

LA QUALITÀ RADIOMETRICA E GEOMETRICA DELLE IMMAGINI ADS40

V. Casella (*), M. Franzini (**)

Dipartimento di Ingegneria Edile e del Territorio, Università di Pavia

(*) e-mail: vittorio.casella@unipv.it

(**) e-mail: marica.franzini@unipv.it

RIASSUNTO

La nota descrive un test che è stato organizzato congiuntamente dal Laboratorio di Geomatica del Dipartimento di Ingegneria Edile e del Territorio (DIET) dell'Università di Pavia e dalla Compagnia Generale Ripreseeree di Parma (CGR), per stimare l'accuratezza ottenibile dalle immagini della camera digitale Leica ADS40. Vengono descritti le integrazioni fatte al poligono di Pavia per svolgere il test; i voli effettuati ad hoc sul poligono, le misure svolte e i risultati conseguiti.

ABSTRACT

The paper describes a test jointly organized by the Laboratorio di Geomatica of the University of Pavia and by CGR of Parma. The aim of the test is to assess the accuracy which is attainable with the digital aerial photogrammetric camera Leica ADS40. Several items will be described: the new features which were added to Pavia's test site; the flights specifically performed; the measurements which have been taken on the images and the obtained results.

1. INTRODUZIONE

Le camere fotogrammetriche aeree digitali sono comparse sul mercato solo recentemente e la loro diffusione è ancora bassa.

E' di grande interesse dunque realizzare test sistematici e rigorosi sulle accuratezze ottenibili e sui problemi che si incontrano quando si usano le immagini della ADS40. In questo senso si sono incontrate le esigenze, diverse ma complementari, dei ricercatori del Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia e della CGR: la curiosità scientifica dei primi per una analisi approfondita di una nuova tecnologia e l'esigenza della Ditta di avere una validazione rigorosa di questi nuovi prodotti, che sono in corso di realizzazione.

Per portare a termine il test, si è anzitutto provveduto a integrare il poligono di Pavia, che già includeva circa 180 punti di controllo artificiali di 35 cm di lato, con 50 marker artificiali aventi la dimensione di 60 cm. L'uso che più verosimilmente verrà fatto della ADS40 riguarda quote relative di volo comprese fra 2000 e 6000 metri e, soprattutto per i valori più elevati, la visibilità dei marker da 35 cm non è adeguata. Successivamente, nel mese di agosto 2004, sono stati effettuati complessi voli alle quote relative di 2000, 4000 e 6000 metri. In ciascuno di essi sono stati acquisiti dei blocchi ordinari, costituiti da strisciate Est-Ovest, e delle ulteriori strisciate a forma di croce, che potrebbero in futuro essere utilizzate per la calibrazione della camera.

E' di grande interesse che la CGR abbia utilizzato un aereo abbastanza grande da consentire di montare anche una camera fotogrammetrica tradizionale, dotata di sistema GPS/IMU, che ha lavorato in contemporanea con la ADS40: ciò consentirà di effettuare comparazioni sulla qualità radiometrica e metrica di due tipi di immagini, acquisite contestualmente.

Il test descritto dalla nota è consistito nella comparazione tra le due tipologie di immagini digitali, native e scansite, e nella misura fotogrammetrica dei punti CKP, che erano stati in

precedenza misurati con GPS in modalità rapido-statica, con ridondanza relativa pari a 2.

La nota descrive alcuni aspetti della camera usata, nella Sezione 2; i voli effettuati sul poligono di Pavia sono illustrati nella Sezione 3; la Sezione 4 presenta i risultati relativi all'analisi radiometrica; la Sezione 5 espone quella che potrebbe essere definita la teoria degli errori per la presa normale della ADS40, che consente di individuare gli ordini di grandezza degli errori attesi; la Sezione 6 illustra e commenta le misure fatte e i risultati ottenuti; la Sezione 7 si sofferma infine sulle conclusioni del lavoro e descrive gli ulteriori sviluppi.

