

ESTRAZIONE DI LAYER VETTORIALI PER UTILIZZO CARTOGRAFICO DA IMMAGINI SATELLITARI AD ALTA RISOLUZIONE

Marco GIANINETTO (*), Marco SCAIONI (**)

(*) Politecnico di Milano, DIIAR Rilevamento, Laboratorio di Telerilevamento, P.zza L. da Vinci 32, 20133 Milano
tel. 02/23996204

(**) Politecnico di Milano, DIIAR Rilevamento, Polo Regionale di Lecco, via Promessi Sposi 29, 23900 Lecco
e-mail: [marco.gianinetto; marco.scaioni]@polimi.it

Riassunto

Le immagini ad alta risoluzione riprese dai sensori spaziali, grazie alla loro crescente disponibilità e al continuo miglioramento degli algoritmi di ortorettifica resi disponibili agli utenti finali, sembrano poter diventare in un prossimo futuro utili strumenti per la produzione e l'aggiornamento di cartografia a media-grande scala. Attualmente, le possibilità di restituzione dalle immagini satellitari sono fortemente influenzate dalla difficoltà di ottenere coppie stereoscopiche (almeno per i satelliti a più alta risoluzione) e questo, di fatto, ne limita ancora l'utilizzo alla sola produzione di cartografia 2D. Evidentemente, il prodotto cartografico che può essere ricavato per questa via è diverso rispetto alla cartografia numerica 3D ricavata con metodi aero-fotogrammetrici: la terza dimensione dell'oggetto non può essere calcolata e la dimensione del pixel dei sensori attualmente disponibili per usi civili consente la produzione di cartografia esclusivamente alle scale comprese tra 1:10.000 e 1:5.000. In questo lavoro si presenta un primo test di estrazione di layer vettoriali (edifici e strade) da immagini IKONOS pancromatiche sulla zona del lago di Lecco, da utilizzare successivamente per la produzione di cartografia alla scala 1:10.000. I layer vettoriali estratti dalle immagini IKONOS sono stati confrontati con la CTR 1:10.000 e con alcune ortofoto dell'area test, verificando l'ottenimento delle precisioni planimetriche previste per la produzione della cartografia alla scala 1:10.000.

Abstract

Imagery coming from high resolution sensors seems to become in the near future a tools to derive maps, comprehending large scales as well. At the current state-of-the-art, this dream is still infeasible: the main reason is the unavailability of stereo-pairs (barring few exceptions), limiting the use of high resolution satellite imagery merely to the production of 2D maps. Obviously the cartographic product that might be obtained in this way is different with respect to a numerical 3D map derived from aerial photogrammetry. The third dimension of the terrain cannot be computed and the pixel size of sensors which are currently available for civil use does not allow to derive maps at a scale larger than 1:5,000. In this paper a first test of vector layer extraction (roads and buildings) from IKONOS panchromatic images taken over the lake of Lecco is presented. These vector layers, to be used for 1:10,000 scale map production, have been compared with the 1:10,000 scale regional map (CTR) and with orthophotos available for the test site. The vector layers extracted from the IKONOS imagery have been tested to be completely conformal to cartographic planimetric tolerances adopted for Italian 1:10,000 scale maps.

1. Introduzione

Grazie alla crescente disponibilità di archivi, al miglioramento delle metodologie di *processing* dei dati e alla sempre maggiore diffusione tra gli utenti finali, le immagini ad alta risoluzione riprese dai satelliti di ultima generazione sembrano poter diventare, in un futuro assai prossimo, interessanti strumenti per la produzione e per l'aggiornamento di cartografia alle scale comprese tra 1:10.000 e 1:5.000. Attualmente, le possibilità di restituzione sono fortemente limitate dalla difficoltà di ottenere coppie stereoscopiche, mentre la riconoscibilità dei particolari al suolo è spesso molto buona (soprattutto per i satelliti QuickBird e Ikonos), anche se a volte è limitata da problemi di saturazione del segnale non ancora completamente risolti (in particolare per il satellite QuickBird).

