

## Valutazione dell'accuratezza di DEM estratti da una stereocoppia GeoEye

Giulia Botti, Alessio Furini, Mario Gabaldo, Alberto Pellegrinelli

(\*) Dipartimento di Ingegneria Civile - Università di Ferrara, via Saragat, 1 - 44122 Ferrara, Italia  
<alessio.furini,alberto.pellegrinelli>@unife.it

### Riassunto

Nel presente lavoro si è analizzata l'accuratezza di un Modello Digitale della Superficie (DSM) estratto da una stereocoppia GeoEye del marzo 2010 al fine di valutarne il possibile utilizzo come dato di input in modelli idraulici previsionali per studi inerenti il deflusso delle acque nel caso di esondazione di fiumi o forti precipitazioni.

L'orientamento e l'estrazione del DSM sono stati eseguiti con PCI Geomatica OrthoEngine v10.3, testando la validità anche delle immagini multispettrali per ridurre le imprecisioni nella fase di matching e valutando l'accuratezza dei DSMs estratti mediante confronto sia con un modello di riferimento derivante da volo aerofotogrammetrico che con dati derivanti da rilievo GNSS, eseguito in modalità cinematica e *stop&go*.

### Abstract

The paper presents the accuracy evaluation of the DSM derived from a GeoEye stereopair acquired in March 2010 in order to use them in forecasting hydraulic models which studies the outflow of water after river floods or downpours.

The orientation and the DSM extraction have been performed with PCI Geomatica OrthoEngine v10.3, testing also the multispectral imagery to improve the matching step. The final DSMs accuracy has been evaluated both by sample comparisons, based on a consistent number of Check Points (CPs) surveyed by kinematic and *stop&go* GNSS, and comparing them with a reference DSM derived from a recent photogrammetric flight.

### Introduzione

La qualità raggiunta nell'acquisizione di informazioni 3D mediante tecniche quali LiDAR, inSAR, GNSS, fotogrammetria, telerilevamento, rende possibile l'impiego di Modelli Digitali del Terreno o della Superficie come informazione fondamentale in un numero sempre maggiore di applicazioni (generazione di ortoinnagini, pianificazione territoriale, valutazioni di impatto ambientale di nuove infrastrutture, *change detection* spazio-temporale) (Baiocchi et al., 2004; Toutin et al., 2001). Un settore d'impiego divenuto recentemente di importanza sempre maggiore è quello della previsione e gestione delle emergenze ambientali in quanto, ad esempio, i DSM sono dati essenziali nei modelli idraulici previsionali, che studiano il deflusso delle acque in seguito ad eventi quali esondazioni di fiumi di portata medio-grande o forti precipitazioni (Pellegrinelli et al., 2005). Per tali applicazioni essi devono avere elevate precisioni, specialmente in aree fortemente pianeggianti (come quella analizzata in questo studio), in quanto variazioni anche di modesta entità nella determinazione della quota del terreno possono comportare l'identificazione errata di zone di accumulo o, al contrario, di vie preferenziali per il deflusso dell'acqua, con pesanti ripercussioni sul risultato della simulazione idraulica. Tutti gli oggetti naturali ed antropici (come argini o strade in rilievo) che possono ostacolare il deflusso (deviandolo o bloccandolo) o, al contrario, tutti i varchi che lo agevolano devono quindi essere identificati (Fratarcangeli et al, 2010).

I vantaggi derivanti dall'impiego di immagini satellitari sono principalmente relativi alla rapidità teorica di acquisizione ed elaborazione del dato anche per vaste aree, oltre al contenimento complessivo dei costi. Il lancio di piattaforme con sensori che permettono di avere GSD inferiori al metro consente inoltre la realizzazione di modelli di accuratezza in quota di circa 2m (Capaldo et al., 2010). I *software* commerciali a disposizione permettono di ottenere ottimi risultati in fase di orientamento, mentre ancora diverse problematiche sono relative alla fase di *matching*: un problema tipico è quello dell'innalzamento delle quote del DSM lungo la rete viaria nelle zone urbane; un problema analogo si presenta anche in campagna, laddove frutteti, campi coltivati e zone alberate non permettono di ottenere la quota del piano campagna, creando dunque false barriere nei dati di input per la simulazione idraulica.

