

USO DI IMMAGINI SATELLITARI PER LA STIMA DEL DANNEGGIAMENTO SISMICO NEL PATRIMONIO COSTRUITO

Gabriele BITELLI(*), Luca GUSELLA(*), Alessandro MOGNOL(*), Beverly J. ADAMS(**)

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

(**) ImageCat, Inc., UK Operations - 246 Barnett Wood Lane - Ashtead, Surrey, KT21 2BY, UK
bja@imagecatinc.com

RIASSUNTO

L'osservazione del livello e della distribuzione del danno dopo un evento catastrofico sono di primaria importanza nei momenti successivi ad un evento, per la pianificazione immediata per la risposta all'evento e, successivamente, per una migliore comprensione degli effetti del terremoto sull'ambiente costruito. Dopo il terremoto di Bam, che ha colpito l'Iran il 26 dicembre 2003, satelliti ad alta risoluzione (*Quickbird* e *Ikonos*) sono diventati delle valide fonti di informazioni, sia per le caratteristiche divulgative (diffusione di informazioni tramite Internet), sia con lo scopo vero e proprio di mappatura della distribuzione del danno e per la ricognizione delle aree maggiormente colpite. Saranno l'argomento della presente comunicazione l'analisi delle immagini satellitari, tramite tecnologia ad oggetti: lo specifico obiettivo della ricerca è la descrizione e la definizione di un inventario degli edifici estratto esclusivamente da immagini satellitari, attraverso specifici algoritmi di parametrizzazione della segmentazione. La possibilità di estrarre informazioni di tipo quantitativo dalle immagini satellitari in modo semi-automatico è, infatti, particolarmente utile per lo sviluppo di applicazioni in regioni non coperte da un sistema informativo geografico o da cartografia adeguati. Le immagini *QuickBird* saranno poi analizzate nell'ottica della definizione di un indice di cambiamento, che potrà essere utilizzato per definire la distribuzione del danneggiamento.

ABSTRACT

Damage level and distribution are of primary importance in the immediate aftermath of an event, for response planning and for the comprehension of earthquake effects on the real estate. After Bam (Iran) earthquake, December the 26th, 2003, VHR satellites (*QuickBird* and *Ikonos*) became a useful information source, for mapping and for the evaluation of damage distribution. The topic of this work is the object-oriented analysis of satellite imagery. The goal is to develop an image-based building inventory methodology, achieved by a specific segmentation evaluation algorithm.

Introduzione

Successivamente ad un evento catastrofico, la quantificazione rapida del danneggiamento degli edifici è un'importante priorità; grazie ad essa, si possono fornire informazioni alle squadre di emergenza ed aiutare i *team* di soccorso nazionali ed internazionali a raggiungere l'apice delle attività di risposta, giungendo quanto prima alle aree maggiormente colpite. Il danneggiamento dell'area urbana può inoltre essere impiegato per generare una stima del numero di vittime.

Nello scorso decennio, il valore delle tecnologie di telerilevamento ha avuto un notevole incremento nella ricerca condotta su questo tema (Matsuoka e Yamazaki, 2000; Eguchi et al., 2003; Estrada et al., 2001; Adams, 2004), mentre lo sviluppo dei satelliti ad altissima risoluzione (VHR) ha portato l'analisi verso le singole strutture (Chiroiu et al., 2002; Saito et al., 2004).

Questo documento presenta l'uso della tecnologia “*object-oriented*” di analisi delle immagini per pervenire ad una classificazione del danneggiamento e ad un inventario degli edifici distrutti a seguito del terremoto distruttivo (Mw 6.5, Ms 6.7, USGS) che il 26 dicembre 2003 ha colpito la città di Bam, nella parte sud-orientale dell'Iran; sono state utilizzate a questo scopo due immagini ad alta risoluzione *QuickBird*.

La *EERI World housing Encyclopedia* (EERI, 2005) indica che la tipologia degli edifici iraniani comprende costruzioni di metallo, di mattoni, ma anche edifici in pietra o paglia e fango (*adobe*); questi ultimi in particolare hanno causato il maggior numero di vittime (Mehrain and Naeim, 2005).

Metodologia di classificazione ad oggetti

Per quantificare il numero di edifici collassati nella città di Bam si è adottata la metodologia di classificazione ad oggetti (De Kok *et al.*, 1999, Bitelli *et al.*, 2004). L'unica stima nota del numero di edifici danneggiati si riferiva al documento dell'ONU del gennaio 2004, che riporta una valutazione qualitativa del numero di unità abitative da predisporre per gli sfollati.

