

UTILIZZAZIONE DI IMMAGINI SATELLITARI AD ALTA RISOLUZIONE QUALE SUPPORTO AL GOVERNO DEL TERRITORIO

Valerio BAIOCCHI (*), Roberto CATALANO (**), Michele PIANO (***)

(*) Area di Geodesia e Geomatica – DITS – Università di Roma "La Sapienza", via Eudossiana, 18 – 00184 Roma, tel. +39.06.44585097, fax +39.06.44585515, *e-mail*: valerio.baiocchi@uniroma1.it,

(**) Libero professionista, via S. Pertini, 25 – 65129 Pescara, tel. +39.347.8138281, *e-mail*: roberto_catalano@hotmail.com

(***) Libero professionista, via S. Pio da Pietrelcina, 5 – 65015 Montesilvano, tel. +39.328.1145863, *e-mail*: michelepiano@hotmail.com

Riassunto

Scopo del presente contributo è una prima analisi delle reali possibilità di utilizzo dei dati satellitari ad alta risoluzione nello studio delle dinamiche di sviluppo e di trasformazione del territorio sia di origine antropica che di origine naturale. Precedenti studi hanno mostrato interessanti risvolti per possibili applicazioni ma in questo caso ci troviamo di fronte ad una delle prime reali esperienze di una amministrazione locale in ambito nazionale.

L'immagine utilizzata è del tipo Quickbird, i GCP sono stati acquisiti mediante ricevitori GPS doppia frequenza in quanto si è voluta la massima precisione ed accuratezza possibile per creare un database di punti di appoggio che l'amministrazione potrà utilizzare anche in futuro per aggiornamenti.

In questo studio, del tutto preliminare, emergono interessanti spunti per ulteriori approfondimenti di cui sono riportati alcuni esempi. Per quanto riguarda la fase di acquisizione e preprocessamento delle immagini sono state valutate le caratteristiche di differenti software con differenti algoritmi per l'estrazione di DEM. L'elaborazione ha quindi mostrato come con costi e tempi molto ridotti anche una piccola amministrazione locale possa dotarsi di una base geometricamente corretta ed aggiornata per tutte le applicazioni di cui l'amministrazione stessa possa avere necessità.

Abstract

Purpose of the present contribution is a first analysis of the real possibilities of use of the satellite very high resolution imagery in the study of the dynamics of development and transformation of the territory both of antropic origin that of natural origin. Precedents studies have shown interesting arguments for possible applications but in this case we can see one of the first actual experiences of a local administration in Italy.

The image utilized is a Quickbird, the GCP were acquires through double frequency GPS receivers to obtain the maximum precision and possible accuracy to create a database of points of support that the administration can use in the future also for updatings.

In this study, entirely preliminary, they emerge interesting arguments for further close examinations of which some examples are brought. Regarding the phase of acquisition and preprocessing of the data they have been valued the characteristics of different softwares than with different algorithms for the extraction of DEM. The elaboration has shown therefore as with costs and times affordable also a small local administration can geometrically equip itself with a correct base and adjourned for the whole application of which the same administration can have necessity.

Il progetto

Il presente documento descrive una delle prime esperienze in ambito nazionale di applicazione di immagini satellitari ad altissima risoluzione per la realizzazione di ortofotocarte per una piccola amministrazione locale, la sperimentazione ha infatti riguardato l'intero territorio del comune di Ripa Teatina, nella provincia di Chieti. L'iniziativa rappresenta un valido prototipo per l'utilizzo delle immagini satellitari a supporto delle problematiche dell'Amministrazione Pubblica, come l'osservazione delle attività antropiche e dei fenomeni naturali, e della stesura di nuovi piani urbanistici, specialmente per la potenzialità di creare un archivio storico di dati grezzi dell'intero territorio telerilevato e da monitorare attraverso acquisizioni successive.

