

# TELERILEVAMENTO E IDENTIFICAZIONE DI BROWNFIELDS PER UNA LORO ANALISI MEDIANTE GIS

Catia ATTURO<sup>(\*)</sup>, Carmine CIANFRONE<sup>(\*\*)</sup>, Vincenzo FERRARA<sup>(\*\*\*)</sup>,  
Lorenza FIUMI<sup>(\*)</sup>, Giuliano FONTINOVO<sup>(\*)</sup> e Cesare M. OTTAVI<sup>(\*\*\*\*)</sup>

<sup>(\*)</sup> LARA, IIA CNR, via Monte d'Oro, 11 Pomezia - Roma

tel. 06/9100312-3-4-5, fax 06/91601614 e-mail: l.fiumi@lara.rm.cnr.it

<sup>(\*\*)</sup> via A. Strabella 35 - Roma, tel: 392/6250610, e-mail: cianfrone@fastwebnet.it

<sup>(\*\*\*)</sup> Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Università "La Sapienza", via Eudossiana 18 - Roma,  
tel: 06/44585833, fax: 06/4742647, e-mail: Vincenzo.Ferrara@uniroma1.it

<sup>(\*\*\*\*)</sup> Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Università "La Sapienza", via Eudossiana 18 - Roma,  
tel: 06/44585834, fax: 06/4742647, e-mail: ottavi@die.uniroma1.it.

## Riassunto

L'articolo esamina tecniche di telerilevamento per l'integrazione in un GIS di dati finalizzati a monitorare le aree oggetto di un degrado: brownfields, generati normalmente dalla demolizione di strutture edificate. La permanenza nelle aree di materiale da discarica, o dal semplice abbandono di edifici non a norma, costituisce una riduzione della qualità della vita per gli abitanti dell'area interessata dal fenomeno. Crescono soprattutto i rischi indotti, legati ai materiali di cui si compone l'area degradata. Avvalendosi di rilevamenti iperspettrali MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*), realizzati nell'ambito del LARA (Laboratorio Aereo Ricerche Ambientali) del CNR, che permettono una dettagliata classificazione territoriale è possibile identificare la natura dei brownfields. L'utilizzazione inoltre degli strumenti di calcolo GIS, che realizzano più livelli di correlazione fra i dati, permettono di quantificarne le dimensioni e quant'altro e di elaborare indicatori da utilizzare in una politica di sostenibilità e sviluppo comunale.

## Abstract

This paper examines remote sensing detection techniques for data integration in GIS aimed at monitoring Brownfields normally generated by building demolition. The resulted wastes reduce life quality of those who live in the neighbouring area. In particular, hazard increases when dangerous materials are used. The Laboratory of CNR (LARA.) detects environmental data by means of the airborne MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*) sensor in order to allow us a detailed classification of the territory and the identification of the Brownfields. Moreover, GIS tools correlate and fuse many data in such a way to evaluate extension and derivative parameters of the same Brownfields and to elaborate indicators that can be used within the framework of a sustainable planning and development.

## Introduzione all'individuazione dei brownfiels

Si definiscono brownfields quelle aree in passato antropizzate ed attualmente abbandonate o sotto-utilizzate. Tali aree, oltre all'inevitabile vuoto architettonico creato, con conseguente impatto sulle matrici ambientali e insediamenti circostanti, sono potenziale o reale fonte di inquinamento, in funzione dello stato di degrado delle strutture prese in esame. I brownfields, soprattutto quando dotati di tutte le opere di urbanizzazione: elettricità, acqua, gas, rete fognaria ecc., ed ubicati in prossimità di linee di collegamento, possono essere riqualificati in modo vantaggioso, sia sotto l'aspetto economico che ambientale, grazie alla minor richiesta di occupazione del suolo.

Le tecniche di classificazione mediante *remote sensing* possono permettere l'individuazione di zone potenzialmente a rischio. L'individuazione dei materiali posti a copertura di edifici e la presenza di sostanze intrinsecamente nocive in aree sia urbane che rurali, costituisce il primo e più significativo passo per la valutazione del grado di rischio presente in una zona sotto indagine. In realtà il rilevamento di tali sostanze è da considerare in prima istanza solo potenzialmente rischioso. Lo stato, il trattamento che può aver subito una struttura, potrebbero ridurre l'entità del livello di rischio ad esso associato. Il controllo in situ si rivela spesso decisivo per discernere fra le varie situazioni e fornire la stima più corretta del grado di pericolosità. Ciò non di meno tutte le tecniche, che possono limitare una campagna di controllo diretto, sono opportune perché riducono l'impegno di considerevoli risorse umane e finanziarie, ma devono garantire un grado di affidabilità della risposta consono al livello di pericolosità da esso individuabile.

Alla fase di rilevazione specifica delle sostanze e dei materiali andrebbe in realtà fatta seguire una tecnica di verifica incrociata, una correlazione fra differenti parametri territoriali o fra indicatori. E' evidente che una sostanza aumenta il suo grado di pericolosità quanto più essa è vicina a altri elementi o strutture che ne esaltano le caratteristiche diffuse, esplosive, ecc.. Così sostanze solubili rilevate in zone prossime a sorgenti, torrenti o a semplici canali, potenzialmente sede di fenomeni torrentizi, non possono essere trattate alla stessa stregua di medesime sostanze lontane da qualsiasi elemento che ne esalterebbe la diffusione.

L'informazione prioritaria, caratterizzante tematiche *brownfields*, è relativa allo stato di abbandono di aree territoriali. L'aggravante costituita dalla presenza nella stessa zona di sostanze nocive dovrebbe semmai fornire un indicatore specifico, che stabilisca su una scala appropriata il relativo livello della priorità di intervento. In ambito urbano il riconoscimento e l'individuazione dello stato di degrado sono di facile attuazione da parte delle autorità predisposte al monitoraggio ambientale. Sia per l'accessibilità dei luoghi, sia per le più che probabili rimostranze della popolazione che abita a ridosso delle stesse. In tali aree le tecniche automatizzate o semi-automatizzate possono semmai aiutare nell'identificazione delle zone a rischio. Mentre le stesse tecniche possono risultare significativamente vantaggiose per le aree meno frequentate o meno accessibili, con degni di recente manifestazione e spesso in rapida evoluzione.

Il rilevamento iperspettrale, già finalizzato al monitoraggio e alla qualificazione territoriale, fornisce i dati essenziali, di base, con cui sostanzialmente realizzare un'ulteriore classificazione territoriale. Poter cioè associare all'area individuata dal pixel, già classificato per il tipo di materiale di cui è principalmente costituito, anche un'etichetta di area brownfield. Il riconoscimento come tale rende auspicabili tutta una serie di operazioni successive e derivate: valutazione dell'estensione, stima dell'eventuale pericolosità secondo le specifiche precedentemente introdotte, valutazioni di prossimità e quanto altro. Operazioni da realizzare con un appropriato GIS. Le suddette tecniche automatizzate o semi-automatizzate agiscono quali post-elaborazione di immagini derivanti da una rilevazione aerea (nello specifico di tipo iperspettrale). Immagini correlate eventualmente con altre di origine diversa, georiferite come le prime, che insistono sulla stessa zona, ma che hanno eventualmente una risoluzione più pronunciata. Ciò consentirebbe un riconoscimento con più dettagli e minor incertezza delle geometrie.

### **Brownfields: tecniche iperspettrali di classificazione**

Il progetto LARA si propone di creare un'attività di supporto alla ricerca avanzata nel settore di misure da piattaforma aerea. A tal fine acquisisce e mette a disposizione della comunità il dato da sensore MIVIS che opera con un'elevata risoluzione geometrica e spettrale, registrando simultaneamente 102 canali nell'intervallo di lunghezza d'onda compreso tra 0.43 e 12.7 micron, permettendo così lo studio dei parametri chimico-fisici della superficie terrestre con elevato potere operativo. Le operazioni di conversione dei dati a terra sono svolte dalla stazione MIDAS (*Multispectral Interactive Data Processing and Analysis System*) che è in grado di restituire dati radiometricamente corretti. L'elaborazione e la classificazione del dato iperspettrale è volta a

caratterizzare una molteplicità di tematismi di interesse generale come edificati urbani, pavimentazioni stradali, terreni adibiti a coltivazione, suoli nudi, distribuzione della vegetazione e dismesse per una loro futura riqualificazione. La discriminazione delle acque e come suddetto caso,

spettrometro	regione dello spettro	numero bande	intervallo spettrale ( $\mu\text{m}$ )	ampiezza bande ( $\mu\text{m}$ )
I	visibile	20	0.43-0.83	0.02
II	infrarosso vicino	8	1.15-1.55	0.05
III	infrarosso medio	64	2.0-2.5	0.009
IV	infrarosso termico	10	8.2-12.7	0.34-0.54

