortonormalizzati 1:10000 del volo Terraitaly del 2005, prodotta dalla Compagnia Generale Riprese Aeree (CGRA) di Parma.

Il dato IKONOS è stato inizialmente analizzato al fine di verificarne le caratteristiche geometrico-spaziali e l'accuratezza radiometrica. Successivamente, l'immagine pancromatica è stata fusa con quella multispettrale per ottenere un dato multispettrale con il dettaglio spaziale di 1 metro del pancromatico. La fusione è stata effettuata adottando una tecnica di fusione del tipo pan-sharpening messa a punto da IFAC-CNR, e denominata Gram-Schmidt adattivo (Ranchin et al., 2003; Aiazzi et al. 2006). Tra tutti i metodi di fusione proposti in letteratura, il metodo Gram-Schmidt adattivo è infatti risultato il più efficiente nel fornire un risultato ad alta risoluzione spaziale e minima distorsione radiometrica, tale cioè da fornire al fotointerprete una visione della scena non affetta da distorsioni di colore (fig. 1). Infine, l'immagine fusa è stata ortonormalizzata e georiferita mediante un modello digitale del terreno con un passo di campionamento di 20 m. Per questa operazione sono stati impiegati più software commerciali, dei quali sono state valutate le caratteristiche di efficienza ed affidabilità.

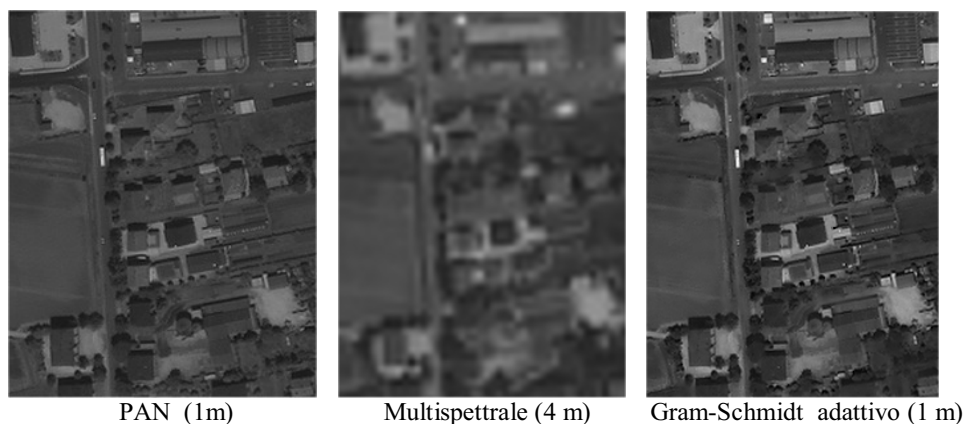


Figura 1 – Risultato della fusione di immagini IKONOS PAN e XS con algoritmo Gram-Schmidt adattivo (GSA) relativo ad un particolare dell'area di Collazione.

Il confronto tra le caratteristiche informative del prodotto IKONOS e dell'immagine Terraitaly, è stato effettuato sulle due immagini elaborate in modo tale da "simulare" una coppia di acquisizioni il più possibili congruenti sia spazialmente che radiometricamente. La risoluzione dell'immagine Terraitaly è stata quindi degradata dal valore originale di 0,5 m alla stessa del dato IKONOS fuso (1 m), con l'applicazione di un filtro ottimo a mezza banda a 33 coefficienti ed una successiva decimazione (Aiazzi et al. 2002), così da non introdurre distorsione nel segnale.

Il confronto è stato effettuato considerando solo le tre bande del visibile di IKONOS, in quanto Terraitaly non possiede nel vicino infrarosso una banda corrispondente. Le due tipologie di dato sono state fotointerpretate da operatori esperti, con lo scopo di individuare su ambedue le evidenze ambientali relative alle aree interessate da frana. Infine, l'analisi della statistica spettrale delle due immagini ha contribuito a valutare le differenti caratteristiche radiometriche del segnale. I risultati hanno messo in evidenza l'elevata qualità del sensore IKONOS, che risulta in definitiva confrontabile con l'informazione del dato Terraitaly relativamente all'individuazione delle feature e degli aspetti ambientali indicatori della presenza di fenomeni di frana (fig. 2).



Figura 2 Confronto tra Terraitaly 2005 (A) e l'immagine IKONOS elaborata (B) di un'area in frana nell'area di studio di Collazzone. Le evidenze della frana sono indicate dalla linea blu nell'immagine Terraitaly. La differenza di copertura vegetale delle due immagini è dovuta alla acquisizione non perfettamente contemporanea nell'arco della stessa stagione estiva.

