

BREC: un insieme integrato di strumenti software per l'analisi di scene urbane telerilevate

Paolo GAMBA, Fabio DELL'ACQUA, Gianni LISINI, Giovanna TRIANNI, Mattia STASOLLA

Dipartimento di Elettronica, Università di Pavia - Via Ferrata, 1, I-27100 Pavia, Italy
Tel. 0382 985923 – Fax 0382 422583 – e-mail: paolo.gamba@unipv.it

Sommario - Un tema di ricerca molto attuale riguarda la produzione automatica o semiautomatica di mappe da dati telerilevati in aree urbane. Il problema è arduo, a causa della elevata complessità dell'ambiente urbano, della necessità di utilizzare dati di diversi sensori, dell'alta risoluzione spaziale e spettrale degli stessi dati.

In questa comunicazione si propone un sistema integrato di strumenti *software* sviluppati espressamente per l'analisi di scene urbane. Il sistema, denominato BREC, permette di ottenere da immagini ottiche o radar ad alta risoluzione una rappresentazione dei principali elementi della scena, con interfaccia da e verso un sistema informativo territoriale. Gli strumenti sfruttano le informazioni sia spettrali sia spaziali contenute nei dati ed il sistema estrae ed elabora estensivamente gli elementi lineari. Questi ultimi vengono definiti via via dal contesto come elementi di una rete stradale ovvero come contorni di un oggetto, naturale o artificiale. Infine, gli elementi lineari semplici possono essere connessi in elementi di più alto livello utilizzando criteri geometrici, basati ad esempio su tecniche di raggruppamento percettivo. Si presenteranno risultati a partire da immagini aree e satellitari di Pavia, dati radar di Los Angeles, portando esempi d'estrazione della rete stradale, caratterizzazione degli edifici ed estrazione di aree danneggiate in zone colpite da terremoto.

Abstract – Automatic and semi-automatic production of maps from remotely sensed data over urban areas is nowadays a hot research topic. A tough one, actually, due to the complexity of the urban environment, to the requirement of exploiting data from different sensors, and to the high spatial and spectral resolution of the data themselves.

In this letter we propose an integrated suite of software tools specifically developed for the analysis of urban scenes. Starting from high-resolution radar or optical data the system, named BREC, allows to obtain a representation of the principal objects in the scene, including a GIS interface.

The tools exploit both spatial and spectral information contained in the data and the system extracts and extensively processes the linear features. These latter are progressively defined by the context as road network elements or as the contours of a natural or artificial object. Finally, simple linear features may be connected in higher-level elements using geometric criteria, based on e.g. perceptual grouping techniques. Results will be presented, which were obtained from aerial and satellite images of Pavia, Italy, and radar images of Los Angeles, USA. Examples of road network extractions will be shown in addition to building characterisation, and extraction of damaged areas in connection with the Bam (Iran) earthquake.

Introduzione

La produzione di mappe da dati telerilevati in aree urbane richiede ancora oggi un forte intervento umano, fornito da operatori specializzati. Diversi fattori contribuiscono a rendere ardua l'esecuzione automatica di questo compito, e costringono quindi a ricorrere all'intelligenza umana. Ne elenchiamo alcuni tra i principali:

- L'elevata complessità dell'ambiente urbano, assieme alla frequenza con la quale vi si presentano elementi di ambiguità che è possibile eliminare solo tramite una approfondita interpretazione del contesto;
- La frequente necessità di utilizzare dati di diversa origine (es. radar+ottico) a reciproca integrazione, dato che spesso un solo tipo di dato non è in grado di portare tutta l'informazione ricercata;
- La risoluzione spaziale, così come quella spettrale, dei dati utilizzati deve necessariamente essere fine per cogliere tutti i dettagli richiesti per l'interpretazione; questa situazione causa una sorta di "sovraccarico di informazioni" sul sistema di elaborazione, costretto a gestire una quantità di dati molto grande rispetto all'insieme di informazioni alle quali si è effettivamente interessati.

In questa comunicazione intendiamo proporre una *software suite* chiamata "BREC" (Built-up area RECOgnition) che permette di estrarre da immagini aeree o satellitari ad alta risoluzione gli oggetti fabbricati dall'uomo.