Tabella 1 – Caratteristiche dei sensori MIVIS

l'individuazione di aspetti inerenti a zone in stato di abbandono o aree di interesse si basa sul concetto di *firma spettrale*: tutti gli oggetti, naturali ed artificiali, hanno emissività diverse nelle varie bande ottiche utilizzate e diversi valori di *backscattering* quando illuminati da onde radio di diversa frequenza. In virtù di ciò i moderni sistemi di telerilevamento vengono realizzati tenendo conto della volontà di effettuare misure potendo variare i parametri osservativi: l'oggetto è osservato con diversi sensori, modificando la frequenza, la polarizzazione e l'angolo di vista delle riprese. Seguirà poi una opportuna fusione di tali dati iperspettrali, permettendo così di estrarre informazioni altrimenti non visibili su dati presi da singola misura. Finita l'acquisizione del dato grezzo si procede con una sua pre-elaborazione. In questa fase si cerca di ridurre le strisce, causate da problemi di allineamento dei diversi sensori operanti, si alterano o esaltano i contrasti ove opportuno, si compensano gli effetti di attenuazione che subiscono le alte frequenze, per poi eseguire trasformazioni geometriche e di coordinate. Infine vengono eseguite delle correzioni atmosferiche: l'energia retro-diffusa dall'atmosfera verso il sensore può essere di notevole entità, e radiometriche IRC (*Internal Radiometric Calibration*). I dati, radiometricamente corretti, sono classificati con la tecnica di classificazione *supervised* chiamata *Spectral Angle Mapper* (SAM). La SAM permette una rapida mappatura delle similarità di spettri di immagine con spettri di riferimento (Boardman, 1994). Gli spettri di riferimento possono essere determinati in laboratorio o in campo ovvero estraendoli dall'immagine stessa, (fig. 1). L'algoritmo determina la similarità spettrale tra i due spettri attraverso il calcolo dell'angolo che essi formano, trattando dunque gli stessi come vettori in uno spazio con dimensionalità uguale al numero delle bande. L'Algoritmo SAM implementato nel software ENVI richiede come input un numero di aree di prova (*training areas*) o spettri di riferimento, derivanti da specifiche Regioni di Interesse (Region of Interest, ROI) o banche dati spettrali. Nel caso in esame le ROIs sono state individuate nella scena, integrata da una serie di accurate osservazioni sui luoghi e l'analisi visiva di sintesi additive in RGB (*Red, Green, Blue*). Nella costruzione di un GIS basato su dato MIVIS, la schematizzazione del territorio avviene adottando due differenti approcci: il vettoriale ed il *raster*. Nel *raster* la locazione dell'oggetto è identificata dalle coordinate (riga, colonna) della matrice di pixel costituente l'immagine. Nel modello vettoriale l'immagine è descritta tramite gli elementi propri della cartografia numerica attraverso punti, linee, segmenti, aree, poligoni ecc. Classificata l'immagine con metodi spettrali *supervised* e/o *unsupervised* in categorie significative, essa diventa una vera e propria mappa tematica. L'integrazione dei dati iperspettrali nel GIS (*Geographic Information System*), costituisce una delle più potenti applicazioni della fusione dei dati. Le riprese relative alle caratteristiche morfologiche e chimico fisiche del territorio osservato, possono essere sovrapposte con precisione alle carte geografiche in modo da permettere una analisi approfondita delle interazioni in atto e future dell'area studiata. Ricordiamo che tale processo di integrazione dei dati iperspettrali, nei sistemi informativi territoriali, è sempre stato problematico rispetto ad un comune

senso per il telerilevamento a causa della natura stessa del dato usato: c'è sempre un fattore di perdita, più o meno contenuto, di quantità informative rispetto al dato grezzo originale.