Creazione delle carte delle Aree Urbane e delle Rocce

Utilizzando alte e altissime definizioni spaziali dei sensori satellitari, all'aumentare del dettaglio geometrico aumenta anche la variabilità spettrale interclasse. Questo complica notevolmente il riconoscimento delle coperture al suolo tramite tecniche tradizionali basate sulla classificazione per pixel (pixel-based). Queste tecniche infatti si basano principalmente sulla separabilità spettrale, la cui efficienza diminuisce al diminuire dell'omogeneità spettrale delle superfici indagate.

Pertanto l'approccio utilizzato è di tipo object-based, ovvero quella tipologia di classificazione in cui l'immagine viene prima suddivisa in regioni elementari omogenee (oggetti), che successivamente vengono classificate sulla base delle loro caratteristiche spaziali, spettrali o tessiturali. Per la mappa delle aree urbane si è scelto un approccio di classificazione gerarchico teso a sfruttare le potenzialità riferite sia alle caratteristiche spettrali che a quelle geometriche ad alta definizione fornite dal sensore satellitare utilizzato.

La procedura è stata specificamente sviluppata per la distinzione di 4 sotto- classi di uso del suolo in ambito di superfici artificiali (Costruito residenziale, Costruito industriale, Strade pavimentate, Strade bianche), e modulata sulle specificità che queste classi assumono nell'area di studio.

L'approccio proposto si articola in quattro momenti principali:

mascheratura degli elementi artificiali (per limitare la quantità di informazione da processare alle sole superfici artificiali, che sono quelle al cui interno avviene la distinzione per classi); segmentazione ed estrazione degli oggetti da classificare (partizione dell'immagine in elementi tramite raggruppamento di pixel vicini con valori simili in caratteristiche, quali la luminosità, la tessitura e la radianza);

classificazione dei singoli oggetti di tipo supervisionato (supervised);

creazione di un prodotto finale per selezione/unione in ambiente GIS.

Per la produzione della carta delle rocce e delle ombre si è operata una procedura gerarchica e distinta a seconda delle classi, ed eterogenea dal punto di vista metodologico. La carta infatti presenta una notevole eterogeneità delle classi in legenda, elemento anche critico in quanto le definizioni non sono univoche (vedi il paragrafo relativo alle criticità).

L'approccio proposto si articola in diverse mappature distinte:

- creazione della mappa delle ombre con una procedura a soglie multiple a partire da un'analisi statistica preliminare delle radianze;
- creazione della mappa degli affioramenti (con distinzione litologia e depositi in funzione della mappatura geo-litologica esistente) con una procedura a soglie multiple a partire da un'analisi statistica preliminare delle radianze a cui, in questo caso, è stata aggiunta l'analisi dei valori di NDVI (Normalized Difference Vegetation Index);
- creazione della mappa delle frane (nicchia di distacco e accumulo) ottenuta per foto interpretazione operata da un esperto, effettuata tramite individuazione di poligoni in forma vettoriale poi integrati in formato raster.

Validazione delle carte

Data le dimensioni immagine la mappatura delle aree urbane è stata configurata e validata su due sub-aree rappresentative all'interno della area di interesse di Collazzone.

L'Area A, con dimensioni di 6668 x 5335 pixel, corrispondenti ad un rettangolo di 4 x 3.2 km, ha predominanza di edificato industriale e numerose strade anche di notevoli dimensioni (è attraversata dalla E45). L'Area B, con dimensioni di 5752 x 5169 pixel, corrispondenti ad un rettangolo di circa 3.4 x 3.1 km, ha predominanza di edificato residenziale e una rete stradale di dimensioni minori in cui le strade bianche sono più presenti.

La validazione della mappa tematica per entrambe le subaree è ottenuta separatamente tramite applicazione delle misure di accuratezza tematica con la creazione di una Matrice di Errore e il calcolo delle misure di accuratezza relative.

In particolare sono derivate le seguenti metriche: Accuratezza Globale della mappa (cui si affianca il Coefficiente K); Accuratezza Utente e Accuratezza Produttore per ciascuna classe, Errore di Commissione ed Errore di Omissione per ciascuna classe.

L'estrazione del campione di test è ottenuta attraverso campionamento sistematico non allineato per strati, nello specifico con tecnica di random sampling stratificato, applicato però ad un campione sistematicamente raccolto su tutta l'immagine.