Questo lavoro descrive la valutazione di DSMs ottenuti con l'impiego di una stereocoppia GeoEye acquisita nella zona di Argenta (FE), in un'area soggetta al rischio di esondazione del fiume Reno, al fine di stabilirne l'accuratezza raggiungibile in una zona a carattere fortemente rurale ed un possibile impiego del modello come base della modellazione idraulica.

### Data set

La stereocoppia *in-track* GeoEye-1 a disposizione, fornita ricampionata a 0.5m per le immagini pancromatiche e a 2m per le multispettrali, è stata acquisita il 28 marzo 2010 e copre un'area di circa 12km di larghezza per 8km di altezza a carattere fortemente pianeggiante, con quota terreno che varia da -3.5m a +8m. Essa comprende un'area quasi totalmente rurale, in cui sono presenti il paese di Argenta (FE), un tratto dell'argine del fiume Reno a sud del paese, parte delle Valli di Campotto, mentre il resto dell'area è costituito da piccoli agglomerati di edifici e da terreno ad uso agricolo. Le caratteristiche principali delle immagini sono riportate in Figura 1.

Dettaglio	Valore
Acquisition date	28-03-2010
Processing level	Standard Geometrically Corrected
Bits per pixel per band	11bits
Scan direction	Reverse
Percent cloud cover	0%
Angolo di intersezione	46°.4784
Pixels (rows x columns)	16604x23804

Dettaglio	Prima immagine	Seconda immagine
Acquisition time	10.21 GMT	10.20 GMT
Acquired Nominal GSD	PAN cross scan	0.51m
	PAN along scan	0.49m
	MS cross scan	2.03m
	MS along scan	1.95m
Scan azimuth	1°.11	359°.68
Nominal collection azimuth	229°.5155	309°.1042
Nominal collection elevation	61°.51207	72°.00957
Sun angle azimuth	159°.2959	158°.9901
Sun angle elevation	46°.61131	46°.55763
Camera-Target-Sun	70°.2196	150°.1141

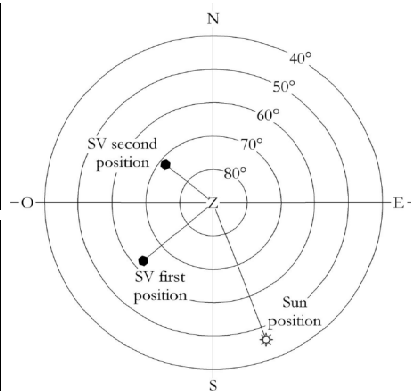


Figura 1 – Caratteristiche della stereocoppia GeoEye-1: nella prima tabella sono riportate le proprietà comuni ad entrambe le immagini; nella seconda tabella sono indicate le proprietà delle singole immagini; a destra viene rappresentata schematicamente la geometria di acquisizione della stereocoppia e la posizione del sole.

I test sull'orientamento sono stati eseguiti mediante 78 GCPs (alcuni di essi usati solamente come CPs), distribuiti sull'intera immagine (Figura 2, sinistra), acquisiti mediante rilievo GNSS stop&go, con un'accuratezza 3D di circa 0.1m. Le altezze ortometriche sono state calcolate mediante Verto3 (ITALGEO99).

Oltre a questi, in prevalenza in modalità cinematica ma con le stesse modalità di trattamento del dato, sono stati rilevati circa altri 12000 punti con un'accuratezza 3D di circa 0.3m per effettuare la validazione dei modelli estratti (Figura 2, destra).

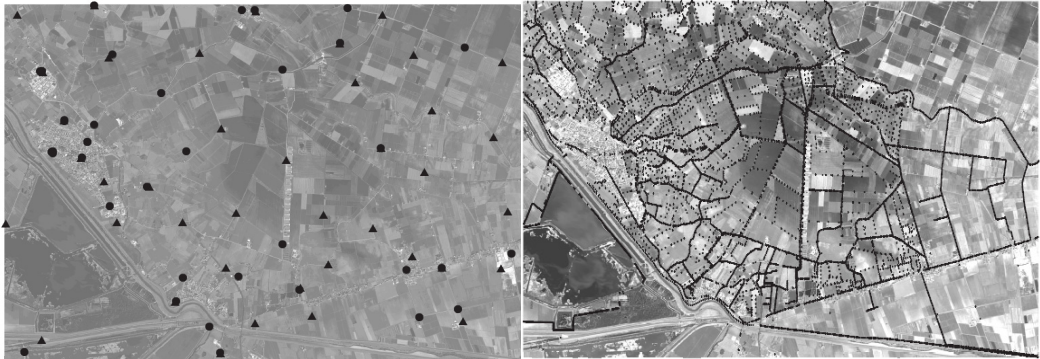


Figura 2 – Distribuzione di GCPs (▲) e CPs (●) (sinistra); distribuzione dei punti di validazione acquisiti mediante rilievo GNSS (destra).

