

CARATTERIZZAZIONE DELLE IMMAGINI SATELLITARI PER LA MITIGAZIONE, LA RISPOSTA ED IL MONITORAGGIO DI EVENTI CALAMITOSI NATURALI ED ANTROPICI

Gabriele BITELLI, Luca GUSELLA, Alessandro MOGNOL

DISTART, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna - ITALIA
gabriele.bitelli, luca.gusella, alessandro.mognol@mail.ing.unibo.it

Riassunto

Il telerilevamento satellitare fornisce attualmente strumenti essenziali, sia in termini di dati che di metodologie e prodotti finali *ready-to-use*, per la gestione ed il monitoraggio del territorio. In particolare, il ricorso al telerilevamento si rivela di grande interesse nel caso di eventi calamitosi, di origine naturale o antropica.

Per quanto concerne i disastri naturali, possono essere descritte tre fasi: la mitigazione, che comprende tutte le azioni intraprese per la conoscenza del rischio in un dato territorio, la risposta all'evento, che avviene nei giorni successivi all'avvenire dello stesso, ed il monitoraggio nel tempo, inteso come rilievo multitemporale dell'evoluzione del territorio nelle sue diverse componenti. L'informazione telerilevata, per le sue caratteristiche, è appropriata per rispondere alle necessità conoscitive che emergono in queste tre fasi; l'interesse in questa direzione è d'altra parte testimoniato dalla nascita e dall'evoluzione di numerosi organismi internazionali a supporto della sua diffusione in questo contesto. Su questa tematica, alla luce di uno spettro di esperienze che in questi anni si è significativamente ampliato, è interessante effettuare una valutazione in merito alle caratteristiche e all'adeguatezza dei dati oggi disponibili, in termini di risoluzione, tempi di acquisizione, informazione estraibile, qualità ultima dell'informazione.

Le caratteristiche dei sensori e delle piattaforme satellitari che sono di primaria importanza per definire le applicazioni destinate al management di un evento calamitoso sono certamente la risoluzione temporale e la risoluzione spaziale, alla quale va rapportata anche l'accuratezza geometrica dell'immagine prodotta. Nelle fasi di mitigazione, le caratteristiche metriche di un'immagine e la sua rappresentazione aggiornata del territorio, caratterizzandone per esempio l'urbanizzazione e le principali vie di comunicazione, sono fondamentali. Nelle fasi di risposta, invece, la risoluzione temporale e il contenuto radiometrico sono elementi chiave nell'utilizzo di algoritmi di rapida individuazione o per una stima visuale sufficientemente accurata del danno. Nel monitoraggio a lungo termine può essere opportuna anche una risoluzione spaziale più ampia, e la ripresa ad intervalli di tempo regolari.

Nel lavoro vengono discusse, anche sulla base di esperienze condotte su casi di studio legati a recenti eventi calamitosi, le problematiche sopra esposte, con l'obiettivo di caratterizzare le immagini oggi presenti sul mercato in base alla loro attitudine per questo settore applicativo.

Abstract

Remote sensing technology supplies essential tools, in terms of data provided, methodologies and ready to use product, for environmental management and monitoring. On the concern of natural disasters, three phases can be described: mitigation, comprehending all action to know the risk in a particular area, the response, in the immediate aftermath of an event, and the monitoring, intended as evolutionary survey on a multi-temporal basis. Information coming from remote sensing is appropriate for these needs, as demonstrated by the number of international organizations devoted to the diffusion of this technology. About this topic, after a wide variety of experiences in the last

years, it is interesting to evaluate characteristics and effectiveness of data available nowadays, in terms of resolution, timing in acquisition, and quality of information extracted.

Sensor and satellite platform characteristics crucial for a disaster event management are, principally, temporal resolution, intended as the possibility to acquire a certain area in a definite moment, and spatial resolution, intended as both pixel size and geometric accuracy. In the mitigation phases, metric characteristics and updated representation of an area can be related to the urbanization and the location of principal infrastructures. In the response phase, temporal resolution and radiometric content can be a key element for depicting and estimate the damage by appropriate algorithms. In the long term monitoring phases, for the study of the evolution after an event, temporal resolution concern is less strict while a temporal acquisition on a regular basis can be important.

In this work, based on case studies concerning calamitous event of the recent years, the above topics are discussed, in order to characterize image and platform currently available in relation to their attitude for this applicative sector.