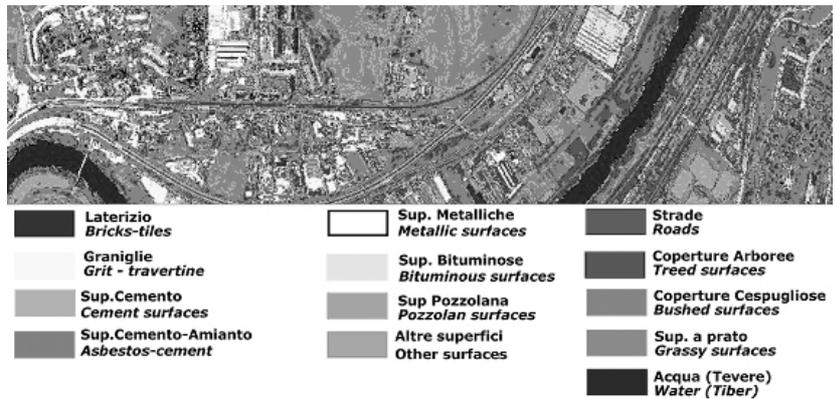


Figura 1 – Esempio di classificazione di brownfiels, attraverso la tecnica di classificazione SAM

### Procedure di individuazione: tecniche di filtraggio e convoluzione

Edifici demoliti o in abbandono e aree di discarica manifestano, nella maggioranza dei casi di rilevamento satellitare o da aereo, irregolarità dei bordi delimitanti la struttura e disomogeneità delle superfici di copertura. La tecnica di riconoscimento di tali strutture dovrà perciò stimare la regolarità in generale di linee e superfici e dovrà in ogni caso essere ottimizzata in termini di tempi di calcolo, risorse e grado di affidabilità della risposta.

Ovviamente si potrebbe fare ricorso a campagne di rilevamento orientate alla ricostruzione tridimensionale che faciliterebbero il riconoscimento delle strutture degradate. Tali campagne sono rivolte sia alla costruzione di DEM (*Digital Elevation Model*) del suolo terrestre che alla ricostruzione 3D di aree a forte urbanizzazione. Per quanto concerne le prime, si usano normalmente sistemi di rilevamento satellitare e le tecniche algoritmiche stanno riducendo progressivamente i costi di produzione di tali immagini, ottenendo per esempio con AsterDTM (Gatti, 2005) una risoluzione pixel di 15 m, errori medi sulla quota di 5 m e costi finali di immagine dell'ordine di qualche centinaia di euro. Per le seconde è richiesta una maggior precisione sul valore dell'elevazione e le campagne aeree sono essenzialmente mirate ad aree urbanizzate. Così nel caso dei brownfiels si adottano tecniche alternative, poiché la ricostruzione fedele in tre dimensioni delle strutture antropiche non è lo scopo primario. Si è accennato precedentemente alla possibilità di utilizzare oltre ai dati iperspettrali anche immagini a maggior risoluzione spaziale, eventualmente nel visibile. Ovviamente un'immagine rilevata nel visibile fornisce come base dati informazioni sensibili alle geometrie, alle angolazioni delle varie sfaccettature di cui eventualmente si compone la superficie di copertura. E' proprio la regolarità delle linee e delle aree che discrimina fra una struttura in buono stato di conservazione e una ad alto livello di abbandono.

La procedura individuata si dipana su due livelli paralleli: uno è preposto all'esaltazione dei contorni di strutture, l'altro nella valutazione di indicatori del grado di omogeneità della superficie. Per quanto riguarda i contorni, si è fatto ricorso a classiche tecniche di filtraggio utilizzando *kernel*, per esempio quelli introdotti da Sobel e Prewitt (e procedure multi stadio da esse derivate, per es. Canny (Canny 1986, Parker 1997)), che operano sulla mappa di pixels rappresentativa di un'immagine codificata in livelli di gradazione di grigio. Tipicamente vengono distinti due *kernel* base di Sobel [1] di cui uno è la rotazione dell'altro di 90 gradi e che, quando applicati, esaltano i gradienti del livello di grigio nelle due direzioni principali: da sinistra/destra a destra/sinistra ( $S_x$ ) e dal basso/alto verso l'alto/basso ( $S_y$ ).

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \quad S_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & +1 \end{bmatrix} \quad [1]$$

L'applicazione di un'operazione di convoluzione tra la matrice dell'immagine I e i *kernel* fornisce i valori delle due matrici Gx e Gy [2] (Gonzales, Woods, 1992). Di norma è poi valutata una matrice G di grandezze assolute e definite dalla relazione [3] o in forma approssimata dalla [4] che individua i bordi ricercati.

$$Gx_{m,n} = \sum_{k=1}^3 \sum_{p=1}^3 I_{m+k-2,n+p-2} Sx_{k,p} \quad ; \quad Gy_{m,n} = \sum_{k=1}^3 \sum_{p=1}^3 I_{m+k-2,n+p-2} Sy_{k,p} \quad [2]$$

$$|G| = \sqrt{Gx^2 + Gy^2} \quad [3]$$

$$|G| = |Gx| + |Gy| \quad [4]$$

Per ottenere dei risultati significativamente utili all'individuazione degli stessi bordi e alla delimitazione delle aree, la convoluzione è preceduta da un filtraggio a "soglia di intensità" fissa o adattata. La procedura parte dalla classificazione iperspettrale: le mappe relative permettono di individuare le aree interessate da materiale di natura edilizia con eventuali sostanze potenzialmente pericolose. Queste aree vengono georeferenziate e sovrapposte virtualmente a quella della mappa nel visibile, possibilmente a maggior risoluzione, convertita in ogni caso in immagine a gradazioni di grigio. La diversa risoluzione fra le due mappe determinerà una corrispondenza non biunivoca, in genere un pixel (mappa iperspettrale) → più pixel (mappa a livelli di grigio). In ogni area selezionata viene valutata la statistica dei livelli di grigio. I relativi pixel sono aggregati in gruppi a intensità prossime fra loro. Ogni gruppo dà origine a una soglia attraverso la determinazione del valore mediano della distribuzione delle intensità dei pixel e la individuazione di una deviazione standard che può essere predefinita anche manualmente. Il filtraggio è così un'evoluzione di quella a soglia adattata, più mirato allo scopo principale dell'indagine. L'operazione di convoluzione con i *kernel* prescelti evidenzia i bordi di confine fra pixel di diverse intensità. Nel caso di strutture regolari tali bordi dovrebbero dare origine a curve chiuse. Nella pratica, non sempre i contorni sono continui e possono manifestarsi delle locali interruzioni. Il loro numero a fronte della sequenzialità spaziale individua un indicatore di degrado della struttura o l'assenza di opere murarie di cinta. L'ausilio delle mappe tematiche di derivazione iperspettrale consente di ridurre tali interruzioni: eventuali risposte equivalenti nel visibile sono discriminate dalla differente qualificazione registrata. Per esempio coperture di edifici sono distinte da aree occupate da asfalto, prato, ecc. che per effetto del colore e della luminosità manifestano la stessa intensità di livello di grigio. La vettorializzazione della sequenza di confine offre vantaggi computazionali nelle successive operazioni di controllo di appartenenza all'area di pixel specifici. Comunque tale trasformazione può risultare onerosa e le operazioni suddette possono essere sostituite da equivalenti su base *raster*. Insieme a questa tecnica di rilevazione dei bordi è valutata la disomogeneità dei livelli nell'area e dell'eventuale non uniformità della distribuzione spaziale di materiali di derivazione edilizia come cemento, materiale di ricopertura, ecc. Quest'ultima prassi è evidentemente la più redditizia nel caso di controllo di discariche all'aperto. L'analisi delle non uniformità può partire direttamente dall'elaborato del filtraggio a soglia sopra descritto o valutare l'istogramma delle intensità riguardante le parti di interesse dell'immagine originaria nel visibile. Ci si avvale in particolare di operatori atti a determinare le frequenze delle variazioni nell'area. L'applicazione di una FFT (*Fast Fourier Transformer*) fornisce il risultato voluto, con l'inconveniente però di trasformare il dominio della rappresentazione perdendo l'informazione della posizione spaziale originaria (Haykin, 1996). Una trasformazione Wavelet (Chui, 1992)(Daubechies et al.,1993) consente di ottenere una risposta che è anche localizzabile e può essere in genere applicata su un'area più estesa. La figura 2 mostra la sequenza di costruzione dei bordi di strutture edificate. All'immagine con livelli di gradazione di grigio viene operato un filtraggio a soglie.