Nel corso degli ultimi anni, numerosi studi hanno dimostrato le potenzialità metriche delle immagini ad alta risoluzione geometrica (Boccardo *et al.*, 2003; Fraser *et al.*, 2002b; Holland e Marshall, 2003; Jacobsen e Passini, 2003). Recenti studi hanno inoltre evidenziato come sia ormai possibile ottenere interessanti precisioni metriche con algoritmi semi-automatici che consentono di registrare tra loro le immagini; se una di queste è già georeferenziata e orto-rettificata in un dato sistema di riferimento cartografico, anche l'altra potrà essere registrata nello stesso sistema senza la necessità di utilizzare numerosi punti d'appoggio sul territorio (Gianinetto e Scaioni, 2003; Gianinetto *et al.*, 2004a, 2004b).

Per ricavare un prodotto cartografico dalle immagini ad alta risoluzione riprese dallo spazio, analogamente al procedimento fotogrammetrico, è necessario rimuovere le distorsioni dovute al sensore e alla topografia (procedimento di orto-rettifica). Nel caso delle immagini telerilevate, tuttavia, il procedimento non è standard e, a volte, di non semplice realizzazione. Attualmente, l'orto-rettifica è principalmente eseguita utilizzando un approccio di tipo parametrico (fisico) o uno non-parametrico (generalizzato).

I modelli parametrici sono basati sulle equazioni di collinearità e descrivono il processo fisico di acquisizione dei dati. Queste richiedono la conoscenza del modello geometrico della camera (*camera model*) e la conoscenza accurata di posizione e geometria di presa del sensore al momento della ripresa dei dati (Valadan Zoj e Sadeghian, 2003).

I modelli non-parametrici sono invece modelli generalizzati, indipendenti dal sensore e fanno uso di funzioni matematiche generali per stimare la trasformazione tra le coordinate immagine e le coordinate terreno dei punti. Fra tutti i modelli analitici, quello basato sul *Rational Function Model* (RFM) è il più utilizzato (Tao e Hu, 2001).

Secondo la complessità del modello utilizzato, il numero, la densità e la precisione dei GCPs utilizzati, si ottengono differenti precisioni di orto-rettifica.

2. Estrazione di *layer* vettoriali

Nonostante le immagini ad alta risoluzione costituiscano potenzialmente un efficace strumento di conoscenza del territorio, fino ad ora non è stata ancora studiata a sufficienza quale tipologia di dato vettoriale sia possibile derivare con precisione adeguata per la produzione e l'aggiornamento della cartografia tecnica. I risultati di alcune indagini svolte su questo tema sono riportati in Holland *et al.* (2002), Devriendt *et al.* (2003), Holland e Marshall (2003), Neubert e Meinel (2003).

Per questo motivo è stato eseguito un test su immagini Ikonos riprese sul territorio lecchese, volte a verificare la possibilità di ricavare *layer* vettoriali (principalmente strade ed edifici) tipici della CTR alla scala 1:10.000. Su una delle due immagini Ikonos acquisite sono stati individuati due *test sites* collocati nella zona periferica della città di Lecco. Ciascuno di essi è stata oggetto di un test, durante il quale si è provato ad estrarre informazioni vettoriali di tipo bidimensionale riguardanti le due tipologie di oggetti precedentemente indicate.

Le immagini Ikonos di tipo pancromatico (Carterra Geo Product) sono state acquisite dal sensore nel giugno 2001 sulla parte meridionale del lago di Lecco (Figura 1). Complessivamente esse coprono circa 7 km in direzione Ovest-Est e circa 24 km direzione Sud-Nord, presentando un'escursione in quota di 1.200 m.

