

LORENZA FIUMI *

LE POTENZIALITÀ DEL TELERILEVAMENTO AEREO CON DATO MIVIS PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE DELLE AREE ANTROPIZZATE

Sommario

La presente relazione intende illustrare ed evidenziare gli aspetti più significativi connessi alla introduzione di nuovi strumenti offerti dal telerilevamento aereo per lo studio delle aree urbane. Il lavoro nasce nell'ambito di un progetto di ricerca originale avviato recentemente, volto ad esplorare le potenzialità del telerilevamento da aereo attraverso l'utilizzo e l'elaborazione dei dati iperspettrali MIVIS (*Multispectral Infrared Visible Imaging Spectrometer*) in aree urbane, riprese ad una quota di 2000 metri, con risoluzione al suolo del pixel di 4m x 4m.

Attraverso l'analisi delle risposte spettrali, nel visibile e nell'infrarosso vicino, medio e termico dei dati ripresi su alcune città italiane, sono state messe a punto metodologie di trattamento di immagini che permettono di caratterizzare, classificare e quantificare elementi e materiali urbani.

Le metodologie sviluppate che, oltre a riconoscere l'edificato con massima accuratezza, caratterizzano materiali come laterizi, lastricati rivestiti in graniglie, marmette, mattonati, travertino, rame, piombo: Una particolare attenzione è stata dedicata alla discriminazione delle superfici in amianto-cemento (eternit), attualmente normate dalla L. 257 del 1992.

* CNR-Istituto Inquinamento Atmosferico, Sez. L.A.R.A..

Nel corso degli ultimi decenni, le città sono passate da piccoli centri isolati a grandi entità. Si sono intensificati una serie di complessi e preoccupanti problemi ambientali quali l'espansione urbana disordinata, la perdita della vegetazione naturale, la diminuzione degli spazi aperti, il cambiamento climatico, ecc. (ACEVEDO *et alii*, 1996). Riconoscere la complessità della realtà urbana ha suggerito l'esplorazione di nuovi metodi d'indagine e indirizzato un crescente interesse verso un lavoro pluridisciplinare.

Ultimamente, i dati provenienti da telerilevamento hanno illustrato la velocità di questi cambiamenti indotti dall'uomo. Benché esistano attualmente varie limitazioni all'uso del telerilevamento ai fini territoriali ed ambientali, tale tecnica non rappresenta semplicemente un contributo aggiuntivo rispetto a metodologie di indagine in sito di per sé esaustive, ma si inserisce nello scenario della pianificazione come un nuovo strumento che permette la comprensione di fenomeni altrimenti investigabili solo in parte (GOMARASCA, 1997).

Il CNR, fin dal 1991, ha deciso di dedicare particolare attenzione al problema del telerilevamento segnatamente al monitoraggio ed al controllo del territorio ad agli aspetti ambientali ad esso connessi dando il via al Progetto LARA (Laboratorio Aereo Ricerche Ambientali). Il Progetto LARA è finalizzato all'acquisizione di dati telerilevati da piattaforma aerea, con un *importante sistema iperspettrale denominato MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer)*. Il MIVIS, capostipite di una nuova generazione di apparati sensoriali iperspettrali, è uno strumento modulare costituito da 4 spettrometri. Le specifiche del sensore sono state definite in maniera tale da essere finalizzate allo studio della superficie terrestre; esso non solo registra 72 bande nel Vicino e Medio Infrarosso, ma l'elevato numero di bande nel Visibile 20 e nell'Infrarosso Termico 10, permette di utilizzarlo anche per il riconoscimento dei materiali da costruzione (BIANCHI *et alii*, 1996).

Spettrometro	Regione dello Spettro	Numero Bande	Intervallo Spettrale Micron	Ampiezza Bande micron
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

