ORIENTAMENTO, ORTORETTIFICAZIONE, DSM E CITY MODELING CON STEREOCOPPIE SATELLITARI CARTOSAT-1

Francesco BARBATO (*), Mattia CRESPI(**), Laura DE VENDICTIS(**), Roberta ONORI(*), Daniela POLI(***), Fabio VOLPE(*), Xinua WANG(***)

(*) Eurimage S.p.A, via Edoardo D'Onofrio 212 - 00155 Roma
tel. 06 406941, fax 06 40694232, e-mail: volpe@eurimage.com
(**) DITS – Area di Geodesia e Geomatica, Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
via Eudossiana 18 – 00184 Roma, tel. 06 44585068, fax 06 44585515, e-mail: mattia.crespi@uniroma1.it
(***) CyberCity AG, in der Luberzen 9, CH 8902 Urdorf, Svizzera
tel. +44 044 7770997, dpoli@cybercity.tv

Abstract
CARTOSAT-1, launched in May 2005, is basically a stereo mission; in fact it is equipped with two cameras onboard, namely Aft and Fore, tilted in along track by -5° and +26°, allowing the acquisition of stereo data for every scene with a resolution of 2.5 m.
The Institutes of Area di Geodesia e Geomatica - Università di Roma "La Sapienza", Eurimage S.p.A. and CyberCity AG participated at the ISPRS-ISRO Cartosat-1 Scientific Assessment Programme (C-SAP), in order to investigate the DSM generation from Cartosat-1 stereo scenes.
This paper describes the work carried out on the stereopair belongin to the test field called TS-8 (Rome, Italy), acquired on 8th June 2005 over the city of Rome, Italy. The stereo images related to the test field were processed with several commercial software (PCI-OrthoEngine, ERDAS, CyberCity-Modeler –CCM-), in order to perform preliminary tests on the sensor potentialities for geomatic applications. The processing included the sensor orientation, DSM generation, orthoimage production and 3D s extraction,.
For the evaluation of the DSM accuracy, the DSMs extracted were compared with the heights of several buildings and points on road axis derived from a large scale 3D map (1:2'000); an accuracy (RMSE) between 1 and 1.5 pixel (about 3 m) was achieved both on building heights and on road axis. Secondly, to evaluate the potentials of the images for 3D s extraction, some buildings were modelled semi-automatically in CCM and again compared with the 1:2'000 3D map, achieving an accuracy around 4 m. The third focused item, regarded the evaluation of the orthoimage accuracy, which was estimated by a 2D comparison with the same large scale 3D map; it was showed that it is possible to obtain a horizontal accuracy better then 1 pixel.

Riassunto esteso
I risultati di questo lavoro, svolto dall'Area di Geodesia e Geomatica - Università di Roma "La Sapienza" in collaborazione con Eurimage S.p.A. di Roma e CyberCity AG di Zurigo, rientrano nell'ambito della ricerca promossa dall'ISPRS-ISRO Cartosat-1 Scientific Assessment Programme (C-SAP) finalizzata ad indagare la possibilità di estrarre prodotti tridimensionali da stereocoppie acquisite dal satellite Cartosat-1.
Cartosat-1, lanciato il 5 maggio 2005 dal Satish Dhawan Space Centre (SDSC) SHAR, in India, è un satellite ad alta risoluzione (2.5 m) progettato appositamente per acquisizione stereoscopiche; è infatti dotato di 2 camere, denominate "Aft" e "Fore", in grado di acquisire 2 immagini in un unico passaggio orbitale, rispettivamente con un angolo di off-nadir di -5° e +26° (BANDA e BANDF).
Questo lavoro descrive i risultati preliminari ottenuti su una stereocoppia acquisita l'8 giugno 2005 e relativa alla città di Roma. Le 2 immagini sono state processate con diversi software commerciali

(PCI-OrthoEngine, ERDAS, CyberCity-Modeler –CCM-) valutando le potenzialità del prodotto dal punto di vista dell'orientamento, dell'estrazione di modelli digitali di superficie (DSM), di produzione di ortofoto e di *3D feature extraction*.