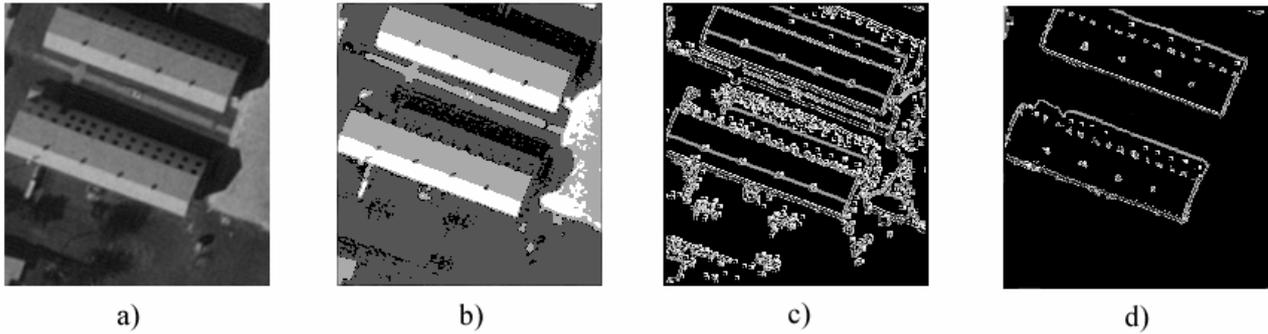


Figura 2 – Sequenza di costruzione dei bordi di strutture: a) Immagine a livelli di gradazione di grigio di un isolato urbano; b) dopo il filtraggio a soglie; c) applicazione della convoluzione con kernel di Sobel; d) ricostruzione di tratti interrotti e eventuale eliminazione di lati interni.

La scelta delle soglie è a carattere locale, legata ai soli materiali di interesse. Nel caso dell'esempio, la corrispondenza "materiale di copertura-intensità luminosa nel visibile" ha individuato tre soglie che generano la figura 2 b). L'operazione di convoluzione con kernel di Sobel produce sequenze di contorni, in parte interrotti e comunque identificativi anche di oggetti di non interesse. La correlazione con i dati di qualificazione consente di isolare i soli bordi di interesse, per ricostruire i tratti interrotti e eventualmente di eliminare i lati interni.

### Conclusioni

I risultati ottenuti in questo studio lasciano presagire ottime potenzialità dei dati telerilevati e GIS per il monitoraggio di aree brownfields. In particolare, l'utilizzo di dati iperspettrali MIVIS ha evidenziato la reale possibilità di caratterizzare attraverso tecniche di classificazione la natura dei brownfields. Inoltre, attraverso l'integrazione dei dati iperspettrali elaborati nel GIS si evidenzia l'enorme potenzialità di questi sistemi nell'integrare e correlare dati provenienti da fonti diverse da utilizzare in una politica di sostenibilità e sviluppo comunale.

### Bibliografia

- Ben-Dor E., Kruse F. A., Lefkoff A. B., Banin A., (1994), "Coparision of three calibration techniques for utilization of GER 63 channel aircraft scanner data of Makhtesh Raamon Negev, Israel", *PE&RS*, vol 60, No. 11, pp.1339-1354.
- Boardman J.W., Kruse F.A. (1994), "Automed spectral analysis: a geologiactal axample using AVIRIS data, North Grapevine Mountains, Nevada", *Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, San Antonio Texas USA*, I:407-418.
- Canny J. (1986), "A computational Approach to Edge Detection", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6): 679-698
- Chui C.K. (1992), *Wavelets: a tutorial in theory and applications*, Academic Press.
- Daubechies I., Cohen A., Jawerth B., Vial P. (1993), "Multiresolution analysis, wavelets and fast wavelet transform on an interval," *CRAS, Paris, Ser. A*, t. 316, 417-421.
- Gatti M. (2005), "Stereoscopia ottica ASTER ed interferometria differenziale SAR a confronto", *GEOmedia, GEO4all*, 1:6-13
- Gonzales R., Woods R. (1992), *Digital Image Processing*, Addison Wesley Publishing Company
- Haykin S. (1996), *Adaptive Filter Theory*, Prentice-Hall, Inc.
- Parker J. R. (1997), *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, John Wiley & Sons Inc., New York, 23-29