Classi	Residenziale	Produttivo	Vegetazione	Spiazzi	Strade	Ombre	Terreno spoglio	Totale
NC	3.38	5.15	0.26	0	0.8	0.88	2.22	3.38
Residenziale	87.95	4.94	6	0	0.92	1.31	21.65	87.95
Produttivo	0.07	72.35	0	11.64	4.29	0	18.67	0.07
Vegetazione	0	0.78	93.62	0	0	0.77	15.81	0
Spiazzi e larghi	4.34	11.05	0	73.29	12.08	0.23	12.54	4.34
Strade	0.63	5.74	0	15.07	81.91	1.68	14.56	0.63
Ombre	3.64	0	0.13	0	0	95.13	14.55	3.64
Totale	100	100	100	100	100	100	100	100
Accuratezza Globale				83.98%				
Coefficiente K				0.8069				

Tabella 1 Esempio di validazione per l'area B

La validazione della carta delle aree rocciose e delle ombre è avvenuta per questa prima versione tramite valutazione di accuratezza delle singole componenti. In particolare sono state considerate solo e singolarmente le classificazione automatiche, che sono state validate sempre tramite la creazione di una Matrice di Errore e calcolo delle misure relative. Le mappe create automaticamente e che vanno a concorrere alla creazione della mappa, e che sono state validate sono la mappa degli affioramenti e la mappa delle ombre. La mappa delle frane invece, essendo stata creata per foto interpretazione, non è sottoposta a valutazione di accuratezza tematica. La seguente tabella si riferisce alla valutazione della mappa degli affioramenti rispetto ad un campione stratificato e casuale collezionato sistematicamente, rappresentativo degli affioramenti pari a circa 8000 pixel, per valutare oltre all'errore di omissione anche quello di commissione, sono stati presi con la stessa metodica 156000 pixel in suoli nudi agricoli unica copertura con cui dopo la classificazione può esserci confusione.

classificazione può essere confusione.

Matrice di errore (percentuale)				
Classe	Affioramenti	Suoli agricoli	Totale	
Classificato	86.54	1.92	6.02	
Non classificato	13.46	98.08	93.98	
Totale	100	100	100	
Accuratezza Globale	97.52%			
Coefficiente K	0.7587			
Metriche percentuali				
	Errore di Commissione	Errore di Omissione	Accuratezza Produttore	Accuratezza Utente
Affioramenti	30.38	13.46	86.54	69.62
Suoli agricoli	0.69	1.92	98.08	99.31

Tabella 2 Tabella di valutazione della mappa Rocce

Riferimenti bibliografici

- B. Aiazzi, L. Alparone, S. Baronti, A. Garzelli: "Context-driven fusion of high spatial and spectral resolution images based on oversampled multiresolution analysis", IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 40, No. 10, pp. 2300-2312, Oct. 2002.
- B. Aiazzi, L. Alparone, S. Baronti, A. Garzelli, M. Selva: "MTF-tailored multiscale fusion of high-resolution MS and Pan imagery", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 72, No. 5, pp. 591-596, May 2006.
- I.G. Fourniadis, J.G. Liu e P.J. Mason, "Landslide hazard assessment in the Three Gorges area, China, using ASTER imagery: Wushan-Badong", Geomorphology 84 (2007) 126-144
- T. Kusaka, M. Shikada e Y. Kawata: "Extraction of landslide areas using spatial features of topographic basins", Proc. Of IEEE Conf. Geosci. Remote Sensing IGARSS'92, 938-940.
- Liu, J.G., Mason, P.J., Clerici, N., Chen, S., Davis, A., Miao, F., Deng, H., Liang, L., 2004. Landslide hazard assessment in the Three Gorges area of the Yangtze river using ASTER imagery: Zigui-Badong. Geomorphology 61, 171-187
- T. Ranchin, B. Aiazzi, L. Alparone, S. Baronti, L. Wald: "Image fusion - the ARSIS concept and some successful implementation schemes", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Special Issue on 1st Joint IEEE/ISPRS Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, P. Gamba, O. Hellwich, P. Lombardo (Eds.), Vol. 58, No. 1-2, pp. 4-18, Jun. 2003.
- M. Shikada, N. Muramatsu, T. Kusaka e S. Goto: "Extraction of landslide areas using satellite remote sensing and GIS technology", Proc. of SPIE vol.2/95, 377-379.