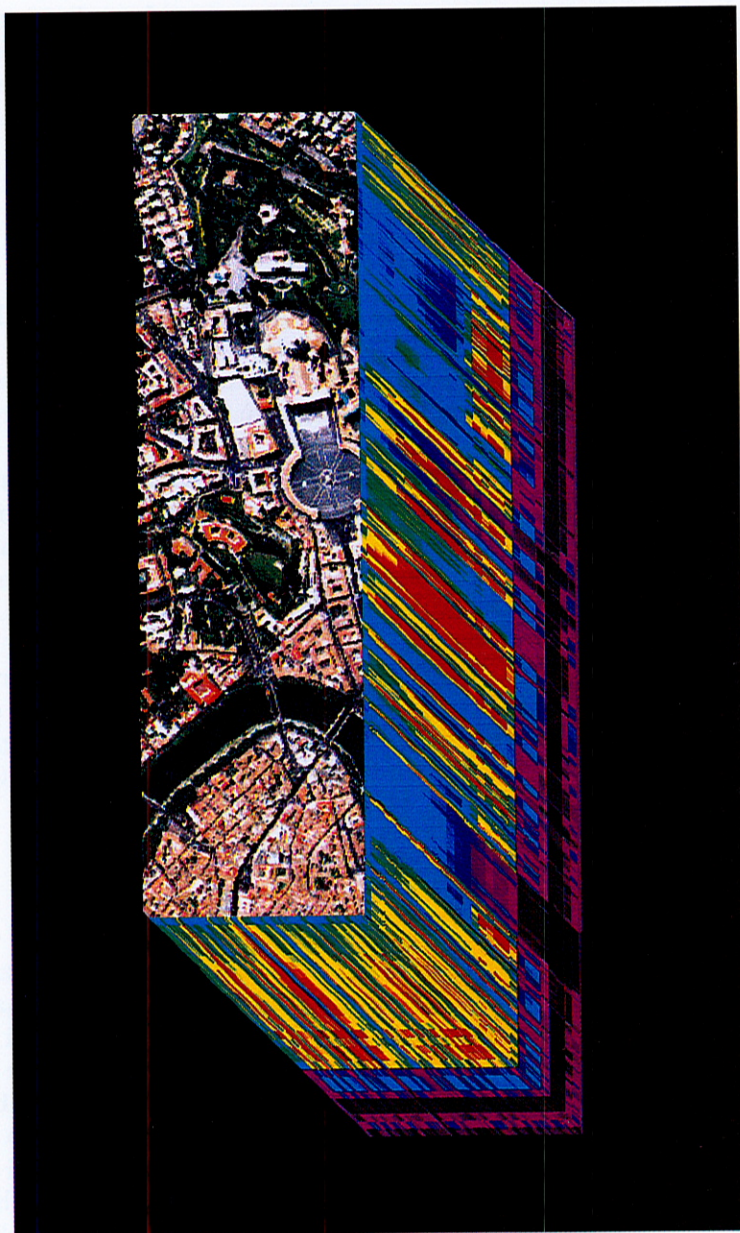


Fig. 1. - Roma. La figura mostra una porzione della città ripresa con il sensore MIVIS il 20 giugno 1995. Nella profondità dell'immagine è riportata la risposta spettrale, del pixel al margine della scena (S.M.A. n. 367 del 21/9/95).

L'elevata risoluzione spettrale del MIVIS, unita ad una buona risoluzione spaziale IFOV (Instantaneous Field Of View) pari a 2 millrad, lo rende adatto per lo studio su scala locale delle relazioni tra i diversi parametri chimici e fisici; ciò permette una elevata precisione di analisi nel riconoscimento di elementi e materiali in ambito urbano

Obiettivi della ricerca

Il lavoro qui presentato è parte di un progetto di ricerca dal titolo "Atlante digitale dei luoghi e delle opere urbane", che esplora le potenzialità del telerilevamento da aereo attraverso l'utilizzo del dato iperspettrale MIVIS, con voli effettuati su diverse città italiane, ad una quota di 2.000 m.

Sono state messe a punto metodologie di trattamento delle immagini volte ad individuare, selezionare e classificare elementi e materiali urbani di rivestimenti di superfici, strutture non rivestite, infrastrutture urbane, depositi a cielo aperto, vegetazione e flussi d'acqua, elementi o materiali mobili, ombreggiamento e soleggiamento delle superfici.

La ricerca, da poco avviata, vuole avere non solo un carattere di originalità, ma intende altresì avere una valenza applicativa. Ci si propone che i risultati ottenuti dall'attività di ricerca abbiano una ricaduta operativa per rispondere alle attuali esigenze, da quelle dei Ministeri agli Enti Locali, per meglio conoscere il territorio di propria competenza (FIUMI, 1997).