Caratteristiche delle immagini per il loro uso nella gestione del rischio

Sono molteplici gli aspetti che si possono considerare per valutare le potenzialità e le opportunità offerte dal telerilevamento satellitare nella gestione dei disastri, e diverse sono le caratteristiche che possono essere richieste alle immagini per meglio supportare questo tipo di applicazione. Nel seguito si esamineranno brevemente alcune di queste, dagli aspetti geometrici a quelli spettrali e temporali. A proposito di questi ultimi, va sottolineato che il *timing* di produzione delle informazioni nel caso di disastri naturali è di assoluta priorità e ad oggi è un elemento carente nello sviluppo di queste applicazioni: la disponibilità delle immagini, elaborate almeno con livelli di correzione di base, entro poche ore dall'acquisizione, è essenziale per fornire un intervento tempestivo ed efficace.

Accuratezza geometrica delle informazioni. E' possibile schematizzare l'informazione in base al termine generico di scala, concettualmente collegabile alla MMU (*Minimum Mapping Unit* – unità minima mappabile) utilizzata in cartografia tematica. Il paragone pare appropriato, in quanto i prodotti richiesti al termine di una procedura di esame di immagini satellitari saranno i tematismi rappresentanti il danneggiamento. L'oggetto di interesse, infatti, varia secondo la tipologia di evento studiato, anche se il comune denominatore è l'interesse verso l'urbanizzato, in altre parole verso i rischi per le comunità. Si potrà definire quindi una scala "media, quando dall'analisi è possibile stabilire da dislocazione, ma non gli edifici in dettaglio, di un'area urbana; ed una scala "grande", dove l'oggetto di interesse è il singolo edificio. Nel primo caso, saranno sufficienti immagini di risoluzione spaziale 5-30 metri, corrispondenti per esempio ai ben noti sistemi IRS (*Indian Remote Sensing satellite*) e Landsat, nel secondo caso sarà necessaria la risoluzione di ordine metrico fornita dai sensori VHR (*Very High Resolution*). In ognuno dei due casi, sarà necessario accompagnare l'analisi con una procedura di rilievo a terra, elemento critico in molte situazioni reali. Una risoluzione ancora più spinta può essere ottenuta tramite fotogrammetria aerea e, con approcci e problemi differenti, analisi radar interferometrica.

Accuratezza temporale delle informazioni. Il grado di aggiornamento dell'informazione di base è un elemento cruciale che si applica anche all'analisi delle immagini telerilevate. Supponiamo che si voglia analizzare il cambiamento tra due immagini dovuto ad una causa definita, intercorsa tra i due momenti di acquisizione. Una metodologia di comune impiego suggerisce di registrare le due immagini dal punto di vista geometrico, quindi procedere all'analisi delle differenze. L'analisi delle differenze, anche se condotta con accuratezza, non può stabilire esattamente la causa del cambiamento, in quanto diversi eventi possono essere succeduti, come la rotazione dei raccolti, l'abbattimento di alcuni edifici per farne posto a nuovi, il cambio di destinazione d'uso di un territorio, una bonifica e via dicendo. E' dunque di fondamentale importanza la presenza di una rappresentazione accurata del territorio precedente ad un evento, sia essa ottenuta tramite cartografia sia, nel caso più comune, mediante immagini satellitari, e da queste informazioni estratte è necessario fare una corretta analisi di significato.

Un'importante fonte di informazioni per l'analisi del rischio è sicuramente rappresentata dalla cartografia. In particolare, la cartografia numerica o meglio un *geo-database*, può rappresentare la situazione di un territorio non solo in un dato istante, ma anche nella sua evoluzione. La direttiva INSPIRE (INfrastructure for SPatial Information in euRopE, <http://inspire.jrc.it>), ha dato un notevole impulso alla generalizzazione delle procedure di analisi territoriali e di standardizzazione dei metadati, fondamentali per una corretta gestione del rischio. Nelle fasi di mitigazione, e in prospettiva nella fase di monitoraggio, la cartografia rappresenta la sorgente principale di informazioni, ed essa può essere mantenuta aggiornata anche con il contributo delle immagini satellitari; un esempio in tal senso è rappresentato dal progetto di aggiornamento della cartografia tecnica in atto nella regione Emilia Romagna mediante immagini ad alta risoluzione.