Il rapido sviluppo tecnologico di questi ultimi anni nel campo del telerilevamento, specialmente per quanto riguarda la risoluzione geometrica dei sensori, ha aperto nuove e importanti prospettive nel settore del rilevamento e della rappresentazione cartografica, anche grazie ai costi e ai tempi di elaborazione sensibilmente più bassi, fino a poco tempo fa di dominio pressoché esclusivo della fotogrammetria aerea. L'acquisto del dato grezzo obbliga all'elaborazione per la costruzione di documenti utilizzabili: l'elaborazione di immagine, se adeguatamente compresa e utilizzata, non è solo un "impegno" in più, ma è anche la possibilità di costruire strumenti cartografici e di rilievo finalmente adeguati a richieste specifiche (M. Pesaresi, 1996). Per una pubblica amministrazione entrare in possesso di tali dati grezzi si configura come una forma di investimento che svincola da legami inscindibili con società o figure professionali specializzate esterne all'ufficio tecnico in quanto si dota di una fonte di informazioni semanticamente aperta e assoggettabile a diverse forme di lettura il cui obiettivo è rendere più efficaci le politiche di gestione e pianificazione del territorio. L'efficienza dell'utilizzo delle immagini satellitari ad alta risoluzione per scopi cartografici è avvalorata da svariate ricerche e da numerose applicazioni concrete che hanno posto da un lato l'attenzione sulle problematiche tematiche come la classificazione e il monitoraggio del territorio, e dall'altro sulle problematiche metriche relative alla formazione ed aggiornamento di cartografia a media e grande scala (V. Baiocchi et al., 2004b). Tale efficienza costituisce la base da cui attraverso anche la formazione specifica del personale, possono avere luogo processi che innovano l'azione pubblica come il progetto presentato. Non è pensabile (economicamente ed operativamente), infatti, procedere ripetutamente al rilievo aerofotogrammetrico dell'intero territorio comunale, ed al frequente aggiornamento della cartografia per comuni di modeste dimensioni e con risorse economiche limitate (M. Crespi et al., 2003).

E' presumibile, oltre che auspicabile, che si vengano a realizzare, progressivamente, uno o più strati di aggiornamento desumibili dal dato satellitare. E' evidente come la possibilità di derivare informazioni da questa nuova tipologia di dati riveste particolare interesse per il controllo delle trasformazioni territoriali, anche per la varietà delle informazioni ricavabili (cartografie tematiche) e per la possibilità di avere serie storiche. La realizzazione di tale progetto, dunque, si configura per l'Amministrazione comunale come il primo passo rivolto alla costruzione di archivi di dati per la lettura delle dinamiche territoriali.

Il progetto nasce con l'obiettivo di conoscere il territorio in maniera approfondita per cui non ne trascura la morfologia, ovvero sia l'altimetria, la clinometria, l'esposizione dei suoli che possono imporre direttamente una serie di limiti all'utilizzazione del territorio o possono costituire un fattore di attenuazione o di accentuazione delle sue caratteristiche. Altre cartografie riguardanti caratteristiche morfologiche saranno realizzate per lo stesso territorio mediante tecniche GIS ma non sono argomento della presente comunicazione.

Rilievo dei *Ground Control Point* con GPS

Il sistema geodetico di riferimento adottato è quello convenzionale terrestre WGS84. Successivamente sono state utilizzate le coordinate cartografiche UTM fuso 33. Le quote fornite dai ricevitori GPS sono anch'esse riferite alla superficie dell'ellissoide prima accennato, per cui si è resa necessaria la trasformazione delle quote ellissoidiche in ortometriche, ovvero, riferite alla superficie fisica della terra, precisamente, al livello medio del mare (V. Baiocchi et al., 2004a). A

questo riguardo sono stati testati due programmi di calcolo: Verto3 e Geotrasformer (in uscita imminente sul mercato). Disponendo di punti a coordinate note della rete IGM95 è stato possibile capire che la procedura più affidabile sembra quella con l'impiego di Geotrasformer dato che le differenze di precisione tra i due *software* sono praticamente nulle e in considerazione delle notevoli facilitazioni operative che quest'ultima procedura offre (quali trasformazione automatica di file vettoriali).

