

## 2.1 Il telerilevamento satellitare come strumento per la gestione delle emergenze da disastri naturali: caso di studio sul terremoto de L'Aquila del 6 aprile 2009

F. Dell'Acqua<sup>1</sup>, P. Gamba<sup>1</sup>, G. Lisini<sup>2</sup>, D. Polli<sup>3</sup> ■

### 2.1.1 Introduzione

I terremoti a carattere disastroso rappresentano una sfida per i sistemi per l'osservazione della terra (Earth Observation = EO), che devono dimostrare la loro utilità nel supportare le azioni di soccorso in più fasi dell'evento. L'uso dei dati EO nella gestione dei disastri è stata a lungo studiata da un punto di vista teorico, ma è solo di recente che i metodi si sono significativamente avvicinati all'uso operativo; in questo articolo si tratterà un caso di studio utile ad illustrare la situazione. Il terremoto de L'Aquila di cui alla presente edizione speciale di Progettazione Sismica ha attivato una fitta serie di acquisizioni sulla zona con diversi sistemi di telerilevamento, satellitari ed aviotrasportati. Alcuni di tali dati sono stati poi rapidamente distribuiti ai Centri di Competenza della Protezione Civile per l'elaborazione e la produzione

d'informazioni utili all'intervento di emergenza nell'immediato e, su una prospettiva di più lungo periodo, anche per l'acquisizione di conoscenze utili per il futuro. Il presente articolo descrive l'esperienza della Sezione Telerilevamento di Eucentre, considerando vari aspetti del lavoro dalla preparazione del dato alla sua elaborazione e diffusione dei risultati, trattando anche i problemi relativi alla distribuzione e gestione dei dati. In particolare, saranno illustrate le applicazioni di mappatura rapida e di stima del danno, con un largo uso dei dati radar satellitari di nuova generazione forniti dal sistema italiano COSMO/SkyMed.

L'esperienza del nostro gruppo di ricerca prova che, pur a fronte di alcuni problemi ancora da risolvere, i risultati sono incoraggianti e vale la pena di investire sullo sviluppo di tali metodi.

### 2.1.2 Telerilevamento

Azioni tempestive a fronte di eventi catastrofici sono molto importanti per supportare e gestire le attività di salvataggio e recupero; il telerilevamento satellitare può fornire un valido sostegno alla gestione dell'emergenza da parte delle autorità di Protezione Civile (Voigt et al 2007). Un grosso investimento da parte della comunità scientifica su applicazioni quali la mappatura dei danni sta cominciando a produrre qualche risultato significativo. La tendenza è sostenuta anche dalla sempre più larga disponibilità di dati ottici multispettrali ad altissima risoluzione e dalla crescente, anche se ancora limitata, offerta di dati radar ad apertura sintetica (SAR) da parte dei sistemi di nuova generazione quali COSMO/SkyMed (Caltagirone et al., 2001), TerraSAR-X (Werninghaus et al, 2004), e Radar-sat-2 (Morena et al., 2004) che raggiungono risoluzioni spaziali intorno al metro, garantendo contemporaneamente l'utilizzabilità in qualunque condizione meteo e di illuminazione. La letteratura presenta un certo numero di articoli che sfruttano l'informazione portata dai

cambiamenti osservati nelle immagini radar ad apertura sintetica per stimare i danni causati dai terremoti (Matsuoka e Yamazaki, 2002) (Matsuoka e Yamazaki, 2004) (Gamba et al, 2007). Anche i sensori ottici, con l'avvento della risoluzione sub metrica (Very High Resolution o VHR) che consente di osservare il singolo edificio, offrono nuove prospettive nelle applicazioni di valutazione del danni. Nonostante la complessità di queste immagini ad altissima risoluzione faccia sì che l'interpretazione visiva sia ancora un metodo di elaborazione largamente utilizzato (Saito et al 2004), diversi algoritmi per automatizzare l'estrazione di informazione sono stati proposti nel corso degli ultimi anni (Matsuoka et al., 2004) (Pacifci et al., 2007) (Chini et al. 2008).

Il contributo che il telerilevamento può dare alla gestione delle emergenze, tuttavia, non si limita alla valutazione rapida del danno. Esso infatti, come illustrato in questo articolo, può rivelarsi utile in tutte le fasi del ciclo dell'emergenza. Nella sezione successiva si discuteranno le problematiche relative all'acquisizione dei dati,

<sup>1</sup> Fondazione Eucentre - Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica, Pavia. [www.eucentre.it](http://www.eucentre.it)

<sup>2</sup> Centro Studi Rischio e Sicurezza, IUSS, Pavia. [www.iusspavia.it](http://www.iusspavia.it)

<sup>3</sup> Dipartimento di Elettronica, Università degli Studi di Pavia. [www-1.unipv.it/ele](http://www-1.unipv.it/ele)

mentre nella sezione III si tratteranno i prodotti derivati dalla loro elaborazione; la sezione IV

chiuderà l'articolo con alcune conclusioni preliminari.