I requisiti di adeguatezza o di livello di aggiornamento della cartografia ai fini dell'analisi del rischio o per la gestione degli effetti di un evento disastroso molto spesso non risultano soddisfatti nei paesi a minore stadio di sviluppo e informatizzazione: in questi casi, le immagini satellitari sono la principale risorsa di informazioni, soprattutto se integrate con altre tecniche e metodologie di rilevamento. Il sistema VIEWS (*Visualizing Impacts of Earthquakes With Satellites*) sviluppato da MCEER è un esempio di applicativo concreto creato allo scopo del riconoscimento del danneggiamento dopo un sisma, integrando le immagini da satellite con il rilievo a terra tramite foto o videocamera. Questo sistema è stato implementato per la prima volta nel 2003, in occasione del terremoto di 6.6 Mw avvenuto nella città di Bam, in Iran; in questo particolare caso, la non disponibilità di cartografia ha reso indispensabile l'uso delle immagini satellitari per la ricognizione del danno.

Attitudine all'estrazione di informazioni. Un'altra caratteristica di interesse delle immagini telerilevate in questo campo è legato alla possibilità di estrarre da esse, aldilà di un'analisi visiva e qualitativa che è innegabilmente preziosa, specifici contenuti tematici utilizzando procedure semiautomatiche o automatiche (la rapidità di estrazione di informazioni è essenziale in un contesto di crisi) per individuare estensione ed anche tipologia del danneggiamento. Il tema è molto ampio ed è legato all'applicazione di tecniche diverse di analisi di immagine, classificazione e segmentazione; dalle numerose esperienze in corso si può osservare come certi tipi di immagini siano più idonei di altri ed occorre considerare molteplici fattori: l'importanza di multispettralità o iperspettralità, il problema di una georeferenziazione accurata delle immagini e dei dati al suolo, la geometria delle scene, ecc. Non necessariamente un'elevata accuratezza geometrica è utile a questi fini, ed anzi in molti casi complica le operazioni di *change detection*, e la scelta e parametrizzazione di opportuni algoritmi di estrazione di informazione è essenziale e spesso non generalizzabile su siti e casi diversi (si pensi per esempio al differente tessuto urbano e alle diverse tipologie costruttive di città nei paesi in via di sviluppo).

Distribuzione delle informazioni territoriali. Un importante aspetto per la effettiva fruibilità delle informazioni è la condivisione di procedure e formati per il loro scambio. L'Open Geospatial Consortium (<http://www.opengeospatial.org>) è un consorzio internazionale di industrie, aziende, enti e università sorto per sviluppare, attraverso il consenso condiviso, interfacce di accesso ai dati spaziali. Questo consorzio pubblica gli OpenGIS® Specifications, documenti tecnici che regolano le interfacce e le codifiche al fine di rendere interoperabili i prodotti geo-spaziali. Le specifiche di WMS (OpenGIS® Web Map Service), che permettono la creazione e il display di immagini e temi spaziali provenienti da sorgenti remote, rappresentano certamente un interessante sviluppo per applicativi dedicati al monitoraggio delle aree di crisi, utilizzando risorse e protocolli condivisi sia per l'implementazione delle mappe, sia per la diffusione del dato territoriale.

Le piattaforme satellitari

La prima piattaforma satellitare destinata all'osservazione della terra è stata senza dubbio ERTS-1 (successivamente denominata Landsat), lanciata nel 1972 dalla NASA. L'obiettivo di questo nuovo tipo di satellite era quello di monitorare il territorio e la sua evoluzione, e nel succedersi dei decenni questa missione è stata quella che ha garantito la maggiore copertura temporale, fino ai nostri

giorni. Da allora, molte piattaforme sono state lanciate, ed altre ancora sono in progetto, con lo scopo del monitoraggio del territorio. Lo sviluppo di nuovi dispositivi digitali per l'acquisizione e la possibilità di ruotare il sensore verso una zona di interesse, hanno portato ad un drastico aumento sia della risoluzione geometrica, sia della risoluzione temporale, permettendo, almeno in linea teorica, di riprendere qualsiasi parte della superficie terrestre in un tempo variabile tra 1 e 7 giorni, con risoluzione inferiori al metro. E' proprio verso questa tipologia di servizi che l'utente di immagini satellitari si rivolge, come complemento, o addirittura come sostituzione della fotogrammetria aerea. Il primo satellite commerciale è stato OrbView-1, lanciato nel 1996, a cui sono succeduti Ikonos (1999) e Quickbird (2001), che hanno aperto la strada alla generazione di sensori VHR (*Very High Resolution*) che, grazie a particolari accorgimenti tecnici (es. sistema TDI, *Time Delay & Integrate*), sono in grado di acquisire immagini di porzioni del territorio con risoluzione inferiore al metro. Dall'analisi delle principali piattaforme attualmente in uso, governative e commerciali, è evidente come l'attenzione si stia spostando verso satelliti con risoluzione sempre maggiore (fino ai 41 cm del GeoEye) e con risoluzione temporale di 3-7 giorni, sufficienti per la maggioranza delle applicazioni di aggiornamento cartografico.

