

ANALISI ED INTEGRAZIONE DI DIFFERENTI METODOLOGIE DI RILIEVO, CLASSICHE, LASER SCANNING E FOTOGRAMMETRICHE TERRESTRI FINALIZZATE AL RILIEVO ARCHITETTONICO AD ALTA RISOLUZIONE

Massimo FABRIS, Vladimiro ACHILLI, Ginevra BOATTO,
Denis BRAGAGNOLO, Andrea MENIN, Giuseppe SALEMI

Laboratorio di Rilevamento e Geomatica – DAUR, Università di Padova, Via Marzolo, 9 – 35131 Padova,
Tel: 049-8271614, fax: 049-8275582, e-mail: massimo.fabris@unipd.it

Riassunto

Le metodologie di rilievo ad alta risoluzione quali il *laser scanning* e la fotogrammetria digitale terrestri, che trovano differenti applicazioni nei settori architettonico e dei Beni Culturali, sono caratterizzate da differenti procedure operative e presentano precisioni diverse.

In questo lavoro le informazioni ottenute dal rilievo tridimensionale di una porzione di edificio “morfologicamente complessa” (ma geometricamente semplice e regolare), mediante l’utilizzo del *laser scanning* e della fotogrammetria digitale terrestri, integrate con le metodologie topografiche classiche, sono state confrontate allo scopo di valutare le precisioni dei differenti *dataset*.

Abstract

High resolution laser scanning and digital photogrammetry terrestrial methodologies are used in many applications in the field of architectural surveying and cultural heritage; however, they are characterized by different operative procedures and by different precisions.

In this work the two methodologies, integrated with the classical topography, were used for the 3D survey of a part of building “morphologically complex” but geometrically simple and regular; the acquired data were compared in order to analyse the precisions coming from different datasets.

Introduzione

Le metodologie *laser scanning* e fotogrammetriche terrestri vengono utilizzate per l’estrazione di modelli 3D di superfici anche mediante l’integrazione con le tecniche topografiche classiche per la creazione di reti locali di riferimento, necessarie per il rilievo dei punti d’appoggio; in questo modo, è possibile co-registrare tutti i dati ottenuti in uno stesso sistema di riferimento ed, eventualmente, integrare lacune di dati che, per le caratteristiche delle diverse metodiche, possono risultare in zone d’ombra, di sottosquadri, ecc. Tuttavia, le diverse metodologie sono caratterizzate da procedure operative, precisioni e risoluzioni differenti che devono essere valutate in funzione dello strumento utilizzato, dell’oggetto rilevato e dello scopo del rilievo stesso.

La precisione di un *laser scanner* terrestre dipende principalmente dal dispositivo che deflette l’impulso *laser* mediante piccole rotazioni secondo direzioni perpendicolari (in genere costituito da due specchi nella configurazione di galvanometro ottico); dalla portata, ossia dalla misura del “tempo di volo” o dal confronto delle fasi dei segnali di uscita ed entrata (nel caso dei *laser scanner* a triangolazione la portata diminuisce con il quadrato della distanza tra *scanner* ed oggetto); dalla risoluzione, intesa come la capacità di individuare piccoli oggetti nella nuvola di punti (in pratica la combinazione tra il più piccolo incremento dell’angolo tra due punti successivi e la dimensione dell’impronta del *laser* sull’oggetto); dagli effetti di bordo sugli oggetti (in corrispondenza ai quali sia i *laser scanner* a tempo di volo che quelli a triangolazione possono fornire un numero elevato di

classi di punti definiti non corretti); dalla riflettività delle superfici (in genere superfici bianche presentano forti riflessioni); dalle condizioni ambientali (temperatura, atmosfera, ecc.) (Lichti et al., 2000; Balzani et al., 2001; Boehler et al., 2003; Schulz, Ingensand, 2004; Staiger, 2005).