2. ALCUNE CARATTERISTICHE DELLA CAMERA ADS40

Fra i punti di forza della camera Leica, vi è indubbiamente il fatto che tutte le immagini vengano acquisite dallo stesso obiettivo e che la geometria di presa sia facilmente modificabile semplicemente spostando sul piano focale le barrette dei sensori. Ciò ha consentito alla CGR personalizzare la camera, ovvero di chiedere una impostazione diversa da quella originariamente proposta dalla Leica; per quanto riguarda le viste *backward* e *forward*, la camera CGR è dotata delle usuali doppie barrette pancromatiche sfalsate; le tre bande *red*, *green* e *blue* sono invece acquisite in posizione rigorosamente nadirale (Figura 1); la conseguenza positiva di tale impostazione è che l'unica immagine a colori, che viene usata anche per la produzione di ortofoto, è esente da effetti prospettici nella direzione di volo; per contro non viene acquisita la terza immagine pancromatica, al posto della quale si usa la componente verde. Sono inoltre presenti, inclinati in avanti, tre sensori che acquisiscono nelle bande del *green*, *red* e *near-infrared* per la creazione di immagini falso-colore (Figura 2). Evidentemente la configurazione richiesta da CGR è interessante in quanto la Leica, da qualche tempo a questa parte, offre la camera con la configurazione richiesta da CGR.

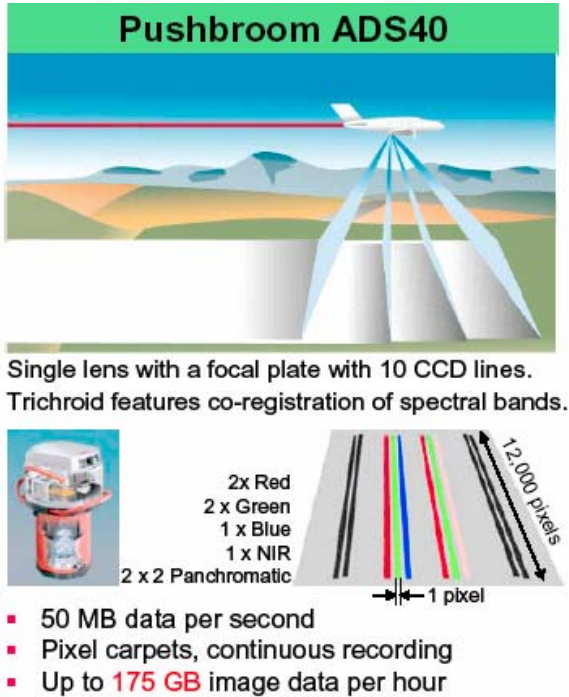


Figura 1: Specifiche del sensore ADS40

La camera ha una lunghezza focale di 62.77 mm; le barrette dei sensori sono costituite da 12000 elementi di dimensione 6.5 micron; la lunghezza complessiva del sensore è pertanto di 78 mm; il FOV nominale è 64°. Le prese *backward* e *forward* sono inclinate rispetto alla verticale rispettivamente di 14.2° e 28.4°; le barrette dei sensori, disposte come detto sul piano focale, ortogonalmente alla direzione di volo, hanno una distanza dalle barrette nadirali rispettivamente di 15.88 mm e 33.94 mm.

La camera ADS40 acquisisce inoltre le immagini con una profondità di 12 bit con i tradizionali 8 delle immagini scansite. Un maggior numero di livelli di grigio (o un maggior numero di toni nelle componenti delle immagini a colori), 16 volte superiore agli usuali 256, offre benefici riconducibili essenzialmente a tre ambiti: la possibilità di individuare particolari di piccola dimensione, che non sono leggibili nelle immagini scansite, a parità di GSD; la possibilità di *vedere* dentro alle ombre, cioè di leggere il territorio anche nelle zone poco illuminate; una miglior precisione di collimazione e una conseguente miglior precisione delle misure fotogrammetriche, a parità delle altre condizioni.