Nell'approccio ad oggetti, questi sono aggregati di *pixel*, caratterizzati sia da caratteristiche intrinseche (es. media dei DN dei *pixel* contenuti nell'oggetto), che da caratteristiche relazionali nell'ambito di una segmentazione multi-livello (Baatz and Schape, 2000).

In Tabella 1 sono riportati i due set *QuickBird* utilizzati nell'analisi, uno precedente l'evento, l'altro successivo. L'analisi è stata condotta su immagini pan-sharpened con algoritmo IHS (RSI, 2002), con contrasto saturato al 2%, registrate con 49 punti di controllo.



Data di acquisizione	Immagine di insieme	Risoluzione	Pre-processing
“Before”: 30/09/2003		0,60 m pancromatico	IHS <i>pan-sharpening</i> (canali RGB), enfaticizzazione del contrasto (lineare con saturazione al 2%)
“After”: 03/01/2004		2,40 m multispettrale	IHS <i>pan-sharpening</i> (canali RGB), enfaticizzazione del contrasto (lineare con saturazione al 2%), registrazione con l'immagine “before” con 49 punti di controllo (1.8 RMSE), funzione di <i>mapping</i> lineare, <i>resample nearest neighbor</i>

Figura 1 - Immagini *Quickbird* oggetto dello studio e passi di pre-processo.

Il diagramma di flusso di figura 2 mostra i passi eseguiti ai fini del conteggio degli edifici danneggiati. In sintesi, un inventario degli edifici, estratto tramite classificazione supervisionata dall'immagine “before”, è comparato con l'immagine “after” e ri-classificato in edifici danneggiati e non danneggiati utilizzando le informazioni provenienti da entrambe le immagini.

Segmentazione

La segmentazione avviene in tutta l'immagine “before” utilizzando il software eCognition di Definiens Imaging. In eCognition, la segmentazione è guidata utilizzando i tre parametri di Scala, Colore, Compatezza (Definiens Imaging, 2004), che rappresentano tre categorie di analisi dell'immagine; si tratta rispettivamente della dimensione dell'oggetto di interesse, del grado di frammentazione del colore all'interno dell'oggetto e dell'indicazione di quanto un oggetto sia compatto. I parametri sono stati ottimizzati su di un set di 108 edifici digitalizzati, comparandone la forma ed identificando il numero di edifici correttamente riconosciuti (Figura 2). I parametri di segmentazione così estratti possono essere estesi a tutta l'immagine, grazie alla relativa omogeneità degli edifici della città di Bam.