Inoltre, sempre per validare i DSM estratti, è stato utilizzato un DSM di riferimento di passo 2x2m derivante da un volo aerofotogrammetrico eseguito nel luglio 2008 (il GSD di ciascuna immagine è di circa 0.43m) in cui il processo di estrazione automatico è stato manualmente editato nelle zone con valori bassi di correlazione, ricavando con visione 3D di stereo coppie di fotogrammi adiacenti un più corretto valore di quota.

### Orientamento della stereocoppia

I test di orientamento sono stati eseguiti utilizzando il modello rigoroso implementato in OrthoEngine (Toutin, 2004), basato su un approccio fotogrammetrico standard che sfrutta le equazioni di collinearità per legare le coordinate terreno dei punti con i punti immagine.

Per valutare l'accuratezza del modello i 78 punti a terra rilevati sono stati divisi in due gruppi: 38 sono sempre stati impiegati come CPs, mentre per i restanti 40 sono stati eseguiti 17 test incrementando il numero di GCPs a partire da 8 con step di 2 punti.

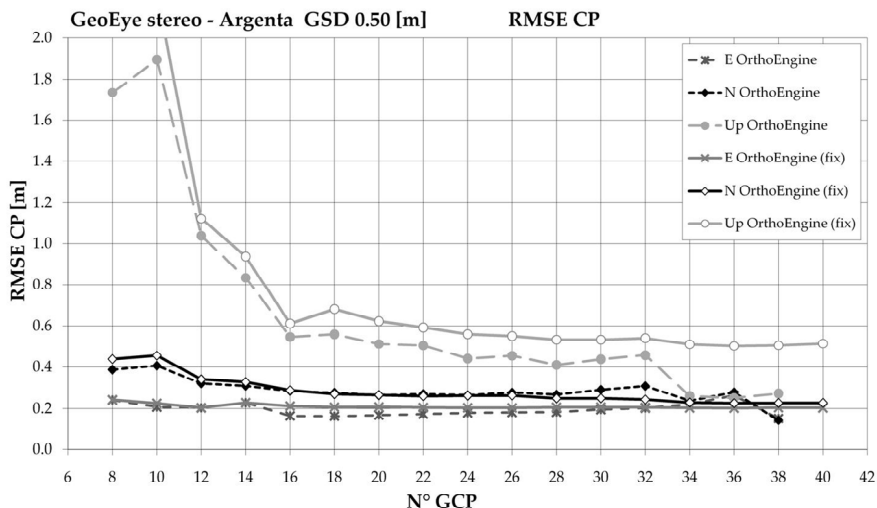


Figura 3 – Grafico con i residui sui CPs.

I risultati sono mostrati in Figura 3, in cui sono riportati sia i residui dei 38 CPs fissi (linea continua) che quelli ottenuti variando il numero di GCPs (linea tratteggiata), che mostrano tra loro un'ottima corrispondenza; per quanto riguarda le coordinate Est e Nord i residui si mantengono sempre al di sotto del pixel, con una stabilizzazione a partire dai 16 GCPs (su valori di 0.2m in Est e 0.25 in Nord). A partire da tale numero migliora anche il residuo in direzione Up, che però si mantiene sempre su valori pari a circa un pixel (valori attorno a 0.52m per i CPs fissi e variabili tra 0.25-0.45m per i CPs variabili in numero).

### Image matching ed estrazione del DSM

Fase successiva è stata l'estrazione del DSM, eseguita sia sulla banda pancromatica che sulla NIR (*test* precedenti avevano già mostrato l'inutilità nel *matching* di PCI con le bande RGB). Generata l'immagine epipolare, è stato avviato il processo automatico di generazione del modello, senza però effettuare il riempimento automatico delle zone di *No data*, per evitare il conseguente effetto di *smoothing* sull'intero modello estratto (indicato con *Orig* nei confronti). Dato però il carattere fortemente rurale dell'area analizzata, solo il 40% ha avuto esito positivo nella fase di *matching*: in particolare sono stati riconosciuti i centri abitati e le strade, sia quelle asfaltate che le capezzagne nelle aree coltivate; praticamente tutti i campi, invece (in quel periodo quasi tutti solamente arati o coperti da manto erboso), sono risultati troppo omogenei per permettere al *software* di ottenere un alto coefficiente di correlazione (Figura 4).