Orientamento

L'orientamento della stereocoppia è stato eseguito utilizzando 3 software commerciali e due approcci differenti: modello rigoroso e funzioni polinomiali razionali (RPC); nel dettaglio:

- PCI-OrthoEngine e modello rigoroso generico;
- Erdas e modello RPC di ordine 0 e 1
- CyberCity-Modeler (CCM) e modello RPC di ordine 1

In particolare sono stati effettuati diversi test con un numero di punti di appoggio (GCP) variabile al fine di valutare il minimo numero necessario per avere l'assestamento dell'accuratezza, valutata sui residui dei check point (CP). Dall'analisi dei valori riportati in Fig.1 si può evidenziare che i risultati ottenuti con il modello rigoroso generico e gli RPC di ordine 1 sono molto simili, mentre i risultati ottenuti con gli RPC e correzione di ordine 0 appaiono piuttosto scadenti. L'accuratezza si assesta attorno ad una valore, in planimetria, compreso tra 1 e 2 pixel, utilizzando 12-15 GCP.

GCPs + CPs	**PCI-OE Mod. Rigoroso**			**ERDAS. RPC Order 0**			**ERDAS. RPC Order 1**			**CCM. RPC Order 1**		
	E	***N***	***h***	***E***	***N***	***h***	***E***	***N***	***h***	***E***	***N***	***h***
9+12	1.68	3.77	3.46	4.85	1.92	3.74	1.58	2.50	3.83	1.72	2.05	3.17
12+9	1.45	2.78	3.96	4.63	1.61	4.25	1.42	2.15	4.22	1.56	1.91	3.62
15+6	1.65	2.26	4.05	5.35	1.19	4.23	1.52	1.86	4.25	1.59	1.19	4.08

Figura 1 – Risultati dell'orientamento

Estrazione dei DSM

Utilizzando i 21 GCP disponibili ed il modello che ha fornito il migliore orientamento per ogni software, sono stati estratti 3 DSM con una risoluzione di 2 pixel (5 m):

- DSM#1 generato con PCI-OrthoEngine e modello rigoroso generico;
- DSM#2 generato con Erdas e modello RPC con correzione di ordine 1;
- DSM#3 generato con CCM e modello RPC con correzione di ordine 1.

L'analisi, preliminarmente condotta su 2 dei tre DSM estratti, è stata finalizzata a valutare 2 diversi aspetti:

- l'accuratezza del DSM tramite il confronto con le altezze di diversi edifici e punti su assi stradali, ricavate da una cartografia 3D in scala 1:2000 (Fig. 2);
- la "precisione intrinseca" del DSM su superfici piane e regolari (Fig. 3).

Considerando i risultati riportati in Fig. 2 si può evidenziare che l'accuratezza è molto simile per i 2 DSM estratti e si attesta sui 2.5 – 3.0 m, sia per gli edifici che per gli assi stradali.

	N° of buildings: 44		**N° of road pts: 200**	
Statistics (m)	DSM#1 PCI	DSM#2 ERDAS	DSM#1 PCI	DSM#2 ERDAS
AVERAGE	-0.12	**1.90**	**1.16**	0.53
ST. DEV.	2.50	2.12	2.77	2.07
RMSE	**2.50**	**2.85**	**3.00**	**2.13**
MEDIAN	-0.48	2.00	1.13	0.34
MAD	2.32	2.04	2.37	1.41
MIN	-5.24	-4.91	-7.33	-4.94
MAX	5.21	6.77	13.78	10.31

Figura 2– Accuratezza dei DSM

La seconda analisi è stata finalizzata a valutare la "precisione intrinseca" del DSM, che si suppone essere la migliore precisione ottenibile dall'estrazione del DSM stesso; a tale scopo sono stati individuate 2 aree adibite a parcheggi, assimilabili a superfici piane e molto regolari (Park1: 65x55

m^2, Park2: 40x30 m^2). Dai valori riportati in Fig. 3 risulta una "precisione intrinseca" di circa 0.3-0.4 m.
Si deve sottolineare che tale valore può fornire un'utile indicazione per l'accuratezza 3D che dovrebbe caratterizzare i GCP utilizzati per l'estrazione dei DSM, accuratezza che non può essere inferiore ad 1/3 della precisione intrinseca.

	Park1		**Park2**	
Statistics (m)	DSM#1 PCI	DSM#2 ERDAS	DSM#1 PCI	DSM#2 ERDAS
ST. DEV.	0.25	0.43	0.76	0.26

Figura 3– Precisione intrinseca dei DSM

3D features extraction
L'estrazione di *features* 3D rappresenta un'ulteriore applicazione interessante per le stereocoppie Cartosat-1, soprattutto per operazioni di city modeling ed aggiornamento di database urbani. Per questi motivi con il software CCM sono stati condotti test specifici su 12 edifici, al fine di ricostruirne, per via fotogrammetrica, l'andamento tridimensionalmente dei tetti (Fig. 4 e 5).

Statistics (m)	**N° of buildings:12**
AVERAGE	2.06
ST. DEV.	3.59
RMSE	4.14
MAD	3.29
MEDIAN	2.20
MIN	-6.28
MAX	8.23

Figura 4– Accuratezza 3D degli edifici

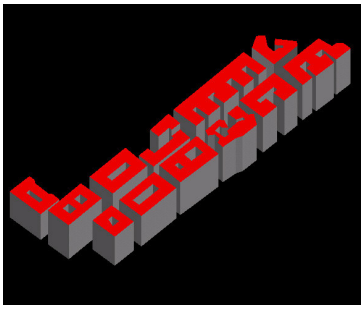

Figura 5– Ricostruzione 3D degli edifici

Le altezze degli edifici sono state confrontate con quelli della cartografia 3D in scala 1:2000; dall'analisi dei risultati riportati in Fig. 4 si nota un'accuratezza altimetrica (RMSE) di circa 4 m, congruente con la risoluzione dell'immagine ed i risultati dell'orientamento (Fig.1).
Generazione delle ortofoto
Utilizzando i 3 DSM estratti e gli stessi modelli di orientamento (modello rigoroso generico per PCI-OrthoEngine e modello RPC di ordine 1 per ERDAS e CCM) sono state generate 3 ortofoto dall'immagine più nadirale (BANDA).
Al fine di valutare l'accuratezza planimetrica dei prodotti ottenuti, è stato effettuato un confronto con la cartografia 3D in scala 1:2000: gli stessi 44 edifici usati per la valutazione dell'accuratezza dei DSM sono stati individuati e vettorializzati; i corrispondenti edifici della cartografia sono stati ridotti a poligoni 2D.

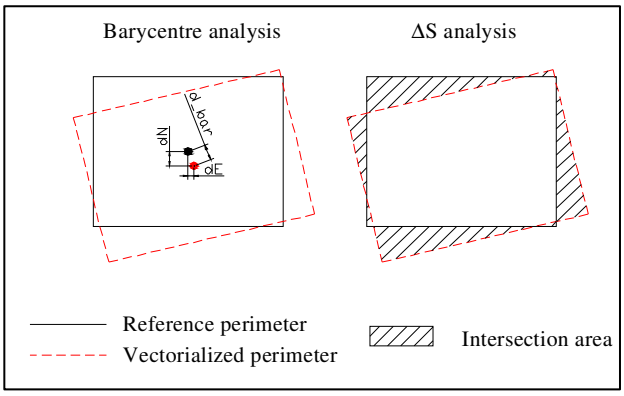

Figura 5. Confronto 2D tra poligoni corrispondenti

Quindi sono stati effettuati 2 tipi di confronti:
- è stata calcolata la differenza dei baricentri in termini di ΔN e ΔE, per evidenziare eventuali bias di georeferenziazione locale (Fig. 5 e 6);
- è stata calcolata la differenza tra i poligoni corrispondenti in termini di scostamento medio ΔS, considerando le aree residue che derivano dall'intersezione degli stessi (Fig. 5 e 7).

L'espressione di ΔS è:

$$\Delta S = \sum_i \frac{\Delta A_i}{P_{ref}} \qquad (1)$$

dove ΔAi è l'i-esima area residua, derivata dall'intersezione dei poligoni, e P_{ref} è il perimetro dei poligoni di riferimento.