Le piattaforme satellitari Pleiades e CosmoSkymed sono state appositamente disegnate per la produzione di informazioni nei casi di eventi naturali, e dunque si è posta particolare attenzione al tempo di rivisitazione e alla possibilità di ottenere immagini con qualsiasi condizione metrologica.

Scala Aggiornamento	Bassa >30m	Media 5- 15	Alta <5	Altissima <1
>15 gg	MODIS (g) Landsat 5 (g)	Landsat 7 (g) Aster (g)		
2 – 15 gg		IRS 1C; SPOT 4	EROS A SPOT 5 RADARSAT2(*)	EROS B (*); Cartosat 2; Orbview 3; Ikonos; Quickbird 2; Terrasat X (r); WorldView 1-2 (*); GeoEye (*)
< 2 gg				COSMO-Skymed (gr*); Pleiades (g*)

Tabella 1- Esempi di piattaforme satellitari utilizzate per la mitigazione del rischio. L'asterisco indica le piattaforme non ancora lanciate o non ancora operative, r indica la presenza di un sensore radar, mentre g indica i satelliti lanciati espressamente a scopi scientifici da agenzie governative (es. NASA, ASI, CNES)

Le organizzazioni internazionali

Sono attualmente attive diverse organizzazioni di carattere internazionale, promosse da enti di ricerca, da agenzie governative o da organismi sopranazionali, con lo scopo di diffondere e favorire l'uso delle immagini satellitari in questo settore; tra queste:

GMES (Global Monitoring for Environment and Security): rappresenta il sistema europeo per la gestione delle informazioni geografiche al fine di creare dei veri e propri servizi. Parte di GMES sono: *Risk-EOS*, rete di fornitori di servizi di geo-informazione di supporto al management di alluvioni, incendi, e altri rischi in ogni loro fase (<http://www.risk-eos.com>) e *Respond*, organizzazione nata allo scopo di aumentare le capacità della comunità europea ed internazionale nel campo delle informazioni geografiche, provvedendo un accesso appropriato a mappe e prodotti derivati dal telerilevamento (<http://www.respond-int.org/Respond/>);

UNOSAT è un programma delle Nazioni Unite per aumentare l'accesso all'informazione territoriale, soprattutto da parte dei paesi in via di sviluppo, per scopi umanitari, prevenzione disastri e ricostruzione post-crisi. Distribuisce *tools*, immagini e mappe e fornisce supporto tecnico e metodologico per la loro produzione (<http://unosat.web.cern.ch/unosat/>);

ZKI (Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation): è un servizio di DLR (*Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt*, centro aerospaziale tedesco). Attraverso di esso vengono acquisite,

processate e successivamente pubblicate informazioni su disastri ambientali per operazioni di soccorso umanitario (http://www.zki.caf.dlr.de/intro_en.html);

International Charter "Space and Major Disasters": Lo scopo di questa organizzazione è studiare un sistema unificato di acquisizione e fornitura delle immagini satellitari nel caso di disastri naturali o antropici. Fanno parte dell'organizzazione le agenzie spaziali europea (ESA), francese (CNES) e canadese (CSA) (<http://www.disasterscharter.org/>);

ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing), Working Group VIII/2-Hazard, Disasters and Public Health. La finalità di questo gruppo di lavoro all'interno di ISPRS è di diffondere e promuovere conoscenza e ricerche tra istituzioni ed enti relativamente alla gestione dei disastri con strumenti del telerilevamento e GIS (http://www2.polito.it/ricerca/TCVIII_WG2/);

ITHACA (Information Technology for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action) è un progetto nato tra Politecnico di Torino e SiTI (*Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione*), in cooperazione con il *World Food Programme* delle UN, con il fine di supportare attività operative e di ricerca, basate sulla geomatica, per l'analisi, la valutazione e la mitigazione del danno da disastri (<http://www.ithaca.polito.it/>);

RSI - Remote Sensing Institute nasce da MCEER (*Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering*) come piattaforma per lo sviluppo e l'implementazione operativa di tecniche di monitoraggio post-disastro, in particolare di carattere sismico, basate su sistemi GIS e *Remote Sensing* (http://mceer.buffalo.edu/research/Remote_Sensing/default.asp).