Metodologia applicativa

I dati, radiometricamente corretti, sono stati classificati utilizzando il metodo della *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 estratti dall'immagine. 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.

Come primo passo per mettere a punto una classificazione che potesse identificare l'edificato con la massima accuratezza, si sono cercate le sottoclassi tali da poter essere considerate omogenee da un punto di vista spettrale. L'obiettivo, in questa fase, è di trovare una serie di tipolo-

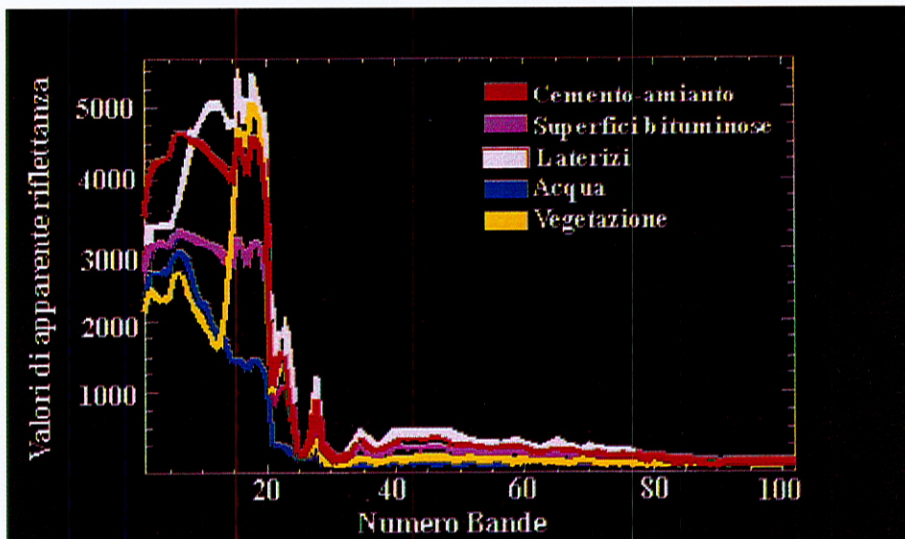


Fig. 2 - Spettri di materiali ricavati dalla scena oggetto di indagine.

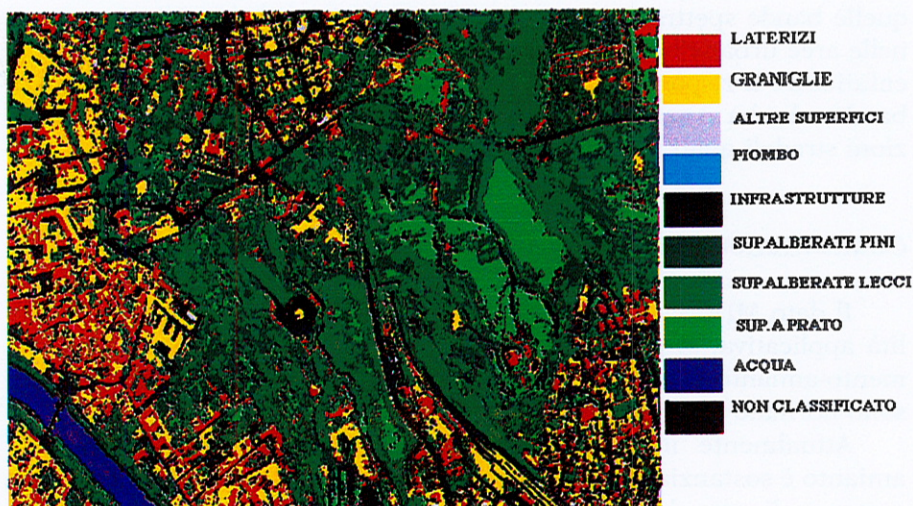


Fig. 3 - Roma. Classificazione di materiali che rappresentano le diverse tipologie spettrali presenti nell'area di studio (S.M.A. n. 367 del 21/9/95).

gie di superfici usate per la copertura tali che ogni edificio fosse rappresentato. In ambito urbano pixel contigui possono essere estremamente differenti; giocando su questa estrema variabilità è stato possibile identificare strutture di pochi pixel con valori simili. Attraverso campioni di pixel con caratteristiche spettrali omogenee; ROI (Regions Of Interest), state create ampie gamme di sottoclassi che evidenziano, ad esempio per le coperture a tetto, materiali come laterizi, lastricati rivestiti in granglie, marmette, mattonati, travertino, rame ed amianto.