Statistics (m)	DSM#1 PCI		DSM#2 ERDAS	
	dE	dN	dE	dN
AVERAGE	0.24	0.24	-0.89	-1.76
ST. DEV.	0.74	1.56	1.36	1.69
MIN	-2.09	-3.13	-3.59	-4.58
MAX	1.26	3.82	2.33	1.72

Figura 6 - Differenze dei baricentri

Statistics (m)	DSM#1 PCI	DSM#2 ERDAS
	dS	dS
AVERAGE	1.19	1.96
ST. DEV.	0.40	0.70
MIN	0.57	0.66
MAX	2.75	3.18

Figura 7 - Scostamento medio

Analizzando i risultati relativi a PCI-OrthoEngine, si può osservare l'assenza di bias significativi di geoferenziazione; inoltre, per quanto concerne il ΔS, la media è inferiore a ½ pixel e la maggior parte dei valori è contenuta in 1 pixel. Si può quindi affermare che è possibile utilizzare la stereocoppia Cartosat-1 per la produzione di ortofoto in scala 1:10000. I risultati di Erdas richiedono ulteriori approfondimenti.
Complessivamente, i buoni risultati ottenuti in questi test preliminari sulle immagini Cartosat-1 sembrano aprire nuove prospettive per un loro utilizzo sia per quanto riguarda l'estrazione di DSM, che per la produzione di ortofoto e le applicazioni di 3D feature extraction.
I risultati di questo lavoro sono stati presentati in forma estesa sugli atti de "ISPRS International Symposium on Geospatial Databases for Sustainable Development, Goa (India), 27-30 September 2006".

Ringraziamenti
Il presente lavoro è stato parzialmente finanziato e si inquadra nelle attività di ricerca svolte nell'ambito del progetto di ricerca MIUR-COFIN 2005 *Analisi, comparazione e integrazione di immagini digitali acquisite da piattaforma aerea e satellitare* (coordinatore Sergio Dequal) – Progetto unità locale: *Impiego di immagini satellitari ad alta risoluzione per la formazione e l'aggiornamento di basi cartografiche, modelli digitali del terreno e data base territoriali: aspetti metodologici ed applicazioni a casi di rilevante importanza* (coordinatore Mattia Giovanni Crespi).

Bibliografia
Baiocchi V, Crespi M, De Vendictis L, Mazzoni A, (2005) "DSM Extraction from IKONOS and EROS A Stereo Imagery: Methodology, Accuracy and Problems", *Proc. of the EARSeL Workshop 3D Remote Sensing, Porto 10-11 June 2005*
Crespi M, De Vendictis L, Onori R, Volpe F, (2006), "DSM extraction from Quickbird Basic Stereo and Standard Orthoready imagery: quality assessment and comparison", *Proceedings of 26th EARSeL Symposium New Developments and Challenges in Remote Sensing,Warsaw, 29 May- 2 June*
Kocama, S, Zhang L, Gruen A, Poli D, (2006) "3D city modeling from high-resolution satellite images" *Proceedings of ISPRS Workshop Topographic Mapping from Space (with Special Emphasis on Small Satellites), Ankara, 14-16 February*
Kölbl O. (2001), "Technical Specifications for the Elaboration of Digital Elevation Models", EPFL, Version 16l, final Group Version, of April 29 2001 – Online:www.intesagis.it
Leroy A, Rousseeuw P. (2003), "Robust Regression and Outlier Detection", J. Wiley & Sons
Poli D. (2006). "Reality-based 3D City Models from Aerial and Satellite Data". GEOInformatics, Marzo 2006, Volume 9, pp. 8-11.
Toutin T. (2004), "DTM Generation from IKONOS In-track Stereo Images using 3D physical model", *Phot. Eng. and Remote Sensing 70: 695-702*
Toutin T. (2004b), "DSM Generation from QuickBird In-track Stereo Images with 3D Physical Modelling and Elevation Accuracy Evaluation", *Int. J. of Remote Sensing*