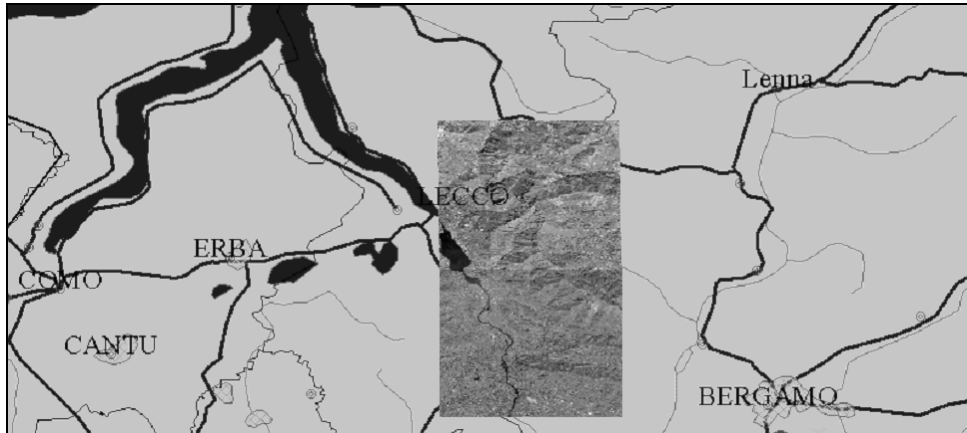


Figura 1 – Immagini Ikonos riprese su Lecco il 9 Giugno 2001, inquadrare nella cartografia del territorio.

Le immagini sono state orto-rettificate utilizzando l'algoritmo proposto da Fraser *et al.* (2002a), che è basato sulle due fasi seguenti:

1. rimozione delle deformazioni geometriche di maggiore entità impiegando un modello RFM con l'ausilio di un modello digitale delle altezze (DEM) avente passo di 50x50 m, unitamente ad un set di coefficienti polinomiali calcolati da Space Imaging per l'acquisizione (RPC) e distribuiti insieme alle immagini;
2. rimozione delle deformazioni residue con una trasformazione affine, calcolata mediante l'impiego di un numero ridotto (4-5) di GCP; questi sono stati misurati mediante ricevitori mono-frequenza per aggiornamento GIS in grado di registrare anche misure di fase. La differenziazione di questi dati rispetto a quelli acquisiti presso la stazione permanente del Politecnico di Milano situata a Lecco ha consentito di ottenere una precisione planimetrica inferiore al metro.

L'impiego di questo metodo è piuttosto interessante, in quanto non richiede la misurazione di un elevato numero di GCP al suolo e consente di eseguire il processo di orto-rettifica delle immagini Ikonos con precisione geometrica sufficiente per applicazioni cartografiche a media scala.

Successivamente dall'orto-immagine così ottenuta sono state estratte due piccole porzioni di territorio, che hanno costituito i *test sites* analizzati.

Una parziale restituzione è stata eseguita manualmente per entrambi. Nel primo caso sono stati vettorializzati solamente gli edifici di un comparto industriale, mentre nel secondo caso sono stati restituiti gli edifici e le principali vie di comunicazione di un complesso residenziale.

In Figura 2 è rappresentato il primo *test site*, caratterizzato dalla presenza di numerosi capannoni industriali (nella parte sinistra dell'immagine) e da un tessuto urbano più fitto (nella parte destra dell'immagine). In questo caso si è proceduto all'estrazione dei soli edifici, riportati in Figura 3. In Figura 4 è riportata l'orto-immagine Ikonos con sovra-imposto il *layer* vettoriale estratto.

Dal punto di vista operativo, l'estrazione degli edifici è risultata un'operazione piuttosto semplice. La dimensione del pixel al suolo tipica di un'immagine Ikonos (circa 1 m in ambedue le direzioni), ha consentito di estrarre informazioni vettoriali con un'accuratezza geometrica compatibile con la tolleranza planimetrica della cartografia alla scala 1:10000, pari a ± 4 m. Anche la qualità delle immagini è risultata apprezzabile, permettendo un'interpretazione dei dettagli sufficientemente chiara. A questo si aggiunga il vantaggio di poter operare con un comune programma CAD-GIS bidimensionale, senza dover quindi ricorrere a più complessi e costosi software di restituzione cartografica. Tenendo conto che le singole (non stereo) immagini satellitari ad alta risoluzione

troverebbero un utilizzo solamente nell'aggiornamento di cartografia a media scala, in quanto la sua realizzazione ex-novo non potrebbe prescindere dall'altimetria, la possibilità di sovra-imporre una orto-immagine ad una cartografia tecnica e di restituire solo ciò che è stato costruito o rimosso costituisce un vantaggio operativo molto interessante.