Sono state condotte molte prove utilizzando diversi algoritmi di classificazione e diverse combinazioni di bande. Le migliori classificazione si sono ottenute sfruttando l'algoritmo Spectral Angle Mapper (SAM).

Allo scopo di tarare la bontà del metodo, è stata eseguita una campagna a terra, cioè una selezione per ognuna delle tipologie individuate nella classificazione, di un certo numero di campioni per un totale di circa 20 siti Test (opportunamente fotografati). Dalla campagna di taratura è emerso che i campioni rappresentativi delle diverse tipologie, corrispondevano alla realtà. Inoltre, quale *verità al suolo*, specificatamente per le tipologie delle coperture, cioè "in laterizio, tegole o pavimentazioni in cotto o in travertino, marmo, marmette", sono state utilizzate sia le tavole di "Roma Capitale" ripresa del 12 settembre 1990, con scala 1:2.000, 1.000 e 500, con camera Zeiss RMKA 30/23f=305,38 mm.

I dati MIVIS disponibili sono relativi a 102 bande spettrali, ma le difficoltà nel gestire files così complessi e la necessità di utilizzare solo quelle bande spettrali che meglio discriminassero le coperture presenti nelle aree urbane ha portato a scegliere solo alcune bande spettrali. Per enfatizzare le risposte spettrali il metodo utilizzato è stato il rapporto tra bande, che ha permesso di meglio evidenziare le differenti pavimentazioni stradali quali l'asfalto e il basalto o sampietrino.

Caratterizzazione del cemento-amianto (eternit)

Il dato MIVIS con i suoi caratteri di innovazione, originalità e facilità applicativa, si presta a individuare la presenza di coperture in cemento-amianto conosciute anche come eternit, le cui limitazioni d'uso sono normate dalla Legge 257/92.

Attualmente il monitoraggio di superfici coperte da cemento-amianto è sostanzialmente basato sul rilevamento diretto, che dovrebbe essere realizzato da parte del personale delle Aziende Sanitarie Locali (ASL). La localizzazione dei siti interessati con tale metodo comporta tuttavia una serie di difficoltà logistiche, con conseguenti ripercussioni

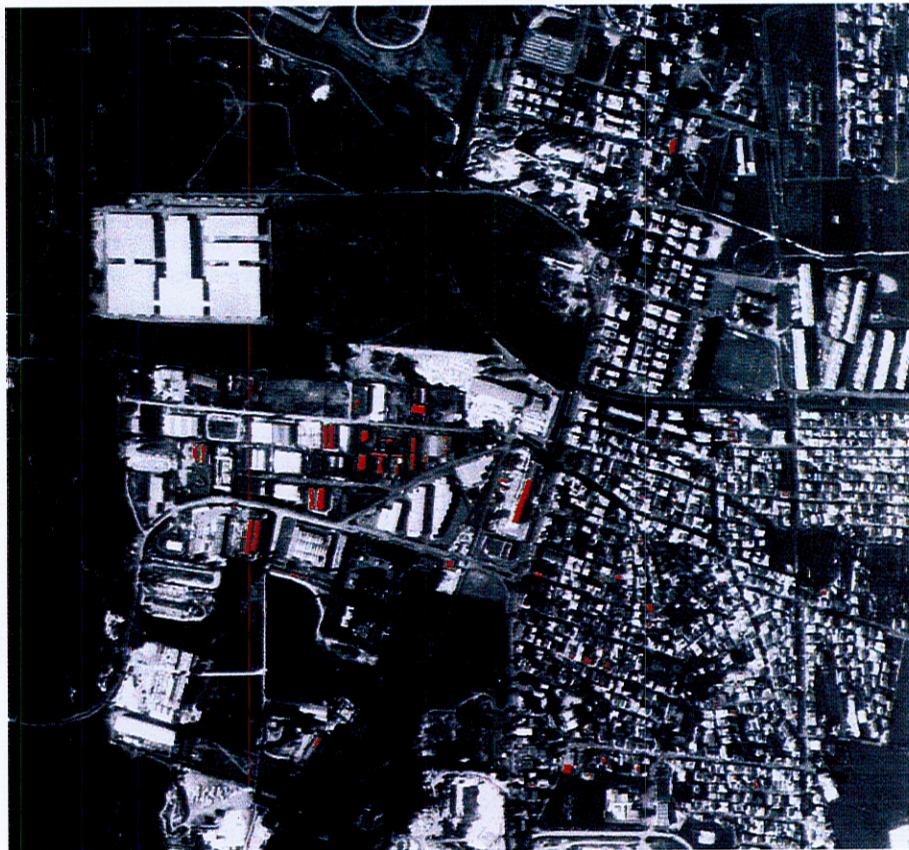


Fig. 4 - Tivoli (Provincia di Roma). Area Industriale tra Bagni di Tivoli e Ponte Lugano. In colore rosso sono riportate le sole coperture in cemento-amianto riconosciute nella classificazione attraverso l'analisi spettrale dei materiali presenti nella scena. È stato possibile discriminare materiali come il fibrocemento ecologico particolarmente simile al cemento-amianto sia nella forma, nel colore e nella composizione.
Conc. S.M.A. n. 363 del 26.10.98. Ripresa Compagnia Generale Ripresearee S.p.A.

economiche, soprattutto quando l'indagine interessa superfici territoriali molto estese.

Un'interessante alternativa al rilevamento tradizionale è rappresentata appunto dal telerilevamento.

Utilizzando le sole tecniche e metodologie del "telerilevamento da satellite", non sempre si riesce ad avere un quadro esauriente e preciso per una corretta individuazione di queste particolari coperture.

Tralasciando gli aspetti tecnico-metodologici, si riportano alcuni dei risultati conseguiti. L'elaborazione dei dati è stata realizzata su PC con un software di trattamento digitale di immagini denominato ENVI (Environment for Visualizing Images).

I dati, radiometricamente corretti dall'influenza dello strato di atmosfera che si interpone tra il sensore e la scena investigata, sono stati classificati utilizzando il metodo della *Spectral Angle Mapper* (SAM). La SAM permette una rapida mappatura delle similarità di spettri di immagine con spettri di riferimento.

L'algoritmo SAM implementato da ENVI richiede come input un numero di aree di prova o spettri di riferimento, derivate da specifiche "Regioni di Interesse" o banche dati spettrali. In questo gli spettri input sono stati ricavati da ROI accuratamente individuati nella scena, attraverso l'analisi stereoscopica di foto aeree a colori, integrate con una serie di accurate osservazioni sui luoghi e l'analisi visiva di sintesi additive in RGB.

Con lo scopo di verificare la bontà del metodo, è stata eseguita una campagna a terra, con osservazioni dirette sulle singole coperture dell'area di studio, integrate con analisi di foto-stereo a colori. Dall'analisi di quanto sopra riportato è risultata un'accuratezza di classificazione totale pari all'91,2%.

I risultati ottenuti lasciano presagire le ottime potenzialità dei dati iperspettrali del sistema MIVIS per l'individuazione e la caratterizzazione delle superfici di copertura. Il lavoro svolto proseguirà con la messa a punto di un metodo di classificazione, in grado di evidenziare le caratteristiche morfologiche delle superfici in funzione del loro stato di conservazione. A buon punto è lo sviluppo di questa metodologia che permetterà di evidenziare e caratterizzare in particolare le superfici con evidenti fenomeni corrosivi-erosivi e conseguente liberazione di fibre; ciò consentirà una valutazione dell'entità del fenomeno da parte delle ASL, al fine di mirare gli interventi di bonifica.

I risultati sinora conseguiti sono quasi maturi per essere oggetto di «Applicazione Tecnologica», sostitutiva, o almeno integrativa, rispetto ai sistemi convenzionali di localizzazione di siti interessati da cemento-amianto.

Il lavoro svolto punta a trasformare un insieme di operazioni complesse di natura matematica ed informatica in una procedura di più semplice utilizzo, rivolta principalmente alle Amministrazioni Pubbliche Locali, responsabili della gestione territoriale.

Conclusioni

Con il sistema di ripresa sopra citato, con i dati ottenuti, le strade medioevali, le piazze storiche i cortili, le cupole delle chiese, i chiostrini dei conventi si trasformano in oggetti senza segreti, dove la geometria, le misure planimetriche, i colori, i materiali, diventano elementi di conoscenza immediata.