Il sistema BREC

Il sistema BREC comprende una serie di metodi integrati i quali, partendo da diversi tipi di immagini telerilevate permettono:

1. di classificare la copertura del suolo, rivelando la presenza di classi di base quali "strade", "edifici", "vegetazione", "acqua", ecc.
2. di estrarre gli elementi di base necessari per il riconoscimento degli oggetti, cioè figure elementari quali segmenti lineari e tratti di curve;
3. di combinare in maniera intelligente tali elementi, sfruttando eventuali informazioni complementari, in modo da evidenziare possibili oggetti aventi le caratteristiche di manufatti (strade, edifici, ponti...)
4. di esaminare le caratteristiche degli oggetti presenti nella scena in esame
5. di confrontare gli oggetti estratti in due o più scene per effettuare analisi di cambiamento

Il programma è organizzato in maniera modulare. Al livello minimo si ha l'estrazione di elementi di base, che sono poi progressivamente organizzati in elementi più complessi fino ad arrivare alla individuazione degli oggetti cercati, rimuovendo errori ed aggiustando ed affinando il risultato ad ogni passaggio. Ciò permette di godere dei seguenti vantaggi:

1. utilizzabilità di diversi tipi di dato (es. ottico, radar) commutando solo l'elemento che accede all'immagine, mentre per il resto della catena il tipo di dato è trasparente (**flessibilità nella sorgente**)
2. possibilità di individuare diversi tipi di oggetti (es. strade piuttosto che edifici). Tali oggetti hanno molte caratteristiche geometriche elementari in comune, che si possono differenziare a

partire da un certo livello di aggregazione, mettendo in comune le elaborazioni ai livelli inferiori (**flessibilità dell'obiettivo, efficienza del trattamento**)

3. possibilità di ulteriore sviluppo senza interferenza eccessiva con l'esistente, ad esempio introducendo nuove primitive geometriche; oppure introducendo nuovi oggetti da individuare come ad esempio moli ed imbarcazioni (**espandibilità**)
4. capacità di accettare diversi standard di rappresentazione dei dati in ingresso e analoga possibilità di rappresentare in diversi modi i dati in uscita (**compatibilità, interoperabilità**)

L'attuale fase di sviluppo presenta un programma integralmente funzionante e collaudato che estrae in modo soddisfacente edifici e reti di strade da immagini aeree e satellitari su aree urbane, scrivendo il risultato in un file GIS leggibile dai programmi standard *de facto* del settore quali ArcGis o Geomatica.

Estrazione di strade

Con il nostro lavoro [1] abbiamo inteso migliorare le tecniche di estrazione della rete di strade sfruttando la conoscenza a priori sulla distribuzione delle direzioni delle strade nelle aree urbane. In particolare, si è sfruttata una procedura di filtraggio adattativa in grado di rilevare le direzioni predominanti delle strade presenti, e quindi migliorare i risultati dell'estrazione. In un primo passaggio si individuano le due direzioni predominanti estraendo le direzioni locali di massima omogeneità e trovando quelle che appaiono più di frequente (non necessariamente perpendicolari tra di loro). In seguito si filtra l'immagine con due filtri direzionali i cui due risultati sono infine combinati a fornire la mappa di base per l'estrazione degli elementi lineari. Questa prima parte della procedura è rappresentata schematicamente nella figura 1.



Figura 1 –Filtratura direzionale adattativa applicata ad una porzione di immagine radar ad alta risoluzione di area urbana.

A valle della estrazione degli elementi lineari, si utilizza un algoritmo di raggruppamento percettivo (*perceptual grouping*), appositamente sviluppato, che sfrutta concetti di co-linearità e di prossimità per sopprimere i segmenti ridondanti e riempire le parti mancanti. Infine si considera la topologia della rete di strade, cercando prima le intersezioni e gli incroci, ed utilizzando poi la distribuzione delle loro posizioni per regolarizzare la struttura complessiva.

In figura 2 sono rappresentati due esempi tra i numerosi insiemi di dati utilizzati per il collaudo di Brec. Si tratta di due immagini radar di zone urbane (v. didascalia per maggiori dettagli) una negli Stati Uniti che mostra la caratteristica prevalenza di direzioni parallele e perpendicolari, una in Europa con una maggiore varietà di direzioni delle strade osservate. Le due immagini sono affiancate dalle relative realtà a terra estratte per ispezione visiva.