Poiché sono sempre disponibili tre immagini stereoscopiche, le pancromatiche *backward* e *forward* e la verde (o RGB) nadirale, la restituzione può essere in linea di principio condotta su tre possibili modelli: *nadir-backward*, *nadir-*

forward e *backward-forward*. Tali combinazioni sono caratterizzate da basi e rapporti base/altezza molto diversi: un argomento che verrà approfondito in successivi stadi della ricerca è proprio se sia quantificabile la diversa qualità ottenibile nelle tre possibilità.

Gli elementi esposti consentono di costruire interessanti comparazioni, come quella contenuta nella Tabella 1. In essa, la prima colonna rappresenta l'altezza relativa di volo; seguono le basi di presa per i modelli *nadir-backward*, *nadir-forward* e *backward-forward*; di seguito vengono dati il fattore di scala delle immagini, n , l'abbracciamento L e il GSD (*Ground Sampling Distance*, cioè la dimensione della proiezione a terra del pixel). Le ultime quattro colonne comparano base di presa, fattore di scala, abbracciamento e GSD per una camera tradizionale analogica, determinati *sotto le condizioni*: scansione a 14 micron, lunghezza focale 150 mm, ricoprimento longitudinale pari al 60%. La Tabella 1 evidenzia come i fattori di scala n delle immagini ADS40 e tradizionali non siano confrontabili, in quanto le immagini sono state acquisite con lunghezze focali diverse e scansionate con diverse densità. E' piuttosto il GSD a costituire un ragionevole parametro di confronto e, rispetto a questo parametro, le due camere hanno valori molto vicini. L'abbracciamento delle due camere è grossolanamente lo stesso, anche se la camera tradizionale presenta valori maggiori del 23%. Per quanto riguarda le basi di presa, il modello *nadir-forward* presenta sostanzialmente gli stessi valori della camera tradizionale, mentre il modello *nadir-backward* ha valori pari alla metà e il modello *backward-forward* ha una base quasi doppia.



Figura 2: Strisciate acquisite dal sensore ADS40

3. I VOLI REALIZZATI SUL POLIGONO DI PAVIA

La collaborazione fra il Laboratorio di Geomatica del DIET e la CGR relativa alla camera ADS40 dura da tempo: sono stati prima esaminati dati acquisiti da Leica sul territorio svizzero e successivamente voli acquisiti sul territorio italiano e sul poligono di Pavia in particolare.

Δh [m]	ADS40						Camera analogica			
	B_{nb} [m]	B_{nf} [m]	B_{bf} [m]	n	L [m]	GSD [m]	B [m]	n	L [m]	GSD [m]
2000	506	1081	1587	31862	2485	0,21	1227	13333	3067	0,19
4000	1012	2163	3175	63725	4971	0,41	2453	26667	6133	0,37
6000	1518	3244	4762	95587	7456	0,62	3680	40000	9200	0,56

Tabella 1 – Geometria delle prese per la ADS40 e per una camera tradizionale, a varie quote

Tuttavia è a partire dal luglio 2004 che allo studio sulla ADS40 è stato dato un carattere rigoroso e sistematico. Sono stati infatti creati nel poligono di Pavia 50 nuovi marker con una dimensione di 60 cm, studiata in modo da renderli visibili, sia pure con gradi differenti di dettaglio, sulle immagini acquisite alle tre altezze relative di volo considerate: 2000, 4000 e 6000 metri.

Successivamente, nel mese di agosto, sono stati effettuati complessi voli. In ciascuno di essi sono stati acquisiti dei blocchi ordinari, costituiti da strisciate Est-Ovest, e delle ulteriori strisciate a forma di croce, che potrebbero in futuro essere utilizzate per la calibrazione della camera.