### 2.1.3 Il terremoto de L'Aquila del 6 aprile 2009: dalla richiesta dei dati alla consegna dei risultati

Eucentre è un *Centro di Competenza* (CdC) del Dipartimento della Protezione Civile (DPC), che a sua volta rappresenta il Punto Focale (*Focal Point*) di GMES (GMES, 2004) per l'Italia. In caso di emergenza, il DPC può accedere tramite l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) al sistema COSMO/SkyMed (C/S), basato su una costellazione di 4 satelliti (di cui 3 in opera al momento della scrittura del presente articolo) con strumenti radar SAR ad altissima risoluzione, concepito per uso duale, civile e militare. A seguito dell'emergenza, ASI ha incaricato una squadra, appositamente istituita tra il proprio personale, di lavorare di concerto con il DPC e di guidare la gestione del satellite secondo le direttive provenienti dal Dipartimento. Contemporaneamente, il DPC ha costituito un Tavolo Tecnico composto di consulenti chiamati dai vari Centri di Competenza a supporto delle decisioni relative all'acquisizione ed all'utilizzo dei dati telerilevati sulla zona dell'emergenza. Nel corso dell'emergenza, dal 6 al 14 aprile sono state acquisite circa 30 immagini C/S, di cui 8 in modalità ad alta risoluzione *spotlight*, su orbite sia ascendenti, sia discendenti.

Inizialmente, il meccanismo di distribuzione prevedeva la trasmissione del dato radar dal centro ASI di Matera, ove avviene la ricezione dei dati C/S direttamente dal satellite, alla sede di Roma del DPC, da cui veniva diramato ai vari CdC, principalmente tramite un meccanismo di File Transfer Protocol (FTP). In un secondo tempo ASI ha predisposto un sito internet, accessibile solo agli utenti autorizzati, dal quale è possibile selezionare i *files* da scaricare con un'interfaccia più semplice rispetto alla linea di comando dell'FTP. In questa fase è apparsa evidente l'inevitabile lentezza del trasferimento dati dovuta alla notevole dimensione dei *files* contenenti le immagini satellitari (da 1 a 6 GB circa per immagine). Il tempo impiegato dipende naturalmente dalla capacità della linea, ma in condizioni sfavorevoli il trasferimento potrebbe introdurre nella catena di elaborazione dei ritardi aggiuntivi anche dell'ordine delle ore. Questo, nella prospettiva di operatività del servizio di emergenza, rappresenta senz'altro un argomento a favore della predisposizione o di un collegamento punto-punto dedicato, o della costituzione di stazioni di terra aggiuntive che possano ricevere e decryptare localmente il dato appena emesso dal satellite durante il suo funzionamento.

Il DPC ha poi provveduto ad acquisire anche immagini ottiche ad alta risoluzione pre- e post-evento sulla zona colpita, in modo da fornire ai propri CdC un insieme completo di dati sull'area colpita. Per questo tipo di immagini, visto il ridotto numero, si è preferito utilizzare il metodo FTP per la distribuzione ai Centri.

Le immagini utilizzate per produrre i risultati mostrati nella sezione seguente sono:

1. Una immagine COSMO/SkyMed in modalità Spotlight de L'Aquila e dell'area circostante, acquisita il 7 aprile 2009 alle 04:54:45 con polarizzazione HH. Di questa immagine sono state utilizzate due versioni, una geocodificata sull'ellissoide (GEC), l'altra geocodificata con DTM (GTC) fornito da Intermap con licenza gratuita a tempo a supporto dell'intervento del DPC.
2. Due immagini QuickBird (QB) acquisite il 4 settembre 2006 (pre-evento) e l'8 aprile 2009 (post-evento), entrambe comprendenti le 4 bande del dato multispettrale (3 visibili + 1 infrarosso) e la banda pancromatica a 0,61 m di risoluzione spaziale al nadir. Quest'ultima banda è stata utilizzata per il pansharpening delle bande del dato multispettrale.

In aggiunta alle immagini elencate sopra, a scopo di convalida incrociata o di generazione di informazioni di supporto, si stanno acquisendo anche altre immagini e dati:

1. Una immagine Ikonos acquisita il 6 aprile 2009 con 4 bande multispettrali + 1 banda pancromatica a 1 m di risoluzione al nadir.
2. Un rilievo LIDAR sulla zona, per costruire un modello tridimensionale degli edifici danneggiati, utile per una eventuale simulazione della risposta radar di tali edifici, con special riguardo al confronto con la risposta radar degli edifici che non hanno riportato danni significativi.

Il DPC, nel corso dell'emergenza, ha predisposto un sistema WebGIS, denominato GeoSDI, come piattaforma comune per i CdC sulla quale pubblicare, sottoforma di strati GIS attivabili, i dati ausiliari forniti da altre entità coinvolte nell'acquisizione (ad esempio lo strato "edifici danneggiati" prodotto dalla Scuola di Aerocooperazione di Guidonia per interpretazione di foto aeree post-evento scattate dall'Aeronautica Militare) ed i risultati delle elaborazioni effettuate dai CdC stessi.

Nella sezione seguente si illustreranno le elaborazioni effettuate sui dati da parte della sezione

#### 2.1.4 La produzione di informazioni dai dati telerilevati

In caso di evento disastroso, la cosiddetta procedura di mappatura rapida o **"rapid mapping"**, permette di ottenere sull'area colpita delle informazioni che possono non essere sufficientemente aggiornate o affidabili quando ottenute da fonti tradizionali, oppure che possono essere teoricamente disponibili ed aggiornate ma non reperibili in tempi brevi per i canali tradizionali. La mappatura della copertura del suolo è stata seguita per anni nella letteratura tecnica (Dobson et al., 1996), ma generalmente con l'obiettivo di ottenere la migliore accuratezza piuttosto che di ottenere un risultato accettabile nel tempo più breve possibile in situazione di emergenza. Di recente si è osservata la pubblicazione di una serie di articoli che propongono di mappare diversi oggetti che appaiono in immagini SAR ad altissima risoluzione: edifici (Hill et al., 2008) (Soergel et al., 2009), strade (Lisini et al., 2006), aree urbane (Dell'Acqua et al., 2006). Una raccolta di tali o analoghi metodi in una procedura standard semiautomatica detta **"rapid mapping"** (Dell'Acqua et al., 2008) è stata recentemente consolidata ed è attualmente in grado di produrre:

- Strade urbane ed extraurbane
- Classificazione di categorie di base di copertura del suolo (urbano, acqua, vegetazione)

In aggiunta ai prodotti standard elencati sopra, in occasione del terremoto de L'Aquila si sono sperimentati due ulteriori prodotti:

- Segmentazione dell'area urbana
- Individuazione di elementi extra-urbani significativi

Si è infine studiata la possibilità di stimare il livello di danno dalla sola immagine post-evento. Le sezioni successive illustrano i prodotti e discutono brevemente i risultati ottenuti. È da notare che, sebbene la maggior parte di questi prodotti possano essere generati entro poche ore dalla consegna del dato satellitare, essi non sono attualmente utilizzati dal DPC in quanto non ancora consolidati né sufficientemente sperimentati da poter garantire la loro affidabilità nell'uso operativo.

Per avere invece un'idea dei tempi di semplice consegna del dato satellitare si consideri che il dato COSMO/SkyMed in modalità crisi (quella attivata durante l'emergenza seguita al terre-

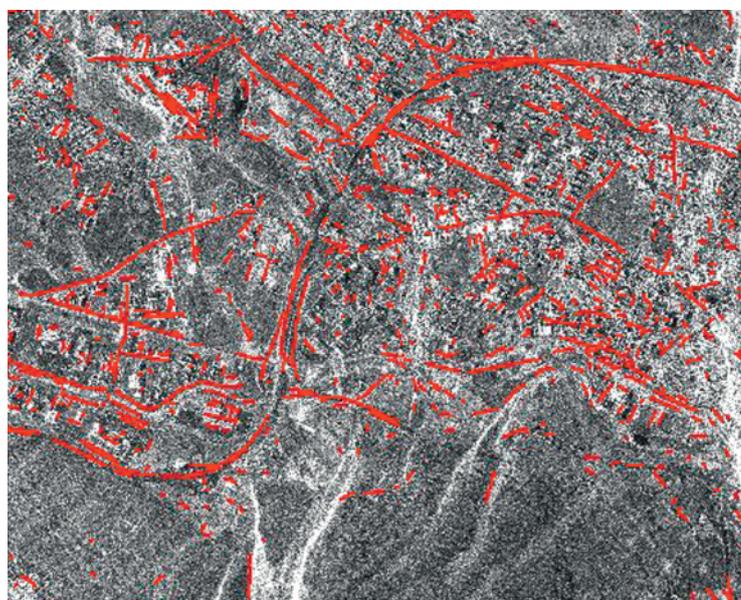
telerilevamento di Eucentre e le informazioni di conseguenza prodotte.

moto in Abruzzo) è acquisito con programmazione del satellite effettuata due volte al giorno, ed è disponibile entro 36 ore dall'acquisizione. A questo intervallo di tempo vanno aggiunti i tempi citati a margine di ciascuno dei prodotti ed i tempi morti di trasmissione del dato, fortemente dipendenti dalla robustezza del collegamento tra i Centri stessi, ma quantificabile nell'ordine dei minuti o poche decine di minuti.

##### A. Strade urbane ed extraurbane

Le strade sono estratte tramite l'applicazione W-Filter (Negri et al., 2006) all'immagine VHR SAR, seguita da scrematura e raggruppamento percettivo (Gamba et al., 2006) dei segmenti estratti. La figura 1 mostra il risultato della procedura su una porzione dell'immagine C/S considerata. Si può notare che le principali strade urbane sono state rilevate, e che la struttura e le direzioni principali delle strade extraurbane sono state rilevate, anche se rimangono alcuni vuoti nella mappa principale delle strade. I tempi di produzione sono dell'ordine della decina di minuti.

Fig. 1  
estrazione della rete di strade con procedura di rapid mapping.



##### B. Classificazione di base della copertura del suolo

Le caratteristiche radiometriche e spaziali sono inizialmente utilizzate per estrarre i corpi idrici (Dell'Acqua et al., 2008); si analizzano quindi le caratteristiche di tessitura per determinare la posizione ed i contorni delle aree urbane (Dell'Acqua et al., 2008). Un'analisi aggiuntiva delle caratteristiche tessiture e spaziali per-

mette infine di individuare le zone coperte di vegetazione. Un esempio di risultato è mostrato in figura 2, dove è stata rilevata una porzione isolata di area urbana. I tempi di produzione sono variabili in funzione del numero di categorie di copertura del suolo ricercate e della precisione desiderata, e sono quantificabili in un intervallo tra qualche minuto e due-tre ore.

Fig. 2  
estrazione delle aree urbane con procedura di rapid mapping.



### C. Segmentazione dell'area urbana

Dal momento che l'analisi delle immagini radar sul singolo pixel tende a dare risultati assolutamente insoddisfacenti a causa del ben noto problema del rumore *speckle*, originato dall'illuminazione coerente della scena, è solitamente necessario aggregare i pixel per poter superare l'inaffidabilità del singolo campione. I quartieri cit-

Fig. 3  
segmentazione automatica in zone urbane.



tadini hanno generalmente caratteristiche di omogeneità intrinseca e costituiscono una partizione fisicamente sensata dell'area urbana esaminata, quindi possono rappresentare l'unità di aggregazione per l'analisi del livello di danno. Tuttavia, la partizione dell'area urbana in quartieri può non essere disponibile in tempi brevi o non coincidere con una partizione statistica dell'immagine considerata. Dato però che i quartieri sono generalmente delimitati da strade di dimensioni importanti, ben visibili nell'immagine radar da analizzare, è possibile estrarre direttamente da questa la partizione in quartieri. Il già citato W-Filter (Negri et al., 2006) e il raggruppamento percettivo (Gamba et al., 2006) permettono di individuare i segmenti di caratteristiche compatibili con la rete di strade urbane principali e di ripartire l'immagine in aree che coincidono a grandi linee con i quartieri delle zone urbane. Alcuni passi di post-elaborazione appositamente sviluppati permettono di perfezionare la partizione fino ad un risultato soddisfacente. I dettagli della procedura sono pubblicati in (Dell'Acqua et al., 2009a), ed un esempio di risultato è visibile in figura 3, dove le linee di colore rosso rappresentano i confini delle aree risultato della segmentazione. I tempi di produzione sono dell'ordine dei minuti, con una dipendenza dalla precisione desiderata.

### D. Valutazione del danno a livello di quartiere

È risaputo che la stima del danno effettuata direttamente tra pixel corrispondenti in immagini pre- e post-evento (Gamba et al., 2007) produce risultati scadenti a causa del rumore *speckle* (Bazi et al., 2007); a questo problema si rimedia generalmente aggregando i pixel in zone omogenee o ritenute tali, con metodi semplici quali le misure di tessitura o più complessi come la partizione in quartieri di cui al paragrafo precedente. Con la nuova generazione di sensori radar, tuttavia, quando si opera in modalità *spotlight*, il problema principale può diventare invece l'indisponibilità di immagini pre-evento con le quali effettuare il confronto; gli archivi contengono ancora relativamente poche immagini e la limitata dimensione al suolo della singola immagine *spotlight*, dell'ordine delle unità di km per lato, rende da un lato improbabile il reperimento dell'immagine pre-cercata, e dall'altro molto lenta l'acquisizione sistematica su tutto il territorio soggetto a pericolosità sismica significativa. Si è quindi effettuato uno studio preliminare per capire se vi potessero essere indicatori rilevabili della presenza di danno nella sola immagine post-evento, senza appoggio su una pre-evento.

La prima fase del lavoro ha riguardato la creazione di un opportuno indicatore di danno con il quale confrontare le caratteristiche locali dell'immagine. Si è realizzata una partizione manuale dell'area urbana de L'Aquila in 58 poligoni che sono stati riportati in un GIS per comodità di elaborazione. In figura 4 è visibile la partizione creata, sovrapposta alla corrispondente immagine di Google Earth®. La dimensione media dei poligoni è risultata essere di 0,1176 km<sup>2</sup>, con misure del singolo poligono tra 0,0146 e 0,698 km<sup>2</sup> ed un numero di edifici compreso tra 100 e 150, almeno per la zona del centro storico, a diminuire verso la periferia. È da notare che, una volta messo a punto il metodo di segmentazione presentato nella sottosezione precedente, si prevede di utilizzarlo al posto della partizione manuale ove non è disponibile un GIS dei quartieri, che verrebbe quindi creato automaticamente.

A questo punto si è sfruttato lo strato GeoSDI "edifici danneggiati" prodotto dalla Scuola di Aerocooperazione di Guidonia, calcolando per ognuno dei poligoni creati al passo precedente il rapporto tra l'area totale delle impronte degli edifici danneggiati all'interno del poligono e l'area totale del poligono stesso. Tale indice, denominato RAD (Rapporto Area Danneggiata), è esprimibile con la seguente formula (1):

$$RAD_i = \frac{\sum_j d_{ij} \cdot A_{ij}^B}{A_i^P} \quad (1)$$

dove:

- $RAD_i$  è il valore dell'indice di area danneggiata sul poligono  $j$ -esimo;
- $d_{ij}$  è la variabile spia di danneggiamento che, assumendo valore 1 oppure 0 indica se l'edificio  $i$ -esimo nel poligono  $j$ -esimo risulta visibilmente danneggiato oppure no;
- $A_{ij}^B$  rappresenta l'area dell'impronta dell'edificio  $i$ -esimo nel poligono  $j$ -esimo;
- $A_i^P$  rappresenta l'area totale del poligono  $j$ -esimo.

I valori ottenuti andavano da 0 (nella maggioranza dei casi) a 46,4%, con una media complessiva del 3,99%, che sale a 11,02% se si considerano solo i 21 quartieri con  $RAD > 0$ . Si tratta chiaramente di un indicatore piuttosto grezzo, tuttavia esso ha il pregio di fornire un valore numerico collegato al livello di danneggiamento riscontrato nel singolo poligono. Indicatori più raffinati sono probabilmente ottenibili da rilievi a

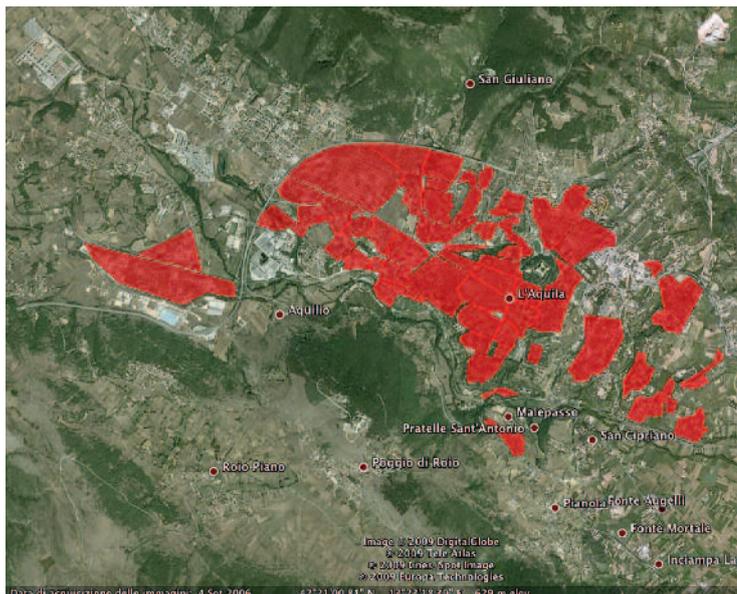


Fig. 4  
la partizione dell'area  
urbana de L'Aquila.

terra; tuttavia, si è scelto di utilizzare i risultati di una fotointerpretazione, nonostante i problemi di scarsa o nulla visibilità di alcuni tipi di danneggiamento, sulla base di considerazioni pratiche. Quando sono stati avviati questi esperimenti, infatti, le uniche realtà a terra disponibili erano quelle provenienti dai rilievi svolti in una fase iniziale, prevalentemente mirati allo stabilire l'agibilità degli edifici piuttosto che a creare una realtà a terra geocodificata nel formato e con le convenzioni utili a sperimentare tecniche di rilevazione satellitare. L'attenzione dell'ispettore si concentrava ovviamente sugli edifici con livello minore di danno piuttosto che su quelli seriamente danneggiati o addirittura parzialmente crollati, per i quali è più verosimile la generazione di una "firma" visibile nell'immagine radar. Pertanto, la scelta era tra una realtà a terra avente massima accuratezza su aspetti scarsamente correlati all'indagine in corso, ed un dato interpretato senza visibilità di alcune caratteristiche del danno ma con un presumibile, forte collegamento con una parte rilevante delle variabili d'interesse (edifici con crolli totali o parziali); è sembrato di conseguenza ragionevole optare per questa seconda soluzione. Sono comunque ancora in corso attività di raccolta di realtà a terra più precise, in collaborazione con gli uffici competenti del DPC. È già in programma una ricerca più fine da avviarsi non appena tali dati saranno disponibili in forma completa.

Nella seconda fase del lavoro l'ipotesi di partenza è stata quella, già accennata all'inizio della presente sottosezione, di una possibile correlazione tra le diverse caratteristiche dell'edificio integro piuttosto che modificato nella sua



Fig. 5  
la partizione sull'immagine  
radar de L'Aquila.

forma dal danno sismico, e la risposta al sensore. Si è calcolato il valore di diverse misure di tessitura con diverse dimensioni della finestra di calcolo locale (cioè con diversi valori di scala); tanto per dare un'idea delle cifre, per la tessitura "varianza" si è riscontrata una dinamica di svariati ordini di grandezza (da  $10^3$  a  $10^{15}$ , con una media dell'ordine di  $10^9$ ), a testimonianza della pesante incidenza del rumore *speckle* sul contenuto dell'immagine, nonostante un passo iniziale di applicazione del filtro di Lee (Lee,

1983). Il disturbo introdotto da questo fenomeno, come si vedrà in seguito, non pare riuscire a mascherare un certo grado di correlazione presente nei dati. La figura 5 mostra la collocazione dei poligoni all'interno dell'immagine radar geocodificata.

Per ogni tipo e dimensione della finestra, si è poi effettuata la media tra i valori di tessitura riscontrati all'interno di ciascun poligono GIS, ottenendo quindi una serie di 58 valori per ogni coppia "tipo di tessitura"- "dimensione della finestra". Si è infine calcolata la correlazione di Pearson (Rodgers and Nicewander, 1988) tra ciascuna di tali serie e la serie di valori di RAD, con lo scopo di capire se esiste una combinazione effettivamente indicativa della presenza di danno. I valori trovati, riportati in tabella 1, non sono molto incoraggianti perché si mantengono sotto lo 0,1 in modulo, eccezion fatta per la varianza, che raggiunge lo 0,275. Anche questo valore è troppo basso per poter trarre risultati operativi a questo stadio, tuttavia la strada pare tracciata ed è possibile fare qualche considerazione significativa.

Tabella 1 - correlazioni tra le misure di tessitura e livelli di danneggiamento (tutti i poligoni)

Dim. finestra (pixel)/tessitura	3x3	7x7	11x11	15x15	19x19
Dinamica	-0,066	-0,038	-0,015	0,003	0,018
Media	-0,100	-0,100	-0,099	-0,099	-0,099
Varianza	0,275	0,258	0,252	0,248	0,246
Entropia	-0,091	0,022	-0,019	-0,022	-0,020

Ad esempio, il valore di correlazione è ridotto per effetto del sottoinsieme delle sequenze di RAD con valore zero; a fronte di un valore di danneggiamento nullo, le corrispondenti misure di tessitura sono inevitabilmente variabili a causa della rumorosità del dato radar. Se si calcola il coefficiente di correlazione sulle sole aree danneggiate, depurando quindi le serie del contributo di rumore

completamente non correlato, i valori salgono significativamente, come visibile in tabella 2.

Valori simili di correlazione furono riscontrati nel caso di studio sulla città di Guan Xian, Repubblica Popolare Cinese (Dell'Acqua et al, 2009b), sebbene con misure di tessitura leggermente più complesse, ovvero omogeneità su una finestra di  $51 \times 51$  pixel and  $\Delta x=21$ ,  $\Delta y=21$ . La

Tabella 2 - correlazione tra tessitura "varianza" e livello di danneggiamento (poligoni con RAD>0%)

Dim. finestra (pixel)	3x3	7x7	11x11	15x15	19x19
Correlazione Danno-tessitura Varianza	0,338	0,337	0,337	0,336	0,336

correlazione con la tessitura varianza si può spiegare in via preliminare con un una maggiore incidenza locale del rumore *speckle* dovuto ad una presenza più capillare di piccoli riflettori ad angolo generati dai detriti rispetto

alla geometria più omogenea visibile negli edifici non danneggiati.

Per sfruttare questo incremento nella correlazione si può pensare di utilizzare l'informazione sulla presenza di danno ricavata da

un'interpretazione preliminare e rapida di immagini ottiche quali foto aeree o perlustrazioni di droni (Unmanned Aerial Vehicle = UAV) che siano in grado di fornire anche immagini a

bassa qualità, sufficienti per catalogare ciascun quartiere nelle categorie danneggiato o non danneggiato. Lo schema di principio è quello della figura 6.



Fig. 6 proposta di schema di fusione tra dati ottici e radar per la valutazione rapida del danno a livello di quartiere.

Sebbene le correlazioni trovate finora siano piuttosto deboli per prospettare un uso operativo, i risultati incoraggiano ad investire su questi metodi. In particolare, da alcuni esperimenti preliminari, pare di poter concludere che la valutazione contemporanea di più mappe di tessitura può portare ad indicatori più affidabili, ma naturalmente occorre attendere i risultati di esperimenti più approfonditi per poter trarre conclusioni definite. Per il prodotto operativo ci si potranno aspettare tempi di produzione dell'ordine di qualche ora, riducibili con una programmazione efficiente e con il calcolo parallelo, al quale l'estrazione delle misure di tessitura ben si presta.

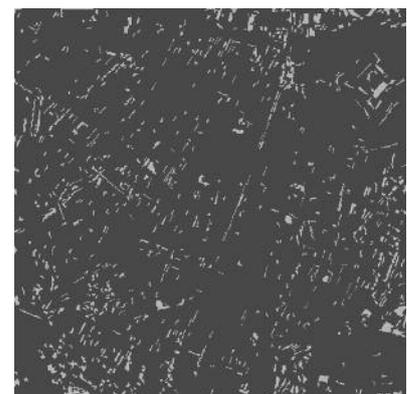
*Rilevazione del danno a livello di pixel*

La generazione di satellite ottici che producono immagini submetriche ha permesso, a partire dai

primi anni 2000, la rilevazione di cambiamenti anche di dettaglio sulla superficie, ma ha anche introdotto problemi prima sconosciuti: a quelle risoluzioni il dato include una grande quantità di informazione non d'interesse e che interferisce con l'estrazione dell'informazione desiderata. A titolo di esempio si può citare la presenza di ombre, che cambiano con l'ora e la stagione, e la presenza temporanea di oggetti, come automobili o tende, che generano rilevazioni di cambiamento nel confronto pre-postevento, ma che non sono minimamente correlati alla variabile d'interesse, ovvero il danno sismico. Per questo motivo sono stati inventati metodi basati ad esempio sulle elaborazioni morfologiche (Chini et al, 2009) che permettono di eliminare almeno in parte questo tipo di falsi allarmi.

La sezione Telerilevamento di Eucentre sta svi-

Fig. 7 Mappe degli edifici pre-evento (sinistra) e post-evento (centro) - evento, (destra) mappa dei cambiamenti.



luppando un proprio metodo per il confronto pre-post evento di immagini ottiche VHR, che nel caso de L'Aquila è stato sperimentato sulle immagini QB citate nella Sezione II. La classificazione mista spettrale-spaziale, svolta con una tecnica sviluppata dall'Università di Pavia (Gamba and Dell'Acqua, 2003) ha permesso di individuare gli edifici nell'immagine pre- e nel-

l'immagine post-evento, creando le mappe visibili in figura 7. La differenza tra le due mappe, seguita da operazioni morfologiche per ridurre i falsi allarmi, inclusa l'eliminazione dei gruppi di pixel cambiati composti da meno di 100 unità, ha prodotto una mappa dei cambiamenti presunti visibile in figura 8. I tempi di produzione sono dell'ordine di una-due ore.

### Rilevazione di oggetti significativi in area extraurbana

L'esigenza di questo prodotto è nato durante le operazioni di sopralluogo, come strumento per supportare la ricerca di manufatti non segnalati sulle carte perché troppo recenti o abusivi, ma che potessero necessitare di ispezione perché potenzialmente danneggiati dal terremoto ed in pericolo di crollo con possibili danni alle persone o alle cose.

L'individuazione si basa sull'ipotesi di una risposta radar particolarmente forte, derivante dalla riflessione ad angolo solitamente presente nei manufatti ed assente nel paesaggio puramente naturale, e consiste in prima istanza di una operazione a soglia sulla mappa di densità di

sezione radar, con traduzione del risultato in punti georeferenziati in formato .kml, quindi importabili ad esempio sul globo di Google Earth ®. Un esempio è visibile in figura 9.

È attualmente in corso lo sviluppo di una versione più raffinata che sfrutta l'inversione della risposta impulsiva del sistema radar ad apertura sintetica per rendere più precisa l'individuazione della posizione dell'oggetto e per tentare una classificazione preliminare del tipo di bersaglio individuato. Dato che la rilevazione dei riflettori anomali è piuttosto rapida, i tempi di produzione dipendono essenzialmente dalla procedura di geocodifica dell'immagine satellitare, a sua volta dipendente dalla precisione geometrica desiderata; si può stimare qualche decina di minuti.

Fig. 9  
Individuazione di manufatti isolati.



### 2.1.5 Conclusioni

In questo articolo è stato presentato un flusso di lavoro con impiego di dati telerilevati a supporto della gestione delle conseguenze di un disastro naturale, ovvero il terremoto del 6 aprile 2009 con epicentro nella zona de L'Aquila. Si sono brevemente trattati i flussi di informazione tra le unità coinvolte, e si sono forniti esempi specifici di trattamento del dato come si è svolto all'interno della sezione Telerilevamento di Eucentre. Alcuni dei prodotti presentati non sono ancora da considerare operativi, tuttavia la ricerca sta compiendo notevoli progressi ed i buoni risultati ottenuti finora

sul fronte scientifico incoraggiano a proseguire nella direzione trattata. Il parere degli autori è che oggi il telerilevamento sia in generale sottoutilizzato nell'osservazione e nella mitigazione dei disastri, prova ne è la costituzione di un programma delle Nazioni Unite, ovvero UN-SPIDER (UN-SPIDER, 2006) che ha il mandato di "Assicurare che tutte le nazioni e le organizzazioni regionali abbiano accesso a e possano sviluppare la loro capacità di utilizzare tutti i tipi di informazioni dallo spazio per supportare l'intero ciclo della gestione dei disastri"; d'altra parte i disastri sono stati inclusi tra le aree di beneficio sociale (Social

Benefit Areas, SBA) nell'iniziativa GEO (GEO, 2005), sponsorizzata dal G8, finalizzata a coordinare a livello mondiale gli sforzi per la creazione del GEOSS (Global Earth Observation System of Systems), ovvero di un sistema globale che includa tutti i sistemi per l'osservazione della terra presenti e futuri. Nonostante siano state create istituzioni quali l'International Charter on Space and Major Disasters (Disasters Charter, 2000), l'impiego del dato telerilevato fatica a farsi strada nella pratica delle emergenze, complice

### Ringraziamenti

Per il lavoro descritto in questo articolo gli autori desiderano ringraziare il DPC che vi ha contribuito tramite il finanziamento del Programma Quadro 2009-2011 stabilito con Eucentre, e la Commissione Europea che ha contribuito tramite il finanziamento del progetto SAFER (2009). Gli autori ringraziano il personale del

forse anche l'ancora giovane età dei sistemi ad alta risoluzione, quelli in grado di fornire le informazioni più dettagliate. Eppure il contributo che possono dare tecniche di valutazione di caratteristiche su ampia scala è notevole, non solo in situazioni di emergenza ma anche per la preparazione di scenari di rischio, come può essere per il modello che si creerà con il Global Earthquake Model (GEM, 2008) a favore del quale il telerilevamento può ad esempio fornire mappe di vulnerabilità sismica su vasta scala.

DPC e dell'ASI per il loro supporto in tutte le fasi della gestione dei dati, ed i colleghi della sezione telerilevamento dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) di Roma per la collaborazione sulle immagini ottiche ad alta risoluzione. È altresì riconosciuto il contributo degli ex testisti Eleonora Troysi e Luca Odasso ad alcuni degli esperimenti descritti.

### Bibliografia

- Bazi Y., L. Bruzzone, Melgani F. (2005) - "An unsupervised approach based on the generalized Gaussian model to automatic change detection in multitemporal SAR images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 43, no. 4, pp. 874-887, April 2005.
- Caltagirone F., Spera P., Gallon A., Manoni G., Bianchi L. (2001) - COSMO-SkyMed: A dual use Earth observation constellation. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Satellite Constellation and Formation Flying*, 2001, 87-94.
- Chini M., Pacifici F., Emery W.J., Pierdicca N., Del Frate F. (2008) - "Comparing statistical and neural network methods applied to very high resolution satellite images showing changes in man-made structures at Rocky Flats," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 46, no. 6, pp. 1812-1821, Jun. 2008.
- Chini M., Pierdicca N., Emery W.J. (2009) - "Exploiting SAR and VHR Optical Images to Quantify Damage Caused by the 2003 Bam Earthquake," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 47, no. 1, pp. 145-152, Jan. 2009.
- Dobson M.C., Pierce L.E., Ulaby F.T. (1996) - "Knowledge-based land-cover classification using ERS-1/JERS-1 SAR composites," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 34, no. 1, pp. 83-99, Jan 1996.
- Disaster Charter (2000): The International Charter "space and major disasters". [online] URL: <http://www.disasterscharter.org/>
- Dell'Acqua F., Gamba P. (2006) - "Discriminating urban environments using multiscale texture and multiple SAR images," *Int. Journal of Remote Sensing*, vol. 27, no. 18, pp. 3797 - 3812, 2006.
- Dell'Acqua F., Gamba P., Lisini G. (2008) - "Rapid mapping of high resolution SAR scenes, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*," In Press, Corrected Proof, Available online 23 October 2008, ISSN 0924-2716, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2008.09.006.
- Dell'Acqua F., Gamba P., Odasso L., Lisini G., (2009a) - "Segment-based urban block outlining in high-resolution SAR images," *Urban Remote Sensing Event, 2009 Joint, CD-ROM Proc.*, pp. 1-6, 20-22 May 2009.
- Dell'Acqua F., Lisini G., Gamba P. (2009b) - "Experiences in optical and SAR imagery analysis for damage assessment in the Wuhan, May 2008 earthquake," *Proc. of IGARSS 2009, Cape Town, South Africa*, 13-17 July 2009.
- Gamba P., Dell'Acqua F. (2003) - "Increased accuracy multiband urban classification using a neuro-fuzzy classifier," *International Journal of Remote Sensing*, 24:4, pp. 827-834.
- Gamba P., Dell'Acqua F., Lisini G. (2006) - "Improving Urban Road Extraction in High-Resolution Images Exploiting Directional Filtering, Perceptual Grouping, and Simple Topological Concepts," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 3, No. 3, pp. 387-391, 2006.
- Gamba P., Dell'Acqua F., Trianni G. (2007) - "Rapid Damage Detection in the Bam Area Using Multitemporal SAR and Exploiting Ancillary Data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 45, no. 6, pp. 1582-1589, June 2007.
- GEM (2008) - The Global Earthquake Model. [online] URL: <http://www.globalquakemodel.org/>
- GEO (2005) - The Group on Earth Observation. [online] URL: <http://www.earthobservations.org/>
- GMES (2004) - Commission Of The European Communities: "Communication From The Commission To The European Parliament And The Council - Global Monitoring for Environment and Security (GMES): Establishing a GMES capacity by 2008 - (Action Plan (2004-2008))". Brussels, 3.2.2004.
- R.D. Hill, Moate C.P., Blacknell D. (2008) - "Estimating building dimensions from synthetic aperture radar image sequences," *Radar, Sonar & Navigation, IET*, vol. 2, no. 3, pp. 189-199, June 2008.
- Lee J.S. (1983) - Digital image smoothing and the sigma filter. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. vol. 24, pp. 255-269. Nov. 1983
- Lisini G., Tison C., Tupin F., Gamba P. (2006) - "Fea-

- ture fusion to improve road network extraction in high-resolution SAR images," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 3, no. 2, pp. 217-221, April 2006.
- Matsuoka M., Yamazaki F. (2002) - "Application of the damage detection method using SAR intensity images to recent earthquakes," in *Proc. IGARSS*, vol. 4, 2002, pp. 2042-2044. (Matsuoka et al., 2004) Matsuoka M., Vu T.T., and Yamazaki F., "Automated damage detection and visualization of the 2003 Bam, Iran, earthquake using high resolution satellite images," in *Proc. 25th Asian Conf. Remote Sens.*, 2004, pp. 841-845.
- Matsuoka M., Yamazaki F. (2004) - "Use of satellite SAR intensity imagery for detecting building areas damaged due to earthquakes," *Earthquake Spectra*, vol. 20, no. 3, pp. 975-994, 2004.
- Morena L.C., James K.V., Beck J. (2004) - "An introduction to the RADARSAT-2 mission", *Canadian Journal of Remote Sensing*, Volume 30, Number 3, June 2004, Page(s) 221-234. ISSN 1712-7971
- Negri M., Gamba P., Lisini G., Tupin F. (2006) "Junction-aware extraction and regularization of urban road networks in high-resolution SAR images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 44, no. 10, pp. 2962-2971, Oct. 2006.
- Pacifici F., Del Frate F., Solimini C., Emery W.J. (2007) "An innovative neural-net method to detect temporal changes in high-resolution optical satellite imagery," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 45, no. 9, pp. 2940-2952, Sep. 2007.
- Rodgers J.L., Nicewander W.A. (1988) - "Thirteen ways to look at the correlation coefficient". *The American Statistician*, 42(1): 59-66, Feb 1988.
- Saito K., Spence R.J.S., Going C., M. Markus (2004) - "Using high resolution satellite images for post-earthquake building damage assessment: A study following the 26 January 2001 Gujarat earthquake," *Earthquake Spectra*, vol. 20, no. 1, pp. 145-169, 2004.
- Soergel U., Michaelsen E., Thiele A., Cadario E., Thoennessen U. (2009) - "Stereo analysis of high-resolution SAR images for building height estimation in cases of orthogonal aspect directions," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, In Press, Corrected Proof, Available online 20 February 2009, ISSN 0924-2716, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2008.10.007.
- UN-SPIDER, (2006) - "United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response - UN-SPIDER". Web site: <http://www.oosa.unvienna.org/oosa/unspider/index.html>. Verificato il 10 agosto 2009, ore 16.37 in Italia.
- Voigt S., Kemper T., Riedlinger T., Kiefl R., Scholte K., Mehl H. (2007) - "Satellite image analysis for disaster and crisis-management support" *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 45, no. 6, pp. 1520-1528, Jun. 2007.
- Werninghaus R., Balzer W., Buckreuss St., Mittermayer J., Mühlbauer P. (2004) - "The TerraSAR-X Mission", *EUSAR 2004*, Ulm, Germany.