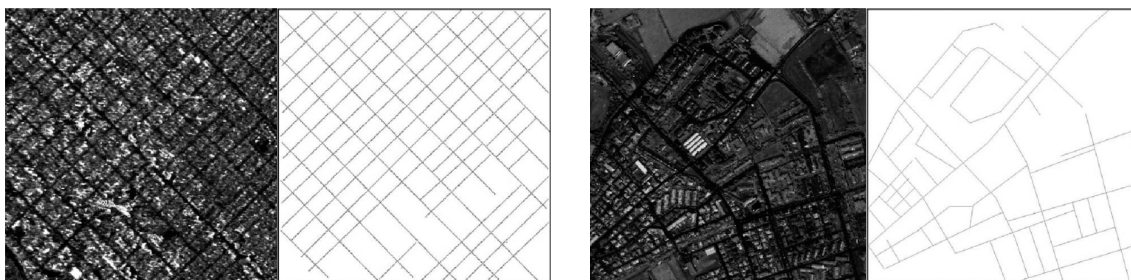


Figura 2 – Da sinistra: immagine AIRSAR di Santa Monica, USA, e relativa rete delle strade estratta manualmente, immagine ottica IKONOS di Pavia, Italia, seguita dalla corrispondente rete di strade.

I risultati sulla prima immagine sono rappresentati in figura 3, che mostra anche il risultato parziale prima del raggruppamento percettivo. Si noti come una grande quantità di segmenti minori, errati, siano rimossi in questa fase.

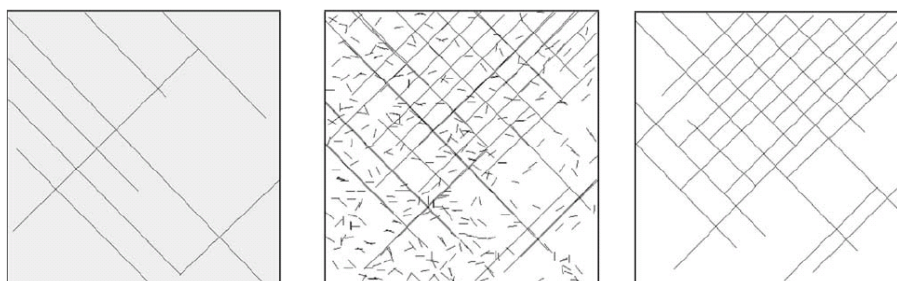


Figura 3 – Risultati sull'immagine di Santa Monica.

Da sinistra: estrazione preliminare, elementi integrativi dopo la filtratura adattativa, risultato finale.

I risultati sulla seconda immagine sono invece mostrati in figura 4. Il confronto con la realtà a terra in figura 2 evidenzia che il risultato è effettivamente rappresentativo della reale situazione a terra.

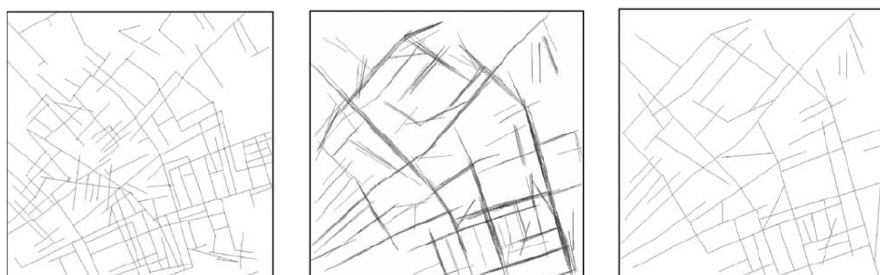


Figura 4 – Risultati sull'immagine di Pavia. Da sinistra: estrazione preliminare, elementi integrativi dopo la filtratura adattativa, risultato finale.

Estrazione di edifici

L'estrazione di edifici integrata in BREC parte da una classificazione del dato multispettrale, che fornisce una mappa di copertura del suolo della quale è naturalmente considerata la classe edifici. Una serie di regolarizzazioni morfologiche permettono di eliminare una gran parte degli errori di classificazione sfruttando l'informazione spaziale presente nell'immagine e nella mappa di classificazione stessa.

L'immagine pancromatica subisce una partizione “*watershed*” che la suddivide in zone presunte omogenee. Ciascuna delle partizioni è assegnata a maggioranza alla classe che appare più di frequente nella sua area nella mappa di classificazione precedentemente preparata.

Applicando questa tecnica ad immagini pre- e post-evento, è possibile effettuare rivelazioni di cambiamento ed in special modo danneggiamento e crollo di edifici in seguito ad eventi calamitosi, come sperimentato con successo in un nostro recente lavoro [2]. In figura 5 è rappresentato un esempio di risultato, prodotto sulla città di Bam in Iran, sfruttando coppie di immagini Quickbird acquisite prima e dopo il terremoto del 26 dicembre 2003. Si noti l'effetto della pre-segmentazione *watershed*, particolarmente visibile nella mappa centrale, che migliora notevolmente il risultato di classificazione individuando in anticipo le zone presumibilmente omogenee.

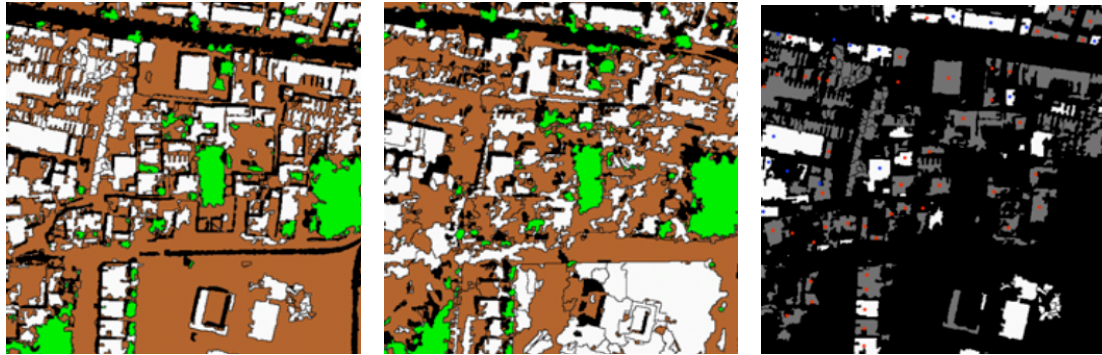


Figura 5. Da sinistra: mappa tematica relativa alla immagine pre-evento, mappa tematica relativa alla immagine post-evento, mappa dei cambiamenti con edifici parzialmente (grigio) o totalmente (bianco) crollati, confrontati con la realtà a terra (punti colorati).

Conclusioni

In questo articolo si è proposto un sistema integrato di strumenti *software* sviluppati espressamente per l'analisi di scene urbane, denominato BREC, frutto della ricerca del nostro gruppo di lavoro. Gli strumenti, che si basano sui risultati di un intenso lavoro di affinamento di metodi precedentemente sviluppati, sfruttano le informazioni sia spettrali sia spaziali contenute nei dati; il sistema estrae ed elabora estensivamente gli elementi lineari, ed opera classificazioni finalizzate ad una migliore individuazione degli edifici presenti nella scena.

Il programma, partendo da immagini ottiche o radar ad alta risoluzione, permette di isolare, evidenziare e rappresentare i principali elementi della scena, scambiando informazioni in uno standard compatibile con sistemi SIT (GIS). Gli elementi lineari vengono definiti dal contesto come elementi di una rete stradale ovvero come contorni di un oggetto, naturale o artificiale. Infine, gli elementi lineari semplici possono essere connessi in elementi di più alto livello utilizzando criteri geometrici, basati ad esempio su tecniche di raggruppamento percettivo ed informazioni ausiliarie quali la classificazione dei pixel nell'immagine iperspettrale.

Date queste premesse, si ritiene che BREC possa rappresentare un valido e potente strumento per diverse applicazioni in area GIS che passano per l'elaborazione di immagini telerilevate: ad esempio l'aggiornamento di carte tecniche, la stesura di carte tematiche, l'individuazione di strutture abusive, il controllo dell'espansione urbana nei paesi in via di sviluppo e molte altre.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il consorzio MCEER per aver cortesemente fornito le immagini QuickBird su Bam, ed il professor Fumio Yamazaki e il suo gruppo di ricerca (Institute of Industrial Science, Japan) per i dati di realtà a terra sul terremoto avvenuto in quella zona.

Bibliografia

- [1] P. Gamba, F. Dell'Acqua, G. Lisini (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, July 2006: pp. 387-391.
- [2] M. Stasolla, P. Gamba, F. Dell'Acqua (2006) "Matching Spectral with Spatial Analysis to Improve Building Damage Recognition in VHR Images". Proceedings of the International Workshop Series on Remote Sensing: Cambridge, UK, 26-28 September 2006, in press.