La precisione della fotogrammetria digitale, nel caso di prese normali e per l'estrazione di modelli di superfici, dipende, principalmente, dal rapporto tra la distanza e la base di presa, dalla qualità delle immagini, dalla tessitura delle immagini stesse, dalla risoluzione sull'oggetto, dal passo della griglia, dal passo di acquisizione e dal metodo di interpolazione (Kraus, 1998; Forlani, Pinto, 1999). In questo lavoro, i due approcci, integrati con le metodologie topografiche classiche, sono stati applicati per il rilievo tridimensionale di una superficie test, relativa ad una porzione dell'edificio della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Padova.

I rilievi laser scanning

I rilievi *laser scanning* sono stati effettuati con due differenti strumenti: il *Leica* (ex *Cyrix*) HDS2500 a tempo di volo ed il *Konica Minolta Vivid 910* a triangolazione.

Nel primo caso, in corrispondenza alla porzione di edificio rilevata (figura 1a) il *laser scanner*, che per distanze da 1.5 a 50 m dall'oggetto fornisce un'accuratezza di 6 mm sul singolo punto, è stato posto ad una distanza di 5 m dalla parete in due differenti stazionamenti: in questo modo sono state acquisite due nuvole di punti con passo medio di 0.5 cm da due differenti punti di vista, riducendo al massimo le zone d'ombra e le porzioni in sottosquadro.

Prima delle scansioni, sulla parete sono stati posti 6 *target* altamente retroriflettenti (caratterizzati dalla presenza di un cerchio bianco su fondo blu, visibili in figura 1a) in corrispondenza ai quali sono state effettuate scansioni di dettaglio, definendo con precisione il baricentro dei segnali attraverso la media dei punti acquisiti.

I *target* sono stati successivamente rilevati con la stazione integrata *Leica TC2003* mediante intersezioni in avanti multiple, associando al centro dei *target* stessi coordinate 3D riferite ad un sistema locale. Sono state acquisite anche le coordinate di altri 14 segnali fotogrammetrici ed altri 50 punti naturali (principalmente gli spigoli dei conci) nello stesso sistema di riferimento locale, ottenendo un *dataset* di 70 punti con precisione variabile nell'intervallo 0.01÷0.63 mm, utile per i successivi confronti.

L'allineamento delle due nuvole di punti è stato effettuato con il software *Cyclone*® v. 5.3 secondo la modalità *survey registration*: ogni singola scansione è stata, quindi, roto-traslata direttamente nel sistema di riferimento locale mediante l'imposizione delle coordinate dei *target* della scansione (Gaudini et al., 2006); in questo modo è stato possibile georeferenziare in uno stesso sistema di riferimento le due scansioni con un errore massimo di mosaicatura di 1 mm, ottenendo il relativo modello tridimensionale (figura 1b).

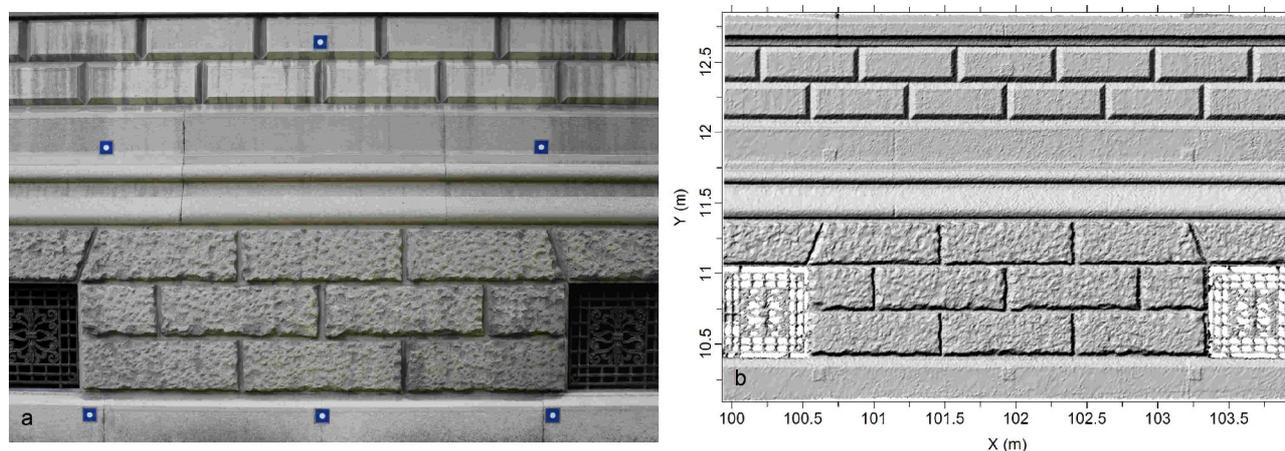


Figura 1 – a) Porzione della parete rilevata con i 6 target retroriflettenti;
b) Modello tridimensionale ottenuto dopo l'allineamento (laser scanner HDS2500)