Per raggiungere un valido compromesso di una buona precisione e il contenimento dei costi sono stati scelti 19 punti di controllo a terra per una superficie di circa 30 kmq e una densità di circa 1 punto ogni 2 kmq. Per l'esecuzione del rilievo di dettaglio dei GCP è stata utilizzata la tecnica di rilevamento *post-processing* e precisamente il rilievo rapido-statico. La strumentazione impiegata per l'acquisizione della posizione dei GCP è a doppia frequenza, essenziale per risultati di alta precisione, riduzione delle influenze ionosferiche e brevi misure statico rapide. Per ancorare i punti GCP al sistema cartografico di riferimento si è proceduto alla determinazione della posizione della base rispetto alla stazione permanente dell'Aquila mediante uno stazionamento di 3 giorni sia per la lunghezza della *baseline*, maggiore di 200 km, sia per la necessità di ottenere una precisione elevata delle coordinate. Per il rilievo dei punti, successivamente, sono state eseguite "sessioni di misura" di minimo 25 minuti, in funzione del tipo di ricevitore utilizzato, del parametro PDOP e della lunghezza delle basi, distanza punto stazione e punti *rover*, che variano da un minimo di 3,755 km ad un massimo di 9,536 km. L'intervallo di campionamento è stato di 1 secondo così da ottenere precisioni elevate. I calcoli per l'elaborazione dei dati, infine, sono stati eseguiti utilizzando il programma *SKI-Pro* della *Leica*.

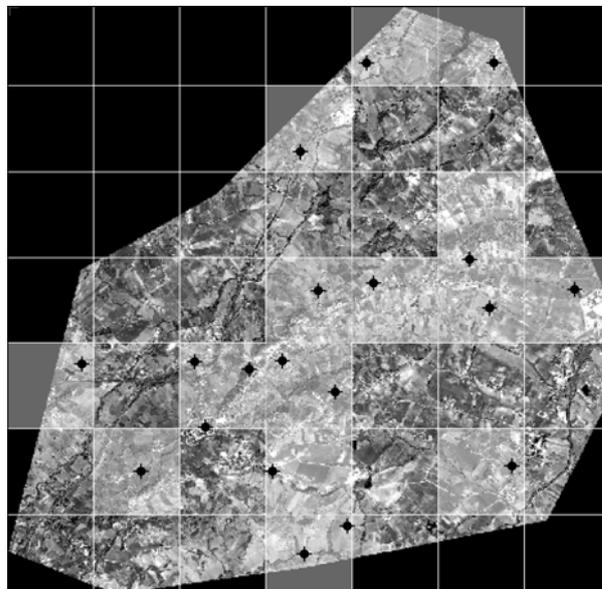


Figura 1 – Immagine satellitare Quickbird con disposizione dei GCP

Elaborazione del DEM

Negli ultimi anni l'interesse per la realizzazione e l'utilizzo dei modelli digitali del terreno (DEM) sta subendo un incremento sempre maggiore, infatti, rappresentano un'importante banca dati da cui poter ottenere molti prodotti derivati come curve di livello, profili, volumi e modelli di pendenza; costituiscono, inoltre, la base per la modellazione di diversi fenomeni naturali (V. Baiocchi et al., 2004b); si configurano, infine, come elementi indispensabili durante la procedura di ortocorrezione. Il DEM è stato ottenuto dalla Carta Tecnica numerica della Regione Abruzzo in scala 1:5000 ed elaborato mediante i software *OrthoEngine 9.1* della *PCI Geomatica* ed *ENVI* della *RSI*, con la risoluzione del pixel di 1 m. In *PCI* si è utilizzato l'algoritmo di interpolazione "*finite difference*" che si articola in tre fasi (*PCI Geomatics Enterprises Inc.*, 2003) e in *ENVI* quello "*Triangular Irregular Network*" (TIN) con interpolazione di tipo lineare (*Research System Inc.*, 2005).

Si è proceduto ad un'analisi comparativa dei risultati ottenuti determinando prima le differenze in termini di quote ortometriche, poi analizzando le differenze delle quote con i GCP. Come si evince dal grafico 2 i DEM generati con i due *software* presentano delle differenze che sono state valutate attraverso tecniche di analisi "*Change Detection*". Ponendo come "stato iniziale" il DEM generato con *ENVI* e come "stato finale" quello generato con *OrthoEngine* si sono osservate le differenze dopo aver suddiviso gli scarti in 7 classi così come riportato nel grafico 3. L'entità e la distribuzione degli errori nelle diverse classi fanno intravedere, a questo punto, la possibilità di sviluppare ulteriormente l'analisi volta ad indagare la configurazione spaziale degli errori e in maniera più

approfondita le cause dovute sia a fattori relativi alla morfologia del territorio, sia di tipo puramente tecnico dipendente dai *software* impiegati, per progetti che mirano esclusivamente alla realizzazione di DEM. Tecnicamente è possibile ottenere ortofoto di precisione con DEM di precisione piuttosto bassa (O. Koebel, 2001), dato che l'immagine satellitare utilizzata è ad alta risoluzione (risoluzione del pixel 0.62 m) e pressoché nadirale (*off-nadir angle* 6.3°).

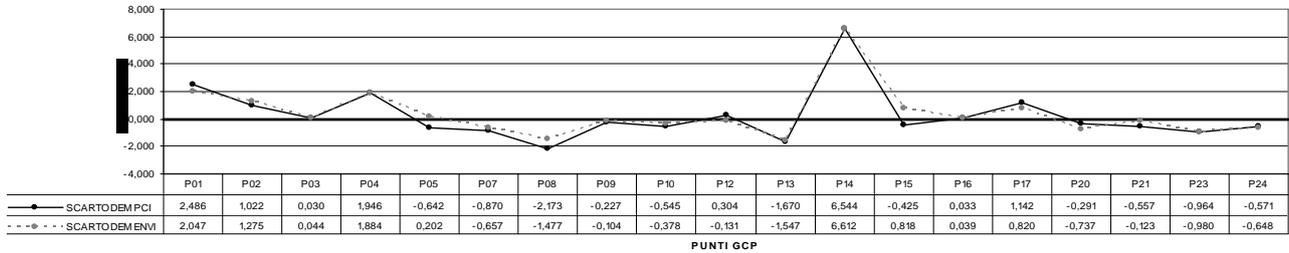


Grafico 2 – Differenze tra i DEM e la quota geoidica dei GCP

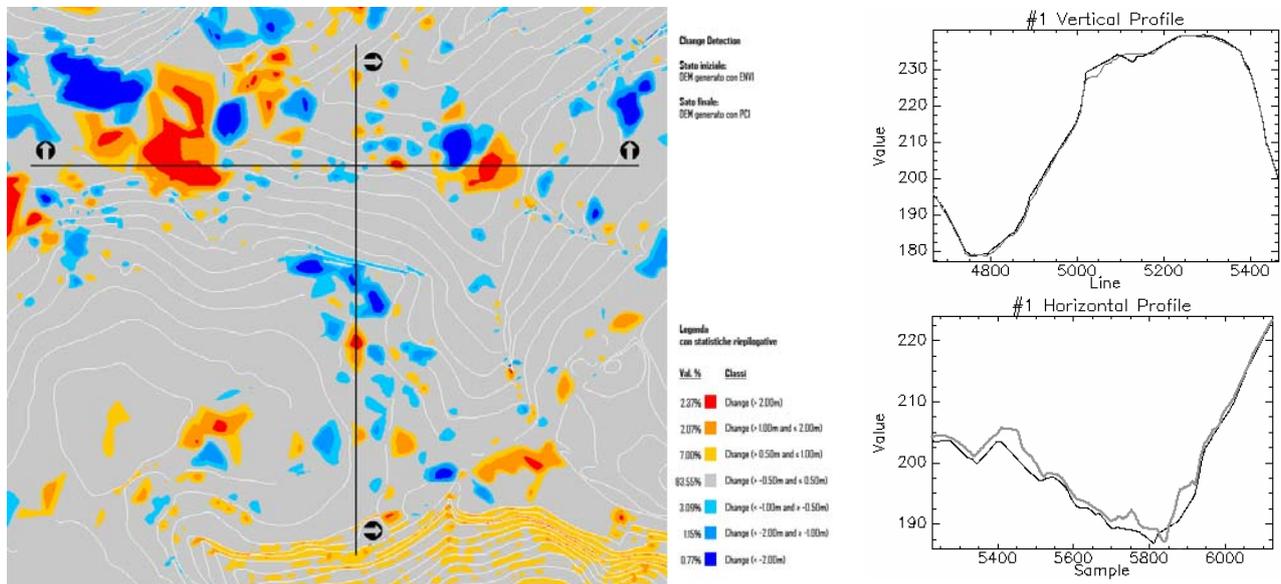


Grafico 3 – Analisi comparativa dei DEM

Ortorettifica dei dati satellitari

Il progetto ha come obiettivo l'ortorettificazione di un'immagine QuickBird, appartenente alla categoria *Basic Imagery*, al quale sono applicate solo correzioni radiometriche. Il prodotto è stato processato geometricamente utilizzando un modello rigoroso, che è sostanzialmente di tipo fotogrammetrico poiché tiene conto della posizione e dell'assetto del satellite, delle caratteristiche del sensore e della rifrazione atmosferica. Si configura come l'unico modello che permette di estrarre dall'immagine tutta la precisione e l'accuratezza possibile (fino ad 1-2 pixel) anche con un numero di GCP limitato (V. Baiocchi et al., 2004). Il prodotto *Basic* è sostanzialmente di tipo *raw* ed è rivolto ad utenti in grado di effettuare un processamento avanzato dell'immagine dal punto di vista geometrico. Per valutare la massima precisione perseguibile nell'ortorettificazione del dato, terminata la collimazione manuale dei punti di controllo a terra, sono state condotte una serie di prove per ognuna delle quali si è variato il numero di GCP/CP (*Check Point*). Sono state condotte 4 prove a partire da una configurazione di 6 GCP e 13 CP fino ad una di 15 GCP e 4 CP così come si evince nel grafico 4, dove sono riportati i valori di RMSE totale per ciascuna delle prove in Est e in Nord. Dall'analisi dei grafici si è dedotta la distribuzione migliore di GCP/CP che assicura un RMSE inferiore ai due pixel, ovvero inferiore ad 1.2 m. Dai profili grafici si evidenzia che sia la precisione, valutata sui GCP, sia l'accuratezza, valutata sui CP, tendono ad assestarsi all'aumentare

del numero dei GCP. In entrambi i diagrammi l'andamento del Nord si attesta su valori maggiori per il percorso orbitale del satellite.

La realizzazione dell'ortofoto comporta la produzione di una nuova immagine, ovvero l'assegnazione di un nuovo valore di *Digital Number* ai singoli *pixel* che compongono l'immagine trasformata. Tra i numerosi algoritmi di ricampionamento possibili è stato impiegato il *Nearest Neighbor*. Per valutare l'accuratezza dell'immagine ortorettificata, infine, vi è stata sovrapposta la CTR numerica in scala 1:5000 così come riportato in figura 5. Un ulteriore aspetto del progetto è stato quello di aver fornito anche un'ortofotocarta a colori in scala 1:10000 (figura 6). L'operazione è stata possibile, con il minimo impegno tecnico ed economico, per le caratteristiche del prodotto di base a disposizione: dati QuickBird, categoria *Basic Imagery*, pacchetto *Bundle*, cioè dati pancromatici e multispettrali acquisiti durante lo stesso passaggio orbitale. I dati multispettrali sono caratterizzati da una risoluzione del pixel a terra di 2.48 m, inferiore a quella pancromatica di quattro volte, per cui è stato possibile procedere con un foglio di calcolo alla rideterminazione delle coordinate pixel dei GCP importandoli automaticamente senza dover procedere nuovamente alla collimazione manuale dei punti. Il processo di ortorettifica dei dati multispettrali ha seguito tutto il procedimento fin qui illustrato per i dati pancromatici.

| GCP_RMSE (metri) | | | CP_RMSE (metri) | | |
|------------------|---------|----------|-----------------|---------|----------|
| num_GCP | EST_RMS | NORD_RMS | num_CP | EST_RMS | NORD_RMS |
| 6 | 0,06 | 0,11 | 13 | 3,8542 | 5,8528 |
| 9 | 0,35 | 0,61 | 10 | 1,6492 | 1,4694 |
| 12 | 0,50 | 0,95 | 7 | 0,4712 | 1,3516 |
| 15 | 0,43 | 1,00 | 4 | 0,589 | 1,1408 |

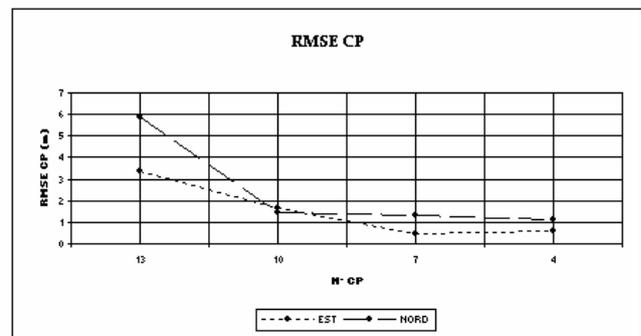
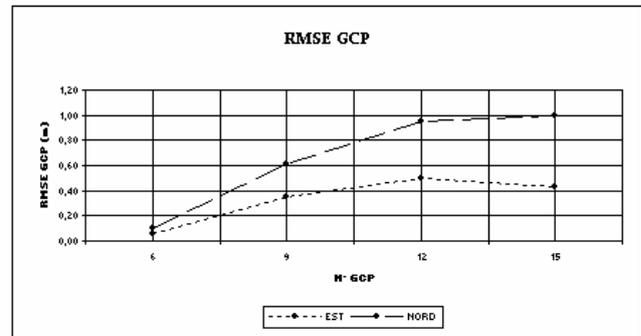


Grafico 4 – Andamento della precisione del modello al variare del numero GCP/CP



Figura 5 – Stralcio di ortofoto pancromatica QuickBird con CTR



Figura 6 – Stralcio di ortofoto multispettrale QuickBird

Conclusioni

In questo lavoro sono stati presentati i risultati di una delle prime applicazioni concrete di impiego dei dati satellitari ad alta risoluzione per l'elaborazione di ortofotocarte per la redazione di cartografie comunali per una piccola Amministrazione, quale supporto al governo del territorio, che oltre a rispondere a criteri di precisione e accuratezza non ha potuto prescindere da esigenze di economicità. Dal punto di vista tecnologico e dei costi ci troviamo di fronte ad una realtà che appare estremamente favorevole alla diffusione di queste applicazioni, senza contare che tra gli obiettivi espliciti delle compagnie che forniscono i dati satellitari c'è proprio l'accesso al mercato delle applicazioni territoriali che viene percepito come ancora sostanzialmente inesplorato.

Si sono delineati, nello sviluppo del progetto, diversi ambiti di ricerca da approfondire, relativi sia alle tecniche di generazione dei DEM da cartografia numerica, sia alla leggibilità delle immagini satellitari, ovvero della quantità, qualità e tipologia di informazioni tematiche da integrare in sede di restituzione delle cartografie comunali.

Bibliografia

V. Baiocchi, C. Bortolotti, M. Crespi, M. A. Del Moro, S. Pieri (2004a), "Accuratezza delle trasformazioni tra datum e sistemi cartografici nazionali implementate nei software di maggiore utilizzo nelle applicazioni Gis", *Atti della 8^a Conferenza Nazionale ASITA*, Roma

V. Baiocchi, M. Crespi, L. De Vendictis, F. Giannone (2004b), "Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione per scopi metrici", *Atti della 8^a Conferenza Nazionale ASITA*, Roma

M. Crespi, V. Baiocchi, L. De Vendictis, F. Lorenzon (2003), "Impiego cartografico di immagini satellitari ad alta risoluzione – le problematiche metriche: dati primari, metodologie, sperimentazioni", Prima Conferenza Regionale di Cartografia, Lamezia Terme.

O. Koebl (2001), "Prescrizioni tecniche per la produzione di modelli digitali del terreno", *Intesa Stato-Regioni-Enti locali per la realizzazione dei sistemi informativi geografici*

PCI Geomatics Enterprises Inc. (2003), "Generating the Digital Elevation Model from Rasters, Vectors, or Control Points", *PCI Geomatica 9.1, Software Documentation*

M. Pesaresi (1996), "Diluvio di immagini. Dati satellitari: modi e prospettive di analisi territoriale", *Urbanistica* n. 106: 68-72

Research System Inc. (2005), "Converting Vector Topo Maps into Raster DEMs", *ENVI 4.2 User's Guide*