Un caso di studio

Viene di seguito presentato un caso di studio recentemente affrontato relativo all'uso di immagini Aster per la determinazione della variazione della linea di costa determinatasi a causa dello tsunami del 26 dicembre 2004. L'esempio si riferisce a Kao Lak Bay, in Thailandia, un tratto di costa su cui è risultato molto evidente il danneggiamento e l'arretramento dopo l'evento. La *coastline* estratta dalle immagini Aster è stata paragonata a quella estratta da immagini Ikonos, fornita da DLR (i dati utilizzati sono mostrati in Tabella 2). Come si può osservare dalla figura 1, i risultati ottenuti sono tra loro congruenti; nonostante la minore risoluzione spaziale, l'immagine Aster è in grado in questa situazione di evidenziare i cambiamenti sia sulla linea di costa, sia nella vegetazione all'interno.

Piattaforma	Data	Risoluzione	Fornitore	Dati	Processing	Figura 1
Ikonos	30/01/03	1m	Digitalglobe	RGB	DLR	(a)
Ikonos	29/12/04	1m	Digitalglobe	RGB	DLR	(b)
Aster	07/03/07	15m	NASA	CIR	DISTART	(c)
Aster	31/12/04	15m	NASA	CIR	DISTART	(d)

Tabella 2 – Dataset utilizzato per la realizzazione dell'esempio di figura 1

La possibilità dello studio delle immagini satellitari a più bassa risoluzione, ma a più elevata copertura spaziale, permette in questo caso di avere una visione più ampia del fenomeno (fino a 60x60 km² per immagine, contro i 16x16 di Ikonos) e, grazie al minore costo delle immagini, facilita un monitoraggio nel tempo più esteso.

L'utilizzo congiunto di dati provenienti da diversi sensori comporta indubbi vantaggi e prospettive di sviluppo di grande interesse, ma presenta anche delle problematiche. Nel semplice esempio illustrato, i *dataset* mostrano la possibilità dell'integrazione tra risoluzioni differenti, mantenendo l'accuratezza geometrica legata al dato; evidentemente ciò non è sempre possibile, ma si possono per esempio adottare strategie per un uso appropriato di sensori a diversa risoluzione nelle differenti fasi di evoluzione di un fenomeno, in funzione dell'entità attesa dallo stesso nel tempo, oppure operare con scene a risoluzione più bassa e maggiore copertura territoriale per un monitoraggio più esteso, e concentrare le acquisizioni ad alta risoluzione solo in presenza di situazioni critiche localizzate. Come noto, in una analisi di *change detection* la registrazione e correzione geometrica di *dataset* a risoluzione e accuratezza geometrica differente non è esente da problematiche

specifiche, dovute anche alle diverse caratteristiche radiometriche dei sensori utilizzati ed alle geometrie di acquisizione, ed è stato già sottolineato che in generale non si può affermare che l'uso di sensori alla maggiore risoluzione costituisca sempre la soluzione più efficace.