Questo tipo di analisi legate alla città, come autonomo oggetto di studio di telerilevamento iperspettrale a bassa quota, ha già sorpreso per la quantità di risposte che può offrire, ma il destino di sviluppo è impressionante se si pensa che con il tempo aumenterà il livello di risoluzione dell'immagine, (attualmente per un volo a 2.000 m la risoluzione a terra del pixel è di 4 m) infatti, si moltiplicheranno le occasioni per avere riscontri nel tempo su aree e, nel frattempo, verrà a formarsi un vero e proprio catalogo spettrometrico dei materiali presenti nel contesto urbanizzato. Non meno importante sarà il coinvolgimento del variegato capitale umano, interessato al contesto, che dovrà richiedere nuove missioni di volo, nuovi incroci possibili fra i dati registrati e soprattutto nuove figure professionali per i raccordi interdisciplinari. Il tipo di archivio, che nasce e cresce sul tema delle aree urbane, è così ricco di informazioni potenziali che può esprimere tutta la sua utilità solo nel tempo e su richieste precise di operatori interessati.

Si può affermare che il contributo del LARA, nell'affrontare problematiche di carattere urbanistico-territoriale, è tale, da offrire opportunità e strumenti per il monitoraggio urbano sviluppando studi di analisi comparata, sincronica e diacronica, sulle condizioni delle città lavorando su temi di grandissima attualità: le politiche per il controllo ambientale ed il risparmio energetico, la tutela e la promozione del patrimonio artistico e archeologico, il comfort dei nuovi quartieri residenziali, la produzione industriale e la manutenzione artigianale.

BIBLIOGRAFIA

- ACEVEDO W., FORESMAN T.W., BUCHANAN J.T., *Processi di trasformazione causati dall'uomo: il data base temporale*, «Sistema terra Rivista Internazionale di Telerilevamento», anno V n. 2/3, 1996, pp. 32-38.
- BIANCHI R., CAVALLI R.M., FIUMI L., MARINO C.M., PIGNATTI S. PIZZAFERRI G., *1994-1995 CNR LARA Project airborne hyperspectral campaigns*, «Proceedings of the Eleventh Thematic Conference and Workshops on Applied Geologic Remote Sensing», Las Vegas, Nevada USA, 1996, pp. 301-310.
- BOARDMAN J.W., KRUSE F.A., *Automated spectral analysis: a geological example using AVIRIS data, North Grapevine Mountains, Nevada*, «Proceedings of Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing», San Antonio Texas USA, Vol. I, 1994, pp. 407-418.
- BRUNO A., *Materiali da Costruzione*. Edizioni Medicea, Firenze, 1981.
- CARLINI M., PLESCIA P., VILLARINI M., *La sicurezza nella gestione dell'amianto*, «Rapporto di Istituto CNR» - Istituto Trattamento Minerali, Roma, 1996.
- Doria G., *Appunti per uno studio delle variazioni della densità dell'edificato nell'area metropolitana Torinese durante il decennio 1985-86*, «Telerilevamento e Gis e Cartografia al Servizio dell'informazione territoriale», Atti del VII Convegno Nazionale, Chieri (To), 1995, pp. 17-20
- ENVI USERS GUIDE, *The Environmental for Visualizing Images*. Version 2,5, 1996.
- FIUMI L., *Aerial Remote Sensing. Per lo studio delle aree urbane*, «L'Arca, Rivista internazionale di architettura, design e comunicazione visiva», n. 118, 1997, pp. 85-87.
- FIUMI L., LEONE A.P., MARINO C.M., *Uso dei dati MIVIS per la mappatura delle superfici in aree urbane, con particolare attenzione al cemento-amianto*, «Rivista Italiana di telerilevamento», n. 13, maggio 1998, 1997, pp. 25-30.
- GOMARASCA M., *Gis e alta risoluzione*, «Sistema terra, Rivista Internazionale di Telerilevamento», 1996, pp. 26-31.
- GOMARASCA M., *Introduzione a telerilevamento e gis per la gestione delle risorse agricole ambientali*. Ed. Arte stampa Daverio (Va), 1997.
- PUMAIN D., *Una geografia urbana per il nuovo millennio*, «Sistema terra-Rivista Internazionale di Telerilevamento», anno V n. 2/3, 1996, pp. 32-38.