Il secondo *test site* è riportato in Figura 5. In questo caso l'area è caratterizzata dalla presenza di edifici residenziali e si è proceduto anche all'estrazione delle principali strade (Figura 6). A verifica della qualità dei *layer* estratti, questi sono stati sovra-imposti ad una ortofoto (Figura 7) e alla CTR in formato *raster* (Figura 8), entrambe alla scala 1:10000. Il confronto con la cartografia esistente ha evidenziato innanzitutto la completezza quantitativa (numero di oggetti restituiti rispetto al numero totale di oggetti esistenti per l'entità considerata) degli oggetti restituiti, indicando un possibile utilizzo pratico di questo tipo di dati per l'aggiornamento cartografico. Per quanto riguarda l'accuratezza della restituzione, si riscontra un buon accordo tra entrambi i *layer* vettoriali con l'ortofoto digitale alla scala 1:10000 (Figura 7). Il confronto con la CTR alla scala 1:10000 rivela invece alcune significative differenze nel *layer* degli edifici (Figura 8), che tuttavia sono ragionevolmente imputabili ad errori presenti in questa cartografia, vista la buona concordanza con l'ortofoto.



Figura 2 – Orto-immagine Ikonos di Lecco (*test site n.1*).

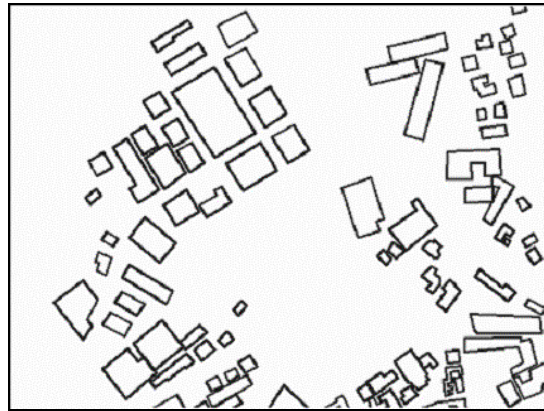


Figura 3 – Layer vettoriale degli edifici estratto dall'orto-immagine Ikonos.



Figura 4 – Orto-immagine Ikonos con sovra-imposto il layer vettoriale degli edifici.



Figura 5 – Orto-immagine Ikonos di Lecco (test site n.2).



Figura 6 – Estrazione dei layer vettoriali riguardanti gli edifici (colore chiaro) e le strade (colore scuro) dalla immagine Ikonos.



Figura 7 – Ortofoto digitale alla scala a:10000 di Lecco con sovra-imposti i layer vettoriali relativi agli edifici (colore chiaro) e alle strade (colore scuro) estratti dall'immagine Ikonos.



Figura 8 – CTR 1:10.000 di Lecco (in bianco) con sovra-imposti i layer vettoriali estratti dall'immagine Ikonos.

Conclusioni

La comunità scientifica internazionale ha condotto negli ultimi anni numerose indagini in merito alla qualità geometrica delle immagini satellitari acquisite dai sensori ad alta risoluzione oggi operativi (Ikonos, QuickBird, EROS, SPOT5). Numerosi studi sono stati recentemente pubblicati sulle diverse tecniche per la correzione geometrica di queste immagini, per la loro orto-rettifica e per la restituzione stereo, indagando le precisioni ottenibili. Anche a livello italiano diversi gruppi di ricerca si sono mossi in questa direzione, come testimoniano i Programmi di Ricerca di interesse nazionale (COFIN) cofinanziati dal MIUR negli ultimi anni.

In questo articolo si è voluto mettere a fuoco un aspetto che è rimasto in secondo piano, ma che l'accertata buona qualità geometrica dei prodotti derivabili dalle immagini satellitari ad alta risoluzione ha messo in luce: la qualità del dato vettoriale restituibile da esse. I test eseguiti nel corso del presente lavoro, pur limitati come tipologia di territorio e come dimensioni, hanno evidenziato l'elevata potenzialità del dato Ikonos per l'aggiornamento di cartografia alla scala 1:10000, operazione che viene oggi realizzata ad intervalli di tempo molti lunghi per la complessità intrinseca nel metodo aero-fotogrammetrico. In futuro si conta di estendere i test eseguiti ad altre aree test, oltre a considerare diversi tipi di dati satellitari disponibili.

La possibilità di derivare orto-fotocarte da questa tipologia di immagini senza necessità di misurare un elevato numero di GCP a terra favorisce inoltre il loro utilizzo per la realizzazione di cartografia a media scala in quelle zone del globo che ne sono sprovviste e per le quali sarebbe impensabile utilizzare altre tecniche (Gianinetto *et al.*, 2004a).

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato sviluppato nell'ambito del progetto di ricerca MIUR dal titolo "L'uso delle immagini satellitari ad alta risoluzione per le analisi territoriali". La ripresa Ikonos su Lecco è stata acquisita da Planetek Italia e le misure GPS sono state eseguite con la collaborazione del Polo Regionale di Lecco del Politecnico di Milano.

Bibliografia

- Boccardo P., Borgogno Mondino E., Giulio Tonolo F. (2003), "High resolution satellite images position accuracy tests", in Proc. of *IGARSS 2003*, Toulouse, France, on CDROM.
- Devriendt D., Goossens R., Dewulf A., Binard M. (2003), "Improving Spatial Information Extraction for Local and Regional Authorities using Very-High-Resolution Data – Geometrical Aspects", in Proc. of *ISPRS-EARSeL Joint Work. on "High Resolution Mapping from Space"*, Hannover, on CDROM.
- Fraser C. S., Baltsavias E., Grün A. (2002a), "Processing of IKONOS Imagery for submeter 3D positioning and building extraction", *ISPRS Jour. of Phot. & R.S.*, Vol. 56, pp. 177-194.
- Fraser C.S., Hanley H.B., Yamakawa T., (2002b), "3D Position Accuracy of IKONOS Imagery", *Photogrammetric Record*, Vol. 17(99), pp. 465-479.
- Gianinetto M., Giussani A., Lechi G. M., Scaioni M (2004a), "Fast Mapping from high resolution satellite images: a sustainable approach to provide maps for developing Countries", *Int. Archive of the Phot., R.S. and Spatial Information Sciences*, vol. XXXV, part B, pp. 37-42.
- Gianinetto M., Scaioni M., (2003), "Fusion of aerial and satellite imagery over the city of Venezia", in Proc. of *2nd GRSS/ISPRS Joint Work. on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, Berlin, Germany, pp. 216-219.
- Gianinetto M., Scaioni M., Borgogno Mondino E., Giulio Tomolo F. (2004b), "Satellite images geometric correction based on non-parametric algorithms and self-extracted GCPs", in Proc. of *IGARSS 2004*, Anchorage, Alaska, on CDROM.
- Holland D., Guilford R., Murray K. (2002), "Topographic Mapping from High Resolution Space Sensors", *OEEPE Official Publication*, n. 44.
- Holland D., Marshall P. (2003), "Using High-Resolution Satellite Imagery in a Well-Mapped Country. Terrain", in Proc. of *ISPRS-EARSeL Joint Work. on "High Resolution Mapping from Space"*, Hannover, on CDROM.
- Jacobsen K., Passini R. (2003), "Accuracy of Digital Orthophotos from High Resolution Space Imagery", in Proc. of *ISPRS-EARSeL Joint Work. on "High Resolution Mapping from Space"*, Hannover, on CDROM.
- Neubert M., Meinel G. (2003), "Evaluation of Segmentation Programs for High Resolution Remote Sensing Applications". in Proc. of *ISPRS-EARSeL Joint Work. on "High Resolution Mapping from Space"*, Hannover, on CDROM.
- Tao C. V., Hu Y. (2001), "A Comprehensive Study of the Rational Function Model for Photogrammetric Processing", *PE&RS*, Vol. 67(12), pp. 1347-1357.
- Valadan Zoej M. J., Sadeghian S. (2003), "Rigorous and Non-Rigorous Photogrammetric Processing of IKONOS Geo Image", in Proc. of *ISPRS-EARSeL Joint Work. on "High Resolution Mapping from Space"*, Hannover, on CDROM.