L'aereo usato per i voli di agosto era abbastanza grande da consentire di montare anche una camera fotogrammetrica tradizionale, dotata di sistema GPS/IMU, che ha lavorato in contemporanea con la ADS40: sono dunque state acquisite, contestualmente e dalle stesse quote, immagini ADS40 e immagini tradizionali.

4. ANALISI RADIOMETRICA

Le figure 3 e 4 si riferiscono a immagini ADS40 e RC30 acquisite contemporaneamente da un'altezza sul terreno di 6000 metri. Le immagini prodotte dalla camera analogica sono state scansate a 14 micron; il GSD è 62 cm nel primo caso e 56 nel secondo, con un vantaggio di circa il 10% delle immagini RC30. Tuttavia le immagini mostrano chiaramente come le decorazioni presenti sul pavimento della piazza considerata siano meglio visibili sulle immagini digitali native che su quelle scansate. Ciò è dovuto al fatto che le prime hanno una profondità radiometrica maggiore e sono molto meno disturbate.

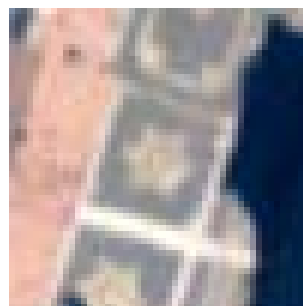


Figura 3: Immagine ADS40, dettaglio su un particolare della pavimentazione

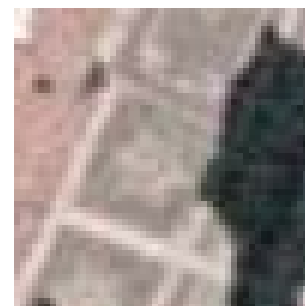


Figura 4: Immagine RC30, dettaglio su un particolare della pavimentazione

Le figure dalla 5 alla 8 si riferiscono ancora a immagini ADS40 e RC30 acquisite contemporaneamente da un'altezza sul terreno di 2000 metri; il GSD è questa volta di 21 e 19 cm rispettivamente. Tali immagini dimostrano la possibilità offerta dalla camera digitale di *vedere* dentro le ombre. Poiché la ADS40 sa misurare un numero di livelli di grigio (o un numero di toni nelle componenti delle immagini a colori) 8 volte maggiore degli usuali 256, essa sa distinguere anche le piccole sfumature che pure sono presenti nelle parti delle immagini coperte da ombra.

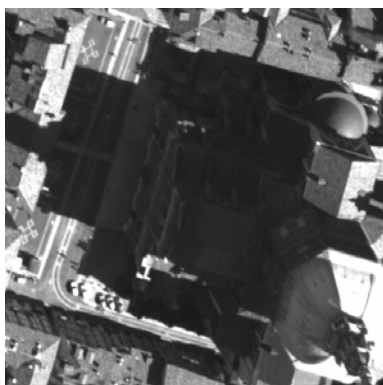


Figura 5: Immagine ADS40 originale



Figura 6: Immagine ADS40 ottimizzata



Figura 7: Immagine RC30 originale



Figura 8: Immagine RC30 ottimizzata

Le immagini presentate a sinistra sono quelle originarie, mentre quelle a destra sono state ottimizzate per l'edificio preso in considerazione, il Duomo di Pavia: ciò è necessario se si vuole *vedere* tutta l'informazione presente in una zona scura. Le ottimizzazioni evidenziano come il forte disturbo presente nelle immagini scansionate nasconda molta informazione che è invece percepibile nelle immagini digitali native.

Infine le immagini dalla 9 alla 12 fanno riferimento a immagini ADS40 e RC30 acquisite da un'altezza di 6000 metri ed evidenziano come la interpretazione dei tetti e l'individuazione dei dettagli, come le falde, sia migliore per le immagini digitali native.



Figura 9: Immagine ADS40: particolare dei tetti



Figura 10: Immagine RC30: particolare dei tetti



Figura 11: Immagine ADS40: dettaglio sull'andamento delle falde



Figura 12: Immagine RC30: dettaglio sull'andamento delle falde

5. TEORIA DEGLI ERRORI PER LA ADS40

Un significativo termine di paragone, quando si vuole analizzare la precisione della fotogrammetria classica, basata sulle immagini quadrate, è dato dalla teoria degli errori nel caso della presa normale. Si tratta di una ben nota idealizzazione nell'ambito della quale è possibile ricavare in forma chiusa la precisione delle coordinate restituite in funzione di pochi semplici parametri relativi alla geometria del volo e della precisione con cui vengono misurate le coordinate lastra. Le formule usate sono

$$\sigma_E = \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{c} \sigma\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{c} \frac{1}{B/\Delta h} \frac{x_1}{c} \sigma_P\right)^2}$$

$$\sigma_N = \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{c} \sigma\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{c} \frac{1}{B/\Delta h} \frac{y_1}{c} \sigma_P\right)^2} \quad (1)$$

$$\sigma_h = \frac{\Delta h}{c} \frac{1}{B/\Delta h} \sigma_P$$

in cui σ indica la precisione delle coordinate lastra e σ_P la precisione della parallasse x ; a σ_P si può assegnare il valore σ in caso di collimazioni stereoscopiche e il valore $\sqrt{2}\sigma$ in caso di collimazioni monoscopiche.

Le grandezze a primo membro indicano le precisioni delle coordinate restituite che, almeno per le componenti planimetriche, dipendono dal posto: punti che si trovano in differenti regioni del modello vengono misurati con una precisione diversa e le differenze sono significative. Si dovrebbe scrivere, rigorosamente, $\sigma_E(x_1)$ e $\sigma_N(y_1)$.

D'altra parte quando si effettua una stima empirica della precisione delle misure fotogrammetriche, come nel caso della presente nota, si usano molti punti CKP sparsi sul terreno, che evidentemente si trovano in posizioni diverse nei modelli in cui vengono restituiti; tuttavia si stima per essi un'unica accuratezza, ipotizzando semplicisticamente che gli scarti trovati siano estrazioni da un'unica variabile casuale. Ciò equivale a stimare il valor medio di $\sigma_E(x_1)$ e $\sigma_N(y_1)$, che può essere calcolato come media pesata nel modo seguente

$$\sigma_E = \frac{\int_a^b dx_1 x_1 \sigma_E(x_1)}{\int_a^b dx_1 x_1} \quad \sigma_N = \frac{\int_c^d dy_1 y_1 \sigma_N(y_1)}{\int_c^d dy_1 y_1} \quad (2)$$

dove per gli estremi di integrazione si ha, ipotizzando che al solito il ricoprimento sia del 60%

$$a = -0.1l \quad b = 0.5l \quad c = -0.5l \quad d = 0.5l \quad (3)$$

Δh [m]	Camera tradizionale			ADS40					
	σ_E [m]	σ_N [m]	σ_h [m]	Modello <i>nadir-backward</i>			Modello <i>nadir-forward</i>		
	σ_E [m]	σ_N [m]	σ_h [m]	σ_E [m]	σ_N [m]	σ_h [m]	σ_E [m]	σ_N [m]	σ_h [m]
2000	0,13	0,15	0,15	0,22	0,26	0,39	0,13	0,15	0,18
4000	0,26	0,31	0,32	0,45	0,54	0,80	0,26	0,31	0,37
6000	0,40	0,47	0,48	0,69	0,81	1,21	0,39	0,47	0,57

Tabella 2 – Stime degli errori per la camera tradizionale e per la ADS40, effettuate in base al modello della presa normale

dove l indica la dimensione del fotogramma. La non simmetria degli estremi di integrazione implica che σ_N sia maggiore di σ_E , per i voli in direzione Est-Ovest, cosa che è capitato talvolta di notare in lavori eseguiti con grande cura. Le formule (2) possono essere usate per stimare gli errori della ADS40 modificando gli estremi di integrazione nel modo seguente

$$a = 0 \quad b = 0 \quad c = -0.5l \quad d = 0.5l$$

dove l e gli altri vari parametri devono prendere i valori specificati nella Sezione 2 e nella Tabella 1. La Tabella 2 riassume per i tre voli considerati, gli errori previsti per la camera tradizionale e per i modelli *nadir-backward* e *nadir-forward* della ADS40. Non è stata presa in considerazione la combinazione *backward-forward* perché è caratterizzata da una base troppo grande che ostacola la corretta visualizzazione e interpretazione delle immagini. Si è ipotizzato che le collimazioni avvengano in stereoscopia e si è assunto un errore di misura delle coordinate lastra pari a metà pixel. Si può notare come le precisioni teoriche del modello *nadir-backward* siano peggiori che nella camera tradizionale. Il modello *nadir-forward*, che ha caratteristiche geometriche confrontabili con quelle della camera tradizionale, presenta sostanzialmente gli stessi errori.

6. LE VERIFICHE SVOLTE

Le verifiche svolte finora riguardano alcune strisciate di ogni volo e i soli modelli *nadir-backward*. Ci si potrebbe chiedere come mai si sia cominciato dal modello meno favorito, in termini geometrici, rispetto alla camera tradizionale e la risposta è duplice: anzitutto perché quanto descritto nella nota

è semplicemente il primo stadio di una articolata ricerca; inoltre il modello *nadir-backward* viene indicato da Leica come il più favorevole per la qualità della visione stereoscopica.

La ADS40, come molte altre camere digitali, è dotata di un sistema di posizionamento GPS/IMU per cui le immagini vengono orientate direttamente. In fase di restituzione è possibile usare gli orientamenti esterni diretti oppure calcolare una TA a partire da quelli. Nella nota vengono mostrati i risultati che si ottengono dopo il calcolo di una triangolazione con 5 punti di appoggio.

La Tabella 3 indica per i tre voli i principali parametri statistici delle differenze fra le coordinate restituite e quelle misurate con GPS. Si noti che vengono indicate le misure effettuate e non il numero dei punti collimati in quanto alcuni punti sono stati collimati su più strisciate. Per favorire la comparazione, la Tabella 4 raccoglie, per i tre voli, gli eqm determinati sperimentalmente e quelli previsti con la teoria degli errori. In generale le precisioni sperimentali sono migliori di quelle previste per il modello *nadir-backward* e, in particolare per i voli alti, si avvicinano alle precisioni previste per il modello *nadir-forward*, caratterizzato da una geometria molto più favorevole. In alcuni casi la componente N fa eccezione e risulta essere molto più dispersa della componente E ; di tale fenomeno si dovranno indagare le cause. Se si pensa all'errore delle misure fotogrammetriche come alla somma di una componente sostanzialmente indipendente dalla quota di volo e di una che è proporzionale ad essa (stimata dalla teoria degli errori descritta nella Sezione 5), i dati ottenuti suggeriscono che la prima è dominante nel volo 2000 e che la seconda è più piccola di quanto previsto dalla teoria degli errori.

	Volo 2000, 54 misure			Volo 4000, 75 misure			Volo 6000, 48 misure		
	E	N	h	E	N	h	E	N	h
Min [m]	-0,23	-0,67	-0,83	-0,53	-0,87	-1,34	-0,83	-0,72	-1,54
Max [m]	0,39	0,77	0,62	0,50	1,11	0,56	0,73	0,82	1,98
Media [m]	0,05	-0,04	-0,04	-0,04	0,07	-0,27	0,00	0,14	0,08
Sqm [m]	0,18	0,37	0,35	0,24	0,44	0,39	0,33	0,38	0,78
Eqm [m]	0,18	0,37	0,35	0,24	0,44	0,48	0,33	0,40	0,77

Tabella 3 – Accuratezza delle misure fotogrammetriche eseguite sulle immagini della ADS40

Δh [m]	Leica ADS40								
	Risultati sperimentali modello <i>nadir-backward</i>			Errori previsti modello <i>nadir-backward</i>			Errori previsti modello <i>nadir-forward</i>		
	σ_E [m]	σ_N [m]	σ_h [m]	σ_E [m]	σ_N [m]	σ_h [m]	σ_E [m]	σ_N [m]	σ_h [m]
2000	0,18	0,37	0,35	0,22	0,26	0,39	0,13	0,15	0,18
4000	0,24	0,44	0,48	0,45	0,54	0,80	0,26	0,31	0,37
6000	0,33	0,40	0,77	0,69	0,81	1,21	0,39	0,47	0,57

Tabella 4 – Comparazione fra le accuratezze determinate sperimentalmente e quelle previste teoricamente, per la camera ADS40

7. CONCLUSIONI

Sono stati presentati i primi risultati di un lavoro di validazione della camera Leica ADS40, relativi ai soli modelli *nadir-backward* di tre blocchi caratterizzati da altezze relative di volo di 2000, 4000 e 6000 metri. I risultati sono in generale meglio di quanto previsto dalla teoria, soprattutto per le quote maggiori.

I successivi stadi della ricerca riguarderanno l'osservazione sistematica di tutte le strisciate e la considerazione dei modelli *nadir-forward*, oltre ai modelli *nadir-backward*, già osservati. Verranno anche osservati i fotogrammi tradizionali acquisiti contestualmente e verrà effettuata una comparazione delle accuratèzze ottenibili con le due tecnologie.

8. RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Compagnia Generale Ripreseeree di Parma per aver fornito le immagini e gli orientamenti esterni usati nel lavoro descritto.

9. BIBLIOGRAFIA

- Galetto R., Spalla A., Casella V., Franzini M. (2003). *Il progetto di ricerca Cofin2002 sull'uso di sensori inerziali integrati in fotogrammetria aerea*. Atti 7° Conferenza Nazionale ASITA – Verona, 28-31 Ottobre 2003, Volume II, pp. 1909-1910.
- Yotsumata T., Okagawa M., Fukuzawa Y., Tachibana K., Sasagawa T. (2002). *Investigation for mapping accuracy of the airborne digital sensor ADS40*. ISPRS Commission I, Mid-Term Symposium in conjunction with Pecora 15/Land Satellite Information, IV Conference, November 10-15, 2002, Denver, CO, USA, pubblicato su CD.
- Hinsken L., Miller S., Tempelmann U., Uebbing R., Walker S. (2002). *Triangulation of LH Systems' ADS40 imagery using ORIMA GPS/IMU*. ISPRS Commission III, Symposium 2002, September 9-13, 2002, Graz, Austria, pubblicato su CD.
- Casella V., Banchini G. (2004). *Verifica delle qualità metriche della camera Leica ADS40*. Atti della VIII Conferenza ASITA, pagg. 1983-1988, Roma, Italia, 14-17 dicembre 2004.
- Casella V., Cavazzini A., Gentili G. (2004). *La camera aerofotogrammetria digitale Leica ADS40: i nuovi orizzonti nelle applicazioni delle riprese aeree digitali per la rappresentazione del territorio*. Atti della VIII Conferenza ASITA, pagg. 1983-1988, Roma, Italia, 14-17 dicembre 2004.
- Casella V., Franzini M., Banchini G., Basili D., Gentili G. (2004). *La qualità radiometrica delle immagini ADS40 e la sua influenza sulla precisione dei collimazione e di restituzione*. Atti della IX Conferenza ASITA, pagg. 625-628, Catania, Italia, 15-18 novembre 2005.