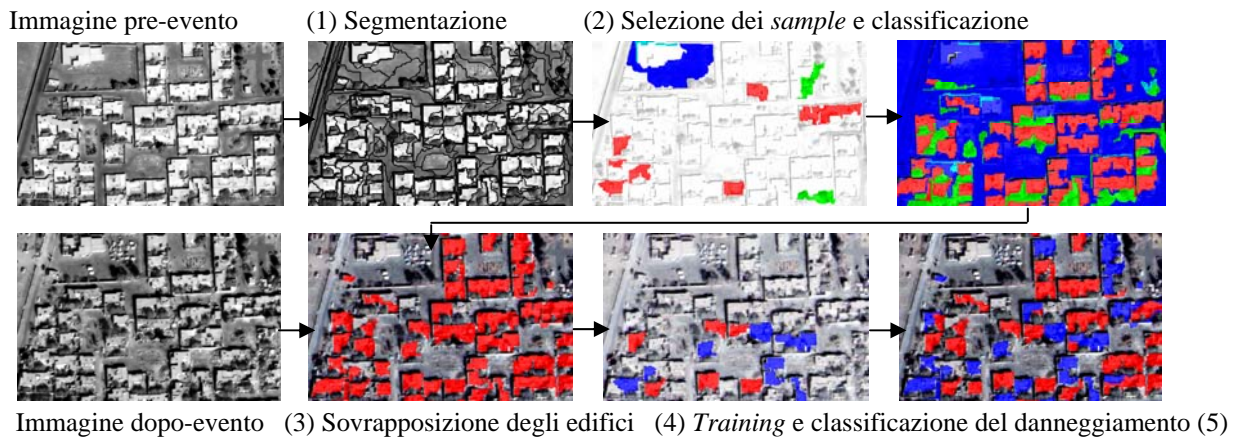


Figura 2 - Metodologia di classificazione object-oriented

La scelta dei parametri di segmentazione è avvenuta per via qualitativa per quanto riguarda i parametri Colore e Compattezza (Figura 2), e per via quantitativa per quanto concerne il parametro Scala. Il grafico di Figura 4 mostra l'andamento della corrispondenza tra oggetti e edifici all'aumentare del parametro Scala: circa la metà degli edifici è univocamente riconosciuta dagli oggetti, i restanti edifici hanno diversi gradi di frammentazione (si veda la figura 3a). Il grado di frammentazione è utilizzato come una sorta di fattore di scala (se l'edificio è frammentato in due oggetti, ogni due oggetti classificati è conteggiato un edificio, se in tre parti ad un edificio corrispondono tre oggetti, e così via), pervenendo al conteggio degli edifici riportato in Figura 4. Si può notare come venga conteggiato il numero corretto di edifici per un valore di Scala intorno a 30. Per pervenire al numero di edifici digitalizzati a partire dagli oggetti classificati, è necessario applicare un fattore di riduzione pari all'89% per riportare il numero degli oggetti identificati (122) al numero di edifici digitalizzati (108). Questo metodo, semi-empirico, è chiaramente limitativo, ma permette in ogni caso di pervenire ad una stima del numero di edifici, difficilmente accessibile con altre tecniche di classificazione.

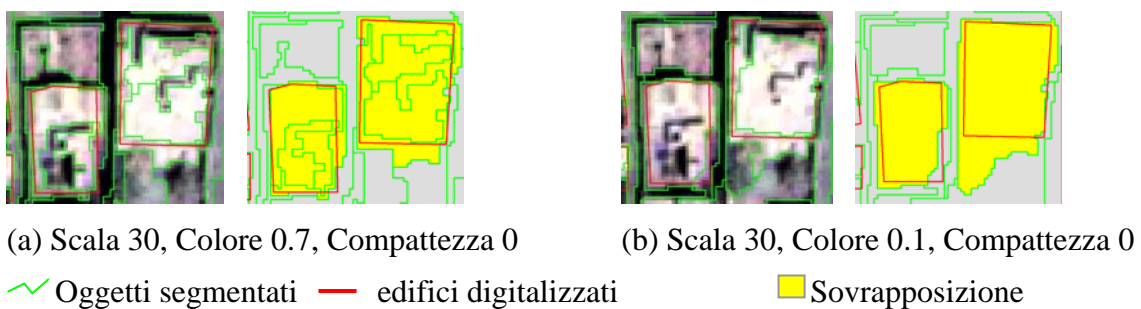


Figura 3 - Confronto tra edifici digitalizzati ed oggetti per due diversi set di parametri di segmentazione

Inventario degli edifici - Classificazione

La classificazione dell'inventario degli edifici avviene sull'immagine "before" segmentata con i parametri selezionati con la metodologia esposta, con tecnica supervisionata e classificatore *nearest neighbor*. In Tabella 1, sono riportate le classi utilizzati, il numero degli oggetti usati come *training* e l'accuratezza raggiunta. Per il conteggio degli edifici, sono stati applicati due fattori di riduzione (Tabella 2): il primo utilizzando le probabilità marginali (Czaplewski, 1982), il secondo utilizzando la riduzione del 89% determinata nei paragrafi precedenti.

Applicando le probabilità marginali riportate in tabella, viene utilizzata l'equazione 1:

$$y = x Ha + (1-x) (1-Hb) \quad [1]$$

Nell'equazione, data x la proporzione vera degli edifici, incognita, e y la proporzione stimata (risultante dalla classificazione), Ha la *producer accuracy* della classe da determinare (0.91) e Hb l'accuratezza delle restanti classi (0.96), si perviene ad un primo conteggio (y), che è ridotto utilizzando il fattore di riduzione dell'89% determinato dall'analisi della segmentazione.