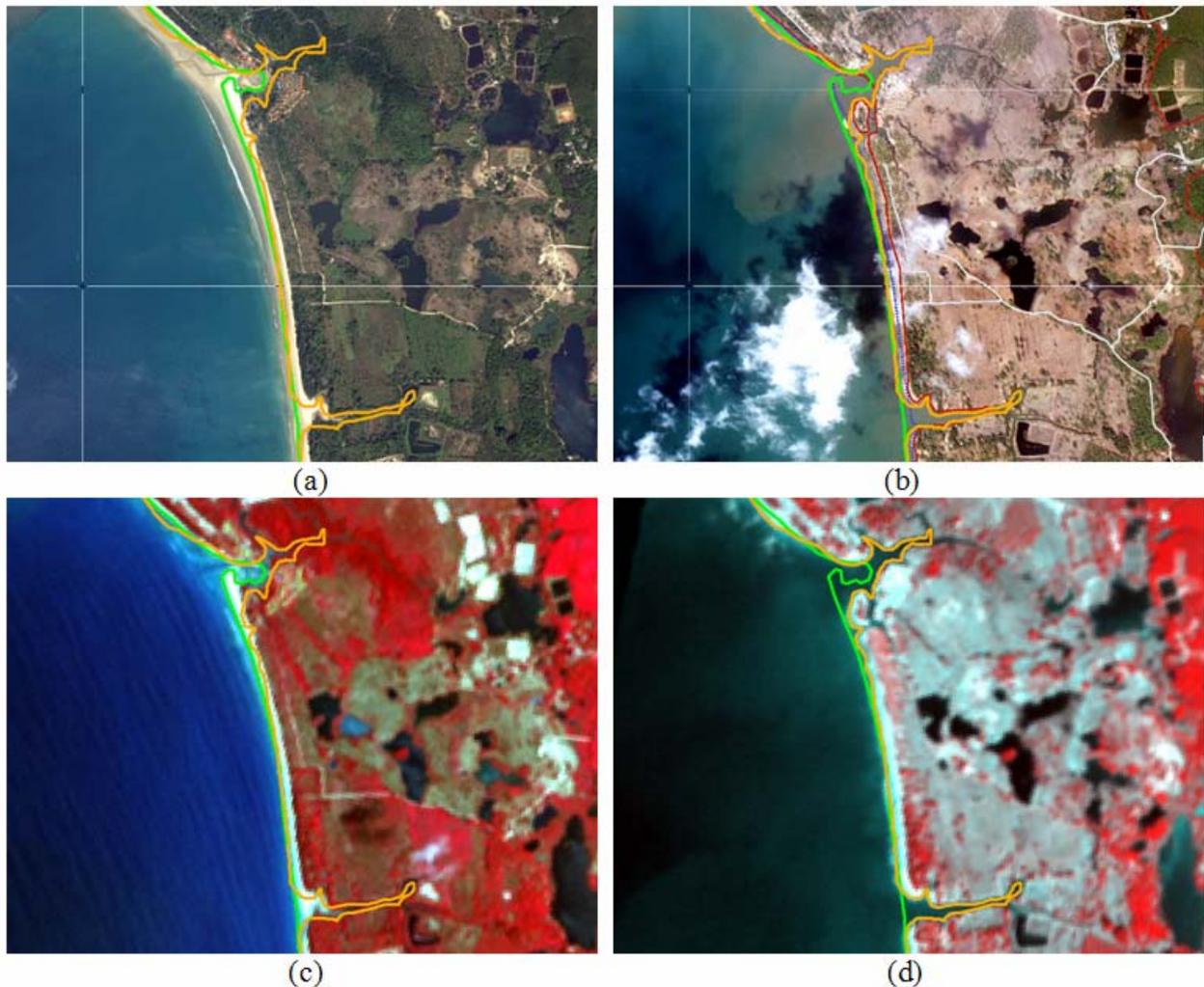


Figura 1 – (a),(b): immagini Ikonos pre- e post-evento, processate da DLR; (c),(d): immagini CIR Aster della stessa area (le linee verde ed arancione sono pre- e post-evento, dedotte da Aster).

Conclusioni

L'uso delle immagini satellitari per la gestione dell'emergenza rappresenta sicuramente un'importante opportunità per gestire più efficacemente le variabili legate alle catastrofi. La crescente attenzione verso questa tematica, incentivata anche dalla pubblicazione su *web* di dati satellitari di libero accesso (si veda il caso del principale *provider* di informazioni geospaziali su scala globale, Google Earth, nella fornitura di immagini relative alle aree in crisi) ha sicuramente favorito una maggiore consapevolezza delle potenzialità di queste tecnologie.

L'integrazione dei servizi di produzione e aggiornamento della cartografia di base e lo sviluppo di tecniche ed algoritmi appropriati per l'estrazione di informazione da dati satellitari in condizione di emergenza rimangono, in ogni caso, tra i problemi maggiori da risolvere, insieme con la necessità di un ulteriore sviluppo tecnologico nella produzione e distribuzione dei dati, in grado per esempio di ridurre il tempo intercorrente tra l'acquisizione e la consegna del prodotto finale.

Ringraziamenti

Lavoro parzialmente finanziato con fondi PRIN2005 "Analisi, comparazione e integrazione di immagini digitali acquisite da piattaforma aerea e satellitare" (Resp. Naz. Prof. S. Dequal).