

ELABORAZIONE DI DATI SAR PER L'ESTRAZIONE DELLE CARATTERISTICHE ANTROPICHE DEL PAESAGGIO

Paolo Gamba, Fabio Dell'Acqua, Giovanna Trianni

Lab. di Comunicazioni Elettriche, Dipartimento di Elettronica, Università di Pavia

Riassunto. *Questo lavoro presenta alcuni esempi dell'elaborazione di dati SAR per l'estrazione di caratteristiche antropiche del paesaggio sulla scorta della mole di algoritmi e metodologie sviluppati presso l'Università di Pavia in questi anni.*

Abstract. *This work presents a few results for the extraction of anthropogenic features from SAR images. It is focused on human settlement characterization and road network detection, and shows pre-operational results for new high resolution sensors, like TerraSAR-X and Cosmo/Skymed.*

Introduzione

Esiste un chiaro interesse all'utilizzo di dati SAR per il monitoraggio di caratteristiche antropiche del paesaggio. I dati radar sono indipendenti dalle condizioni ambientali, ma dipendono dalle caratteristiche strutturali oltre che materiali degli oggetti illuminati e dunque sono buoni candidati per l'estrazione di caratteristiche artificiali del paesaggio. D'altra parte, la ricerca di tali caratteristiche presuppone un'alta risoluzione a terra, alla portata dei sistemi futuri quali TerraSAR-X, Radarsat-2 e Cosmo/SkyMed (Caltagirone *et al.*, 1998). Per questo motivo si stanno intensificando gli sforzi della comunità scientifica internazionale per dotarsi di mezzi adatti per l'elaborazione di questa tipologia di dati. Due delle più interessanti applicazioni di questi strumenti sono l'analisi dei cambiamenti in area urbana mediante SAR (Matsuoka e Yamazaki, 2000) e la realizzazione di mappe di insediamenti informali nelle aree rurali di paesi in via di sviluppo (Dell'Acqua e Gamba, 2006).

Metodologia utilizzata

Il presente lavoro si basa sull'utilizzo delle caratteristiche spaziali degli elementi antropici del paesaggio per ottenerne una rapida individuazione. In particolare, ci si è basati sull'uso delle tessiture derivate dalla matrice di co-occorrenza e calcolate con finestra variabile e collegata alla scala, pure variabile, degli elementi del tessuto urbano. L'uso di queste tessiture permette l'individuazione di diverse tipologie di abitato /residenziale, centro storico, aree industriali) sulla base dei dati radar anche a media risoluzione. Se integrata con l'estrazione della rete stradale mediante una metodologia semi-automatica, che costituisce l'altra parte di questo lavoro, è in grado di produrre tematismi relativi alle aree urbane da dati radar.

L'estrazione delle caratteristiche urbane mediante tessiture si fonda sull'utilizzo delle relazioni spaziali tra pixel vicini modellate mediante il ricorso alle misure di tessitura calcolate a partire dalla matrice delle co-occorrenze (Haralik *et al.*, 1973). Gli elementi della matrice sono costruiti a partire da alcuni parametri fondamentali. In primo luogo, la distanza tra gli elementi dell'immagine originale di cui si vanno a confrontare le co-occorrenze. In secondo luogo, la direzione in cui questa distanza è calcolata. Infine, la dimensione della finestra utilizzata per definire la statistica di cui la matrice è espressione. Di questi parametri, la distanza è utile per distinguere tessiture con lo stesso elemento base ma spaziatura

differenti, mentre la direzione è utile qualora ci siano delle anisotropie nel dato (ad esempio, nel caso di immagini radar di superfici ghiacciate, Barber e LeDrew, 1998). Infine, la dimensione della finestra è normalmente trascurata, purché sia sufficientemente definita la statistica di riferimento.

Nel caso di dati telerilevati a risoluzione non elevata, le tessiture che si osservano sono usualmente compatte, il che riduce le distanze di interesse ad 1 o 2 pixel. Le aree urbane appartengono a questo insieme, in quanto la risoluzione a terra, per i dati SAR satellitari attualmente disponibili, è comparabile con le dimensioni medie degli edifici. Similmente, l'anisotropia delle aree urbane è talmente complessa che, a questa risoluzione, si traduce in una sostanziale omogeneità di comportamento per tutte le direzioni, soprattutto nelle zone interne degli abitati. Di conseguenza, nel caso in esame l'unico parametro realmente importante è proprio quello usualmente trascurato, la dimensione della finestra di calcolo. In effetti, tale dimensione definisce l'area in cui la statistica deve essere costante e di conseguenza è un parametro che cambia in aree urbane dove le tessiture si riferiscono ovviamente a quartieri o zone della città, che hanno dimensioni geografiche diverse.

Seguendo la metodologia proposta in Dell'Acqua e Gamba (2003) per l'utilizzo di tessiture a scala multipla, anche in questo lavoro si provvederà ad utilizzare la cosiddetta *fusione tessiturale multiscale*. L'approccio richiede una classificazione di un sottoinsieme di tessiture particolarmente significative per il problema in oggetto mediante un classificatore supervisionato in grado di accettare in ingresso dati dalle caratteristiche statistiche differenti. Per questo motivo, la scelta effettuata è stata quella per un classificatore neurale, in particolare per una rete ART (Gamba e Dell'Acqua, 2003). La scelta del sottoinsieme più adatto, utilizzando lo stesso insieme di dati di addestramento che poi permettono di addestrare la rete neurale, viene effettuata mediante il calcolo del valore dell'Histogram Distance Index (HDI) (Pesaresi, 2000). Le reti Adaptive Resonance Theory (ART), inizialmente introdotte per risolvere problemi di *pattern recognition*, hanno poi trovato notevole applicazione nel campo dell'analisi di dati telerilevati multidimensionali. Le reti ART mantengono nella loro memoria interna informazioni a proposito dei dati di addestramento, sotto forma di pattern multidimensionali rappresentativi delle classi di ingressi che la rete ha appreso a riconoscere. Ogni memoria è collegata con un valore dell'uscita (una classe nel caso della classificazione) e i dati in ingresso vengono confrontati con le memorie, producendo in uscita la classe che corrisponde alla memoria che meglio approssima il nuovo dato. Il vantaggio dell'uso congiunto di HDI e delle reti ART sta nel fatto che ambedue usano una metodologia simile per definire quali dati di ingresso sono rilevanti per una certa memoria (o una certa classe), il che rende la scelta delle migliori caratteristiche d'ingresso, effettuata mediante HDI, compatibile con una successiva classificazione mediante la rete neurale. Usando HDI dunque si possono scegliere le scale e le tessiture più utili per la successiva estrazione della mappa tematica di interesse, in questo caso dell'area urbana.

Un secondo sottoinsieme dell'ambito urbano in cui le caratteristiche geometriche possono risultare utili per la sua individuazione è la rete stradale. In questo caso, l'elaborazione richiede l'individuazione di oggetti lunghi e connessi in una rete topologicamente significativa. Ovviamente, l'estrazione degli elementi lineari da immagini SAR è stata studiata a lungo, mentre la loro connessione in una rete significativa è stata fino ad ora solo parzialmente analizzata e soprattutto, senza far alcun riferimento agli incroci. In questa seconda parte del lavoro si farà dunque riferimento a questo problema.

Si definisca S_d l'insieme dei segmenti estratti dall'immagine SAR e considerati come possibili elementi della rete stradale, e S'_d l'insieme dei segmenti "inesistenti" che collegano segmenti "reali". L'approccio qui proposto è derivato da Tupin *et al.* (1998), ma con qualche variazione, ad esempio nella scelta della soglia per selezionare, tra tutti i *gap* tra i segmenti estratti, quelli ritenuti significativi per la ricostruzione della rete stradale. La metodologia del succitato lavoro prevede che questi due insiemi di segmenti vengano analizzati e la configurazione che minimizza un funzionale di costo

opportunamente definito venga scelta. Il funzionale dipende dalla connettività della rete ed è definito mediante la modellazione del problema con *Markov Random Fields* (MRF).

L'innovazione maggiore introdotta in questo lavoro è l'aggiunta di due ulteriori insiemi a S_d e S'_d , denominati S_d^T e S_d^L collegati ai possibili incroci a T e a L della rete. L'idea è ovviamente di sfruttare queste informazioni, ipotizzando l'occorrenza di questi incroci e forzando la rete a passarvi nella sua forma finale. In questo modo l'ottimizzazione della rete stradale viene guidata dalla conoscenza a priori legata alla alta probabilità che questa stessa rete contenga incroci di quel tipo. Più precisamente, S_d^T è costruita sulla base delle coppie di segmenti che potenzialmente identificano un incrocio a T, cioè per i quali uno dei segmenti tende ad incrociare l'altro al suo interno, con un angolo all'incirca di 90° . Per ogni incrocio a T potenziale, identificato sulla base di una tolleranza sulla posizione dell'intersezione e sull'angolo di incidenza, viene aggiunto a S_d^T un segmento "trappola" che occupa metà dello spazio che manca a completare l'incrocio stesso (vedi fig. 1(a)). In maniera del tutto analoga si opera per gli incroci a L e per la costruzione dell'insieme S_d^L (vedi fig. 1 (b)).

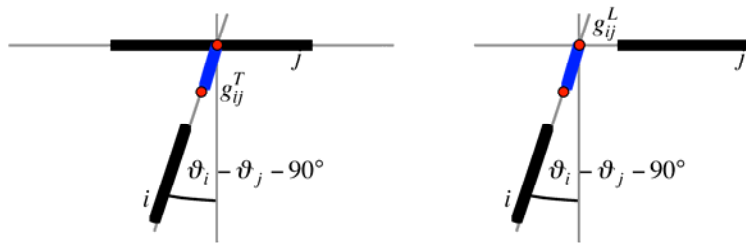


Figura 1: rappresentazione grafica degli incroci potenziali a T (a) e a L (b). Si notino i segmenti "trappola" (in blu), i gap rispetto alla posizione potenziale dell'incrocio e l'angolo di incidenza relativo.

Utilizzando dunque i quattro insiemi di segmenti sopra indicati, il modello MRF prevede che si associ ad ogni segmento un potenziale. Secondo la nomenclatura introdotta in Tupin *et al.* (1998), cui si rimanda per un maggior dettaglio nella trattazione, il tutto si riduce alla minimizzazione del funzionale di energia $U = \sum_S V_i + \sum_{c \in C} V_c$, dove V_i è il potenziale associato al segmento i -esimo, S è l'insieme di

tutti e quattro i gruppi di segmenti discussi più sopra e C è l'insieme delle aggregazioni spaziali di più segmenti che lo contengono, che nella notazione dei MRF si indicano con il termine di *cliques*. Il minimo del funzionale U viene raggiunto attraverso la tecnica Iterated Conditional Mode (ICM, vedi Besag, 1986).

Risultati ottenuti

Per evidenziare la validità delle procedure adottate, vengono qui di seguito riportati diversi esempi, che utilizzano dati SAR sia satellitari che provenienti da sensori aviotrasportati. Il primo sito di test è costituito dalla città di Bam in Iran. Per quest'area sono disponibili, grazie all'Agenzia Spaziale Europea, dati del sensore ASAR, posto a bordo del satellite ENVISAT-1. I dati si riferiscono al 3 dicembre 2003 e all'11 febbraio 2004.

Lo scopo dell'analisi di questa particolare area urbana è collegato al disastroso terremoto che la colpì nel dicembre 2003. La tecnica da noi sviluppata permette la caratterizzazione della copertura e dell'uso del suolo in maniera rapida, ottenendo delle mappe simili a quelle realizzate manualmente a partire da dati ottici a risoluzione molto maggiore, anch'essi disponibili in quel frangente. Le mappe proposte contengono un tematismo con 5 classi, cioè vegetazione (verde scuro), urbano vegetato (verde chiaro) urbano residenziale (giallo) urbano denso (rosso) e deserto (bianco). La figura 2 riporta a sinistra la mappa ottenuta mediante classificazione pixel a pixel utilizzando le misure di tessitura sopra ricordate,

mentre a destra la mappa è ottenuta integrando informazioni vettoriali che definiscono le aree dei diversi quartieri.

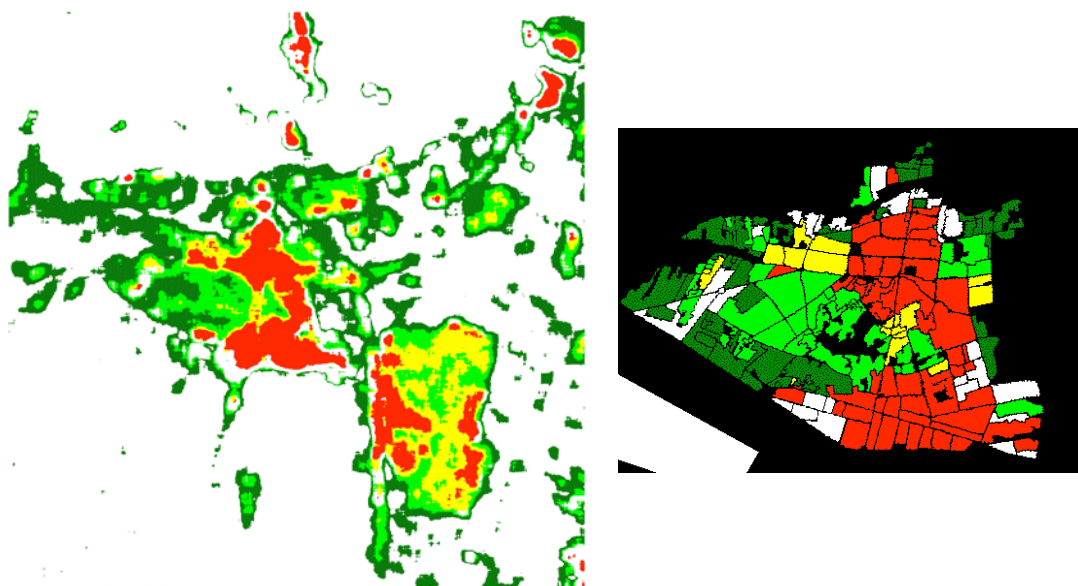


Figura 2: caratterizzazione delle aree di uso del suolo dell'insediamento di Bam, Iran, a sinistra mediante classificazione pixel per pixel, a destra mediante integrazione con dati vettoriali.

Come si nota, la qualità della mappa sulla destra è molto migliore di quella sulla sinistra, anche se la struttura di base dell'area urbana di Bam (e di quella di Bavarat, un po' più ad Est) si può estrapolare anche dalla prima. Il risultato prova che la metodologia proposta funziona, ma che risultati con qualità (sia visiva che quantitativamente definita) paragonabile a quella di dati ottici a risoluzione molto più alta sono pure ottenibili a partire da dati SAR satellitari, ma solo attraverso l'uso di dati vettoriali della stessa area (peraltro spesso già disponibili per aree urbane, o comunque facilmente recuperabili).

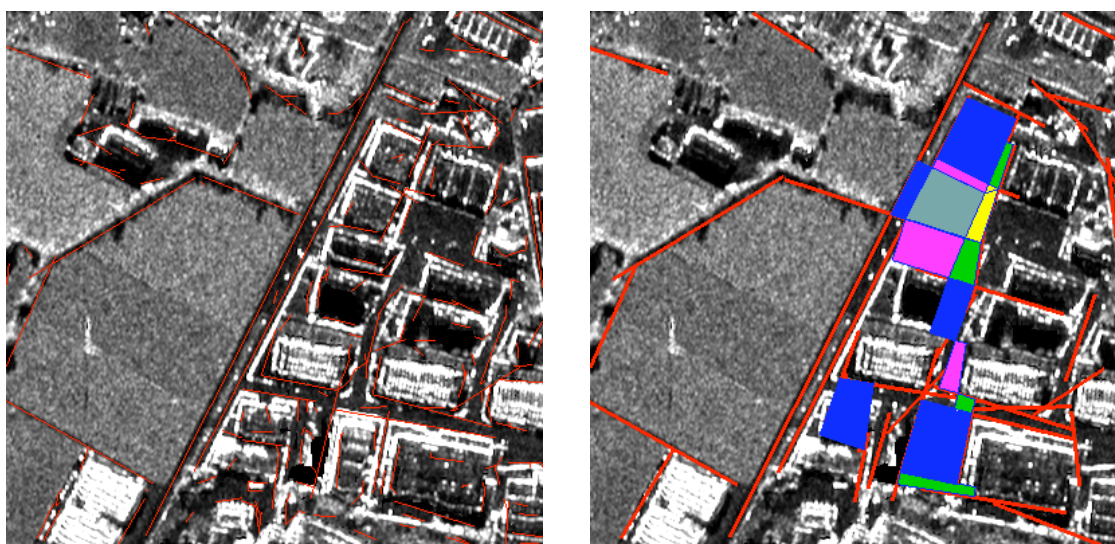


Figura 3: elaborazione dei dati SAR ad alta risoluzione della zona di Settimo Milanese (TO): a sinistra i segmenti estratti, a destra la rete stradale ricostruita, assieme ad alcuni edifici riconosciuti.

Il secondo esempio riportato in questo lavoro si riferisce ad una piccola parte della città di Settimo Torinese, analizzata a partire dai dati forniti dalla ditta Intermap Technologies a seguito delle

rilevazioni effettuate in occasione della preparazione del sistema informativo territoriale delle Olimpiadi invernali del febbraio 2006. I dati originali hanno risoluzione a terra di 1.25 m e sono stati forniti già geocodificati.

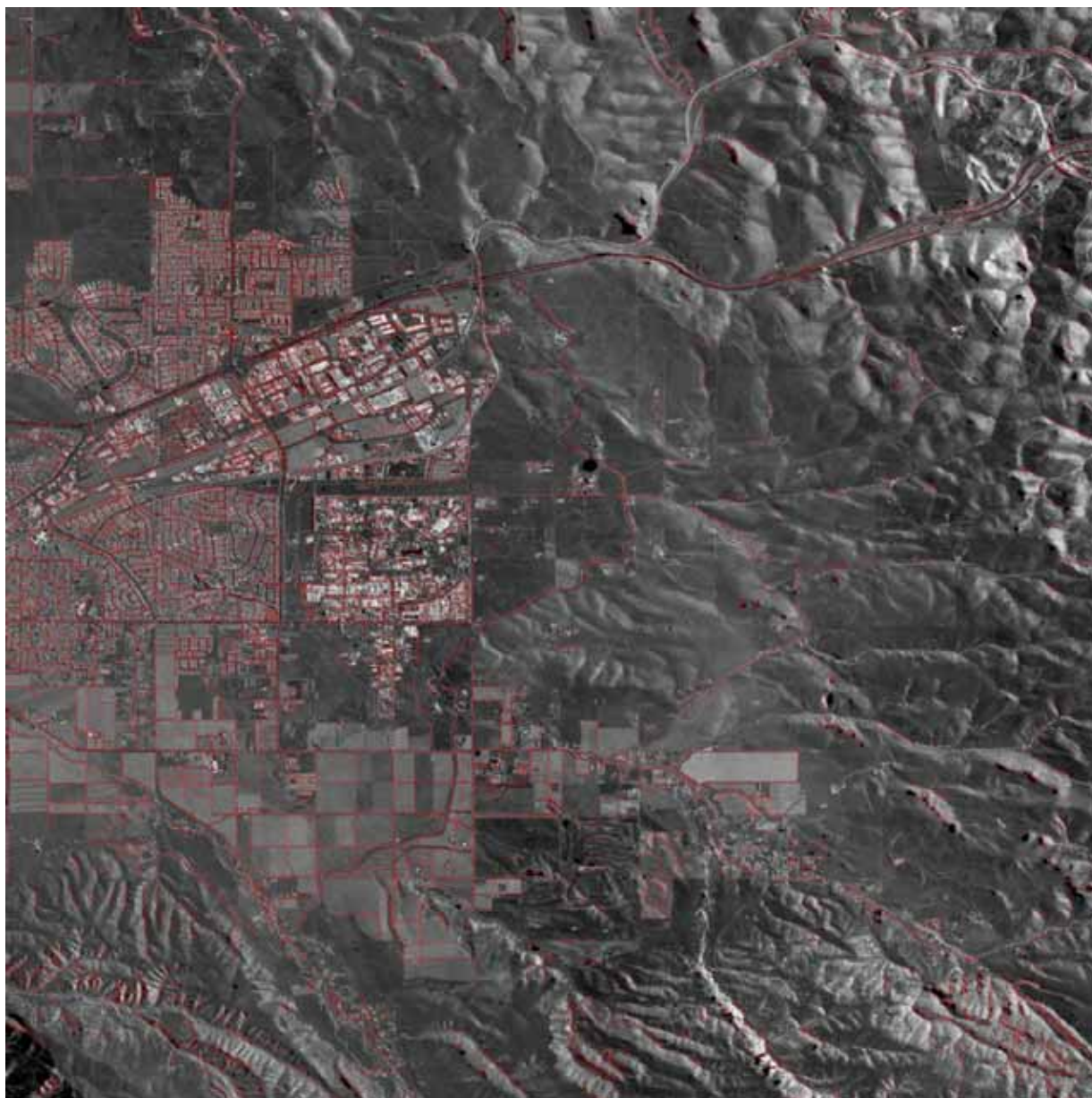


Figura 4: risultato dell'estrazione della rete stradale nella zona di Livermore (CA).

Figura 3 riporta in rosso, sovrapposte al dato originale, i segmenti estratti mediante la procedura proposta recentemente in Gamba *et al.* (2006). Si nota che molte delle strade presenti nell'immagine sono state correttamente recuperate, ma che mancano delle connessioni ovvie. Alcune di queste sono state invece completate nell'immagine a destra. In più, utilizzando una tecnica di riconoscimento delle forme, sono state avanzate delle ipotesi (colorate in figura) su poligoni regolari che potrebbero corrispondere (e di fatto corrispondono) ad oggetti significativi, quali edifici. È ovvio che il risultato non sia ottimale, ma tenendo conto che è stato ottenuto in maniera del tutto automatica, risulta comunque di notevole interesse.

Infine, figura 4 riporta i risultati di estrazione della rete stradale in un'area decisamente più ampia di quelle fin qui considerate, provando la robustezza dell'algoritmo anche in questo caso. I dati sono stati forniti anche in questo caso dalla Intermap Technologies, ma si riferiscono alla parte orientale della cittadina di Livermore, in California. La risoluzione a terra è ancora di 1.25 m e i dati sono stati forniti già geocodificati. È abbastanza evidente come il risultato si presenti ricco di dettagli. Al momento non è disponibile una verità a terra dettagliata, ma si prevede un confronto con l'estrazione manuale prodotta dalla stessa ditta fornitrice dei dati.

Conclusioni

Lo scopo di questo lavoro era di fornire alcuni esempi di elaborazione di dati SAR per l'estrazione di caratteristiche antropiche del paesaggio. In questo senso ci si è concentrati sulla determinazione delle aree in cui si presentano insediamenti urbani, nonché sull'estrazione della rete di collegamenti stradali che costellano il territorio all'interno ed all'esterno di queste aree.

I risultati forniti mostrano che al momento sono disponibili degli strumenti software che riescono a fornire un'interpretazione automatica dei dati SAR a livello pre-operativo. I lavori futuri potrebbero portare allo sviluppo di prodotti adatti per l'operatività. Ciò, assieme al lancio di sistemi satellitari SAR ad alta risoluzione come TerraSAR-X, Radarsat-2 e sperabilmente Cosmo/Skymed, aprirebbe a nuove possibilità il campo decisamente interessante dell'utilizzo dei dati radar per la cartografia, non solo 3D.

Bibliografia

- Caltagirone F., Manoni G., Spera P., Vigliotti R. (1998), "SkyMed/COSMO mission overview," in Atti di IGARSS 1998, 610–621.
- D.G. Barber and E.F. LeDrew, "SAR sea ice discrimination using texture statistics: a multivariate approach," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, No. 4, pp. 385-395.
- F. Dell'Acqua, P. Gamba, "Discriminating urban environments using multi-scale texture and multiple SAR images", Proc. of the *Workshop on Advances in Techniques for Analysis of Remotely Sensed Data*, CD-ROM, Greenbelt (MD), Oct. 2003.
- Dell'Acqua F., Gamba P. (2006), "Remote sensing of human settlements for water management in Africa", Rapporto interno dell'Univ. di Pavia.
- P. Gamba, F. Dell'Acqua: "Improved multiband urban classification using a neuro-fuzzy classifier," *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 24, n. 4, pp. 827-834, 2003.
- R.M. Haralick, K. Shanmugam, and I. Dinstein, "Texture features for image classification," *IEEE Trans. on Syst. Man Cybern.*, Vol. 3, pp. 610-621, Nov. 1973.
- Matsuoka M., Yamazaki F. (2000), "Use of interferometric satellite SAR for earthquake damage detection," in Atti della 6° Conf. Seismic Zonation.
- M. Negri, P. Gamba "Feature Fusion for Road Extraction in SAR Scenes", Proc. of IGARSS'06, 30 July – 4 August 2006, Denver, CO,
- M. Pesaresi, "The remotely sensed city," Final report of the post-doctoral fellowship at the JRC Ispra, Italy, March 2000.
- F. Tupin, H. Maitre, J-F. Mangin, J-M Nicolas, and E. Pechersky, "Detection of linear features in SAR images: application to road network extraction," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 36, no. 2, pp. 434-453, March 1998.
- J. Besag, "On the statistical analysis of dirty pictures," *J. R. Stat. Soc., B*, vol. 48, no. 3, pp. 259–302, 1986.