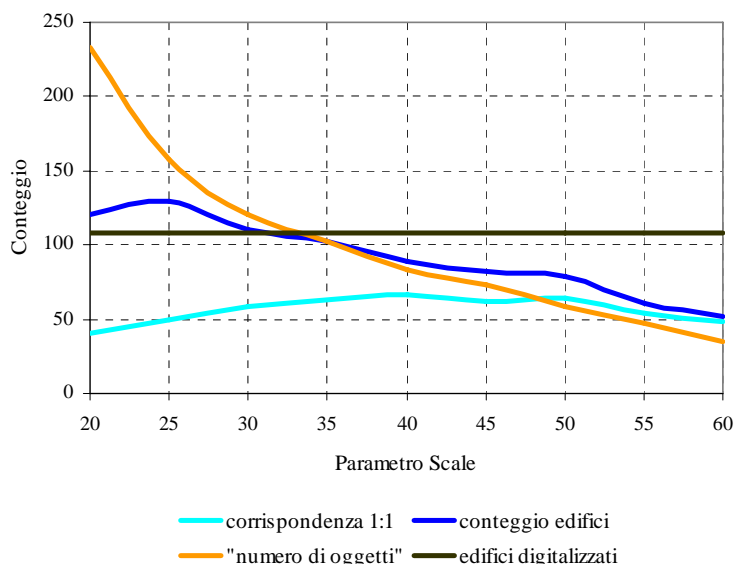


Figura 4 - Corrispondenza tra edifici digitalizzati ed oggetti

<i>Reference/ Classification</i>	Numero di training samples	Numero di oggetti classificati	Edifici	Altro	Ombre	Vegetazione	Totale	<i>User Accuracy</i>
Edifici	157	22,865	39	10	0	0	49	0.80%
Altro	274	54,875	4	154	0	6	164	0.94%
Ombre	15	7,118	0	1	7	2	10	0.70%
Vegetazione	72	36,732	0	15	6	71	92	0.77%
unclassified	-	4,272	0	10	0	2	12	
Totale	518	125,862	43	190	13	81	327	
<i>Producer Accuracy</i>			0.91%	0.81%	0.54%	0.88%		

Tabella - Matrice di confusione per l'immagine "before". Il numero totale di oggetti classificati è mostrato insieme al numero di samples utilizzati per la classificazione

Inventario degli edifici				Accuratezza			
	Numero di oggetti e proporzione (%)	equazione[1]	Riduzione dell'89%	Edifici	Altri Oggetti	Totale	<i>User accuracy</i>
Edifici	22,865 (18.1%)	21,144 (16.8%)	18,872	39	10	49	80% (39/49)
Altri oggetti	102,997 (81.9%)	104,718 (83.2%)	-	4	274	278	98% (274/278)
Totale	125,862	125,862	-	43	284	327	
<i>Producer accuracy</i>				0.91% (39/43)	0.96% (274/284)		

Tabella 2 - Matrice di confusione ridotta e conteggio degli edifici

Classificazione del danneggiamento

Il conteggio degli edifici danneggiati avviene ri-classificando l'inventario degli edifici, utilizzando contemporaneamente le immagini "after" e "before", in due nuove classi, edifici danneggiati e non danneggiati.

In Figura 5 è riportata la classificazione finale dell'immagine, mentre in tabella sono riportati la classificazione, il numero di edifici/oggetti utilizzati per il training del classificatore supervisionato, e l'impiego del fattore di riduzione dovuto all'analisi delle probabilità marginali.

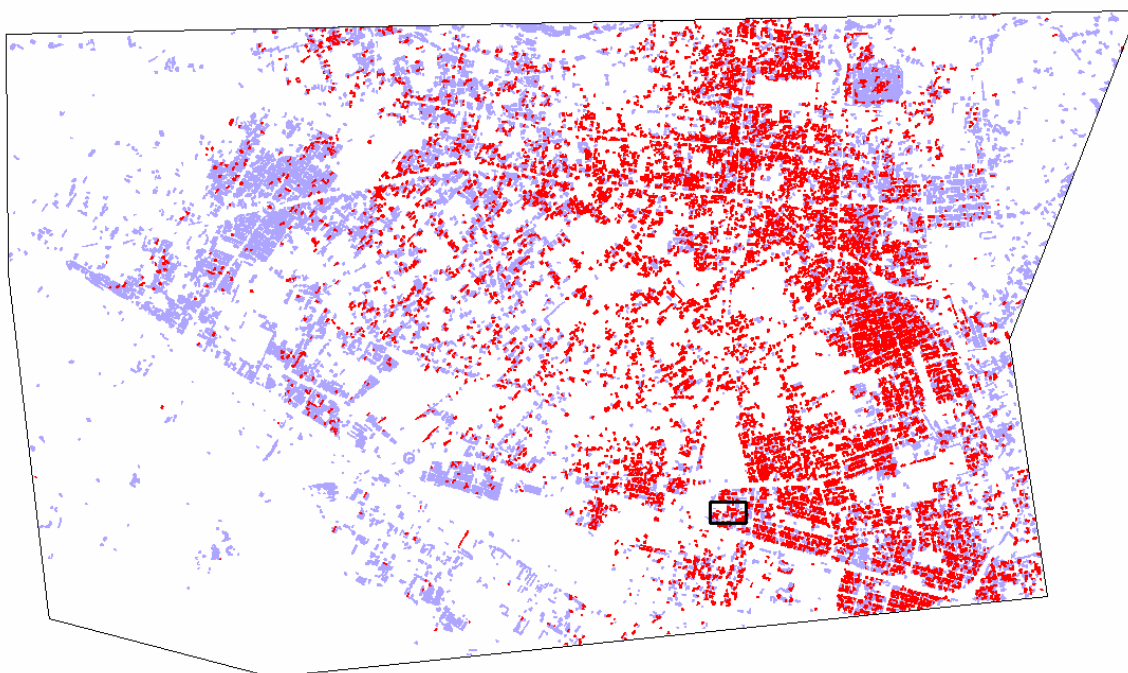


Figura 5 - Mappa del danneggiamento degli edifici. Gli edifici danneggiati sono riportati in rosso. Il riquadro nero in basso rappresenta il set di esempio di Figura 1

Classificazione del danneggiamento						Accuratezza			
	n.ro di samples	Oggetti classificati	%	Edifici Classificati	Conteggio (eq. [1])	Danneggiati	Non danneggiati	Totale	User Accuracy
Danneggiati	174	8,458	40	7,549	6,473 (34.3%)	44	12	56	78.5%
Non danneggiati	206	12,686	60	11,323	12,399 (65.7%)	21	35	56	62.5%
Totale		21,144	100	18,872	18,872	65	47	112	
<i>Producer accuracy</i>						67.4%	74.4%		

Tabella 3 - Risultati della classificazione del danneggiamento e matrice di confusione. Sono riportate le accuratezze ed il conteggio finale ottenuto dall'analisi delle probabilità marginali.

Conclusioni

Questo lavoro presenta un'applicazione dell'analisi ad oggetti per la quantificazione del numero di edifici danneggiati in seguito al terremoto di Bam, identificando 18.872 edifici dei quali 6.473 danneggiati. Nonostante un'analisi comparativa della performance di altri sistemi per l'estrazione di feature sia soggetto di un futuro lavoro, l'analisi teorica qui presentata dimostra l'enorme potenziale di questo approccio per la finalità di pervenire in tempo reale ad una stima del danneggiamento del patrimonio costruito a partire da immagini satellitari.

Ringraziamenti

Questa ricerca è stata condotta grazie al progetto “Marco Polo” dell’Università di Bologna presso ImageCat (California, US), con la sponsorizzazione del Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER), Buffalo.

Bibliografia

- Adams, B.J. (2004), “Improved disaster management through post-earthquake building damage assessment using multi-temporal satellite imagery”, *Proceedings of the ISPRS XXth Congress*, Volume XXXV, Istanbul.
- Bitelli G., Camassi R., Gusella L., Mognol A. (2004), “Image change detection on urban areas: the earthquake case”, *Proceedings of the ISPRS XXth Congress* Volume XXXV, Istanbul
- Chiroiu, L., Andre, G., Guillande, R., and Bahoken, F. (2002), “Earthquake damage assessment using high-resolution satellite imagery”, *Proceedings of the 7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Boston.
- Congalton R G. (1982), “A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54:593–600.
- Czaplewski, L. (1992), “Misclassification bias in areal estimates”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 58:189-192.
- EERI (2005), *World Housing Encyclop.*:http://www.world-housing.net/Report_Selection/Index.asp
- De Kok, R., Schneider, T. and Ammer, U. (1999), “Object based classification and applications in the Alpine forest environment”, *Proceedings of the Joint ISPRS/EARSeL Workshop on Fusion of Sensor Data, Knowledge Sources and Algorithms*, Valladolid, Spain, 1999.
- Definiens Imaging (2004), *eCognition 4.0, User Guide*, Definiens Imaging GmbH, Munchen, Germany
- Eguchi, R., Huyck, C., Adams, B., Mansouri, B., Houshmand, B., and Shinozuka, M (2003), “Resilient disaster response: Using remote Sensing technologies for post-earthquake damage detection”, *MCEER Research and Accomplishments 2001-2003*, MCEER, Buffalo
- Matsuoka, M. and Yamazaki, F. (2000), “Satellite remote sensing of damaged areas due to the 1995 Kobe earthquake”, Toki, K. (ed) *Confronting Urban Earthquakes, Report of Fundamental Research on the Mitigation of Urban Disasters Caused by Near-field Earthquakes*, 259-262
- Mehrain, M., and Naeim, F., (2005), *World Housing Encyclopedia Report: Iran*, www.world-housing.net/Report_Selection/Reports/PDF/Report104_32277.pdf
- RSI (2002), *User’s guide*, ENVI version 3.6, 2nd edition, RSI Inc., CO, USA
- Saito, K., Spence, R.J., Going, C., and Markus, M (2004), “Using high-resolution satellite images for post-earthquake building damage assessment: a study following the 26.1.01 Gujarat earthquake”, *Earthquake Spectra*, 20(1): 145-170.