Per riempire tali aree prive di informazioni, un *editing* manuale sarebbe stato troppo oneroso in termini di risorse umane, per cui si sono testate due procedure automatiche:

- il riempimento automatico presente in OrthoEngine nello *step* di geocodifica del DSM estratto (indicato con *PCI* nei confronti);
- l'opzione di *fill* presente in ArcMap 9.3, specifica per il riempimento di aree in immagini raster (indicato con *GIS* nei confronti).

In entrambi i casi, però, dall'analisi dei DSM è risultato che anche i valori di quota delle aree precedentemente estratte venivano modificati: se ciò è comprensibile per come è impostato il comando nel *toolbox* in ArcMap, in OrthoEngine ci si aspettava che il filtro agisse esclusivamente nelle aree prive di dato. La presenza di errori nella valutazione della quota o di oggetti isolati a quota sensibilmente differente (piccoli edifici, alberi isolati), ha fatto inoltre sì che tale imprecisione si ripercuotesse sull'intera area riempita, con variazioni in quota di alcuni metri certamente non presenti nella realtà.

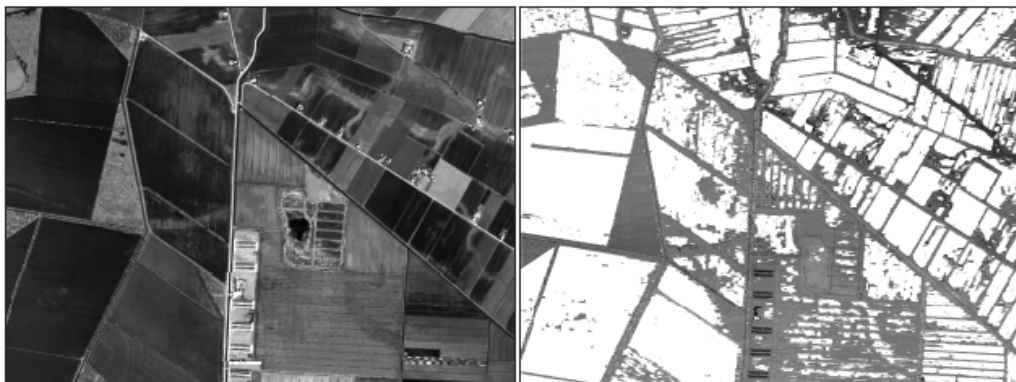


Figura 4 – Immagine GeoEye (a sinistra) e DSM estratto mediante OrthoEngine (a destra): per la maggior parte dei campi coltivati non si ha l'estrazione di un valore di quota (pixel bianchi).

Per tale motivo, sempre in ambiente GIS, è stata sviluppata una procedura che, in questa prima fase della sperimentazione, esegue un *buffer* di 2m di ogni area priva di informazioni, per poi colmare i *No data* con il valor medio di tutti i pixel presenti nell'area così estratta (indicato con *UNIFE* nei

confronti). Questa approssimazione è stata ritenuta accettabile dato che l'area in esame è tutta pianeggiante e che le variazioni di quota tra i singoli campi e le strade che li attraversano sono inferiori al metro. I DSMs estratti ed editati con le tre procedure sono stati pertanto confrontati sia con i punti rilevati mediante GNSS (*RasterValue* - Quota punto) che con il DSM di riferimento (*RasterValue* - Quota riferimento) (Figura 5 e 6).

	Pan 1px				Pan 2px				Pan 4px				NIR				
	Orig	PCI	GIS	UNIFE	Orig	PCI	GIS	UNIFE	Orig	PCI	GIS	UNIFE	Orig	PCI	GIS	UNIFE	
All	Mean	-0.08	-0.03	-0.12	-0.16	-0.08	-0.05	-0.12	-0.12	-0.11	-0.19	-0.12	-0.11	-0.27	-0.23	-0.28	-0.28
	StDv	1.57	1.63	1.52	1.96	1.34	1.61	1.31	1.45	1.26	1.43	1.24	1.27	2.44	2.48	2.44	2.47
	RMSE	1.57	1.63	1.52	1.97	1.34	1.61	1.32	1.45	1.26	1.44	1.25	1.27	2.45	2.49	2.46	2.49
Zone edif	Mean	-0.26	-0.20	-0.26	-0.25	-0.23	-0.20	-0.23	-0.21	-0.24	-0.21	-0.24	-0.22	-0.29	-0.31	-0.29	-0.29
	StDv	1.19	1.17	1.19	1.23	1.07	1.15	1.07	1.10	0.98	0.87	0.98	1.01	1.34	1.30	1.34	1.34
	RMSE	1.22	1.19	1.22	1.26	1.09	1.17	1.09	1.12	1.01	0.89	1.01	1.03	1.37	1.34	1.37	1.37
Zone alb	Mean	0.20	0.23	-0.17	0.15	0.18	0.22	0.18	0.17	0.20	0.18	0.20	0.19	-0.20	-0.21	-0.20	-0.24
	StDv	1.19	1.21	1.21	1.27	1.16	1.24	1.16	1.18	1.16	1.21	1.16	1.18	1.50	1.46	1.50	1.55
	RMSE	1.21	1.23	1.22	1.28	1.17	1.26	1.17	1.19	1.18	1.22	1.18	1.20	1.51	1.48	1.51	1.57
Campi	Mean	-0.11	-0.05	-0.15	-0.19	-0.11	-0.08	-0.15	-0.15	-0.14	-0.24	-0.16	-0.14	-0.28	-0.23	-0.29	-0.29
	StDv	1.63	1.70	1.57	2.05	1.37	1.66	1.33	1.49	1.28	1.47	1.26	1.29	2.58	2.62	2.58	2.60
	RMSE	1.63	1.70	1.58	2.06	1.37	1.66	1.34	1.50	1.29	1.49	1.27	1.30	2.60	2.63	2.60	2.62

Figura 5 – Risultati dei confronti tra i DSMs estratti (per le immagini Pan 1px per valutare le potenzialità massime dell'immagine, 2px come passo standard, 4px per un confronto diretto con i risultati della NIR, estratta solo a passo 1px) ed i punti rilevati mediante GNSS (tutti i valori sono espressi in metri).

Oltre all'analisi sul totale dei punti, questi sono anche stati suddivisi per tipologia di copertura del suolo (Cilloccu, 2008), ottenendo così circa 500 punti in zone edificate, circa 1250 in zone alberate e i restanti 10000 in terreni agricoli. I risultati mostrano un buon andamento generale e comparabile per tutti i modelli, con valori medi degli scarti inferiori a  $\pm 0.3m$ , deviazioni standard molto contenute in tutti i casi, anche nelle zone edificate. Il pesante *editing* dei *No data* creati nel primo modello fa sì che i valori di RMSE nelle zone di campagna risultino i peggiori, con scarti che aumentano per la banda NIR: il *matching* aveva in questo caso dato percentuali di successo migliori, senza però eseguire la correlazione in modo corretto, come mostrano gli elevati valori di deviazione standard ottenuti dalla validazione.

	Pan_4px			NIR		
	Mean [m]	StDev [m]	RMSE [m]	Mean [m]	StDev [m]	RMSE [m]
Orig	-0.63	2.60	2.67	-0.60	5.19	5.22
PCI	-0.07	2.45	2.45	-0.51	5.70	5.72
GIS	-0.58	2.49	2.56	-0.66	5.02	5.06
UNIFE	-0.13	2.38	2.38	-0.47	5.01	5.03
PCI_edit	-0.17	3.74	3.75	0.37	9.11	9.12
GIS_edit	-0.77	1.61	1.78	-1.25	2.70	2.97
UNIFE_edit	-0.38	1.65	1.69	0.29	3.22	3.23

Figura 6 – Risultati dei confronti tra i DSM estratti ed il DSM di riferimento.

I risultati di Figura 6 mostrano valori in accordo con i confronti puntuali, in quanto anche in questo caso sono le aree editate ad avere gli scarti più elevati (gli scarti delle sole aree editate sono riportati nella seconda parte della tabella con *NomeModello\_edit*), mostrando dunque buoni risultati di PCI nelle aree correlate (tutti i centri abitati e le strade). Dall'analisi delle sole aree editate, si notano comunque differenze negli algoritmi di riempimento: quello automatico di ArcMap mostra sempre deviazioni standard più contenute, mentre PCI ha valori molto più elevati (in particolare nella banda NIR); la procedura da noi implementata in ArcMap mostra valori già in questa prima versione più che

soddisfacenti. In tutti i test si sono peraltro avuti risultati migliori rispetto a test condotti in precedenza su immagini Ikonos sempre acquisite nella provincia di Ferrara, finalizzati anch'essi alla valutazione di un possibile impiego nella modellazione idraulica dei DSMs estratti (Pellegrinelli et al., 2005).

### **Conclusioni**

In questo lavoro si è valutata l'accuratezza di DSM estratti da una stereocoppia GeoEye al fine di implementare i valori di quota ottenuti in modelli idraulici previsionali per la gestione di emergenze.

L'intero processo è stato svolto con PCI OrthoEngine, che ha mostrato buona accuratezza per quanto riguarda l'orientamento delle immagini, con residui sui GCPs inferiori al pixel già con 16 punti ben distribuiti sull'area indagata. L'*image matching* ha incontrato grandi difficoltà a causa dell'omogeneità del terreno, in gran parte costituito da campi coltivati, per cui sono state testate differenti procedure di *editing* dei *No data* lasciati in ambiente PCI ed ArcMap. I risultati mostrano buoni scarti nelle zone correttamente riconosciute in PCI, mentre le procedure di *fill* implementate risultano tra loro comparabili ed evidenziano scarti maggiori (di circa 1m), giustificabili con il fatto che in molti casi interi appezzamenti hanno restituito valori di *No data* nella fase di *matching*.

I risultati ottenuti sembrano comunque incoraggianti per un impiego del grigliato estratto nell'ambito della modellazione idraulica, seppur implementato assieme a dati derivanti da altre tecniche di misura per zone con variazioni in quota da modellare con precisioni elevate. Saranno comunque condotte ulteriori indagini sulle bande multispettrali, anche con software basati su differenti strategie di *matching*, ed inoltre la procedura implementata in ambiente GIS dovrà essere raffinata: già in questa prima fase si è rivelata comparabile nei risultati con quelle automatiche implementate in software commerciali, ma si prevede di migliorare l'algoritmo in modo da escludere eventuali *outlier* dalla media o elementi continui, quali strade in rilevato, adiacenti ad uno dei lati del poligono da editare.

### **Ringraziamenti**

Questo lavoro è stato sviluppato come parte del PRIN 2007 – Progetto Nazionale: *Rilievo e analisi multi-temporale in un Sistema di Informazioni Geo-spaziali per il monitoraggio dei movimenti e delle deformazioni di aree soggette a rischio territoriale* (coord. nazionale Prof. A. Capra) – Progetto dell'Unità operativa - *DEM da stereocoppie satellitari ad alta risoluzione per lo studio del rischio idraulico di territori soggetti ad esondazione fluviale* (coord. locale Prof. P. Russo)

### **Riferimenti bibliografici**

- Baiocchi V, Calcagni L, De Vendictis L, Crespi M, Iannucci G. (2004), "Estrazione di DEM da stereo coppie Ikonos", *Atti dell'8° Conferenza Nazionale ASITA*, Roma, 14/17-12-2004
- Capaldo P, Crespi M, De Vendictis L, Fratarcangeli F, Murchio G, Nascetti A, Pieralice F. (2010), "Geometric potentiality of GeoEye-1 in-track stereo pairs and accuracy assessment of generated Digital Surface Models", *Atti del 30° Symposium EARSeL*, Parigi, 31-05/03-06-2010
- Cilloccu F, Dequal S, Brovelli M, Crespi M, Lingua A. (2008), *Ortoimmagini 10K e modelli altimetrici - Specifiche tecniche*, CISIS
- Fratarcangeli F, Furini A, Nascetti A, Pellegrinelli A. (2010), "DEM extraction from high resolution satellite stereopairs to investigate the hydraulic hazard of area subjected to rivers flood", *Atti del 30° Symposium EARSeL*, Parigi 31-05/03-06-2010
- Pellegrinelli A, Perfetti N, Russo P. (2005), "Un'applicazione DEM da stereocoppia Ikonos", *Atti del Congresso Nazionale SIFET*, Palermo, 29/6-1/7-2005
- Toutin T. (2004), "Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods (review paper)", *International Journal of Remote Sensing*, 10, pp. 1893-1924
- Toutin T, Chénier R, Carbonneau Y. (2001) "3D geometric modelling of Ikonos geo images", *Atti dell'ISPRS Joint Workshop "High Resolution Mapping from Space"*, 19/21-09-2001, Hannover, Germany, CD-ROM, pp. 272-280