Il *laser scanner Konica Minolta Vivid 910* è uno strumento a triangolazione con risoluzione variabile da 0.039 mm a 0.090 mm in funzione dell'obiettivo utilizzato e della distanza *laser scanner-oggetto* (variabile da 0.6 m a 2.5 m): in questo caso, il raggio *laser* viene proiettato sulla superficie di interesse dalla base dello strumento, mentre superiormente è posizionato il ricevitore del segnale di ritorno (elemento foto-sensibile CCD); conoscendo la distanza sorgente-camera CCD e gli angoli di emissione e ricezione è possibile calcolare la distanza strumento-punto misurato tramite una triangolazione.

Nel caso esaminato, il *laser scanner* è stato posto ad una distanza di 2 m dalla parete e, utilizzando una lente "wide" con distanza focale di 8 mm, sono state effettuate 10 scansioni con sovrapposizioni di circa 40÷50%, acquisendo anche i segnali fotogrammetrici. Il successivo allineamento nello stesso sistema di riferimento è stato effettuato con il software PET© (*Polygonal Editing Tool*) proprietario della *Konica Minolta* con errore di co-registrazione massimo di 0.71 mm. Il modello 3D ottenuto è stato, quindi, roto-traslato nel sistema dei punti d'appoggio, imponendo le coordinate rispettive dei segnali fotogrammetrici mediante il software *Reconstructor*©. In questo modo è stato possibile ottenere il modello 3D finale (figura 2) nello stesso sistema dei dati *laser scanning* HDS2500.

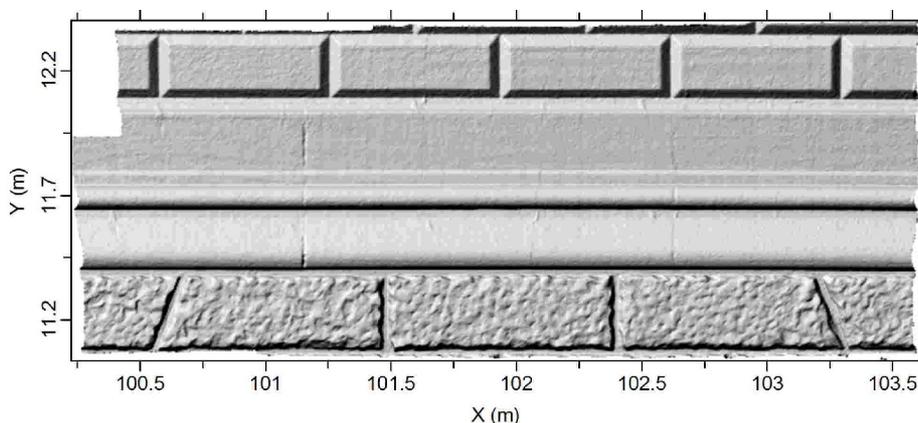


Figura 2 – Modello tridimensionale ottenuto dopo l'allineamento (*laser scanner Konica Minolta Vivid 910*)

Il rilievo fotogrammetrico

Il rilievo fotogrammetrico terrestre è stato effettuato con la camera digitale metrica Canon EOS 1 – Ds Mark II con risoluzione di 16.7 *Megapixel*. Le prese sono state effettuate da una distanza di 3 m dalla parete per mezzo della barra calibrata *Cyclop*, estremamente utile per garantire la perpendicolarità tra gli assi e la base di presa. Le acquisizioni sono state effettuate in modo da garantire una sovrapposizione tra immagini successive pari al 95% (basi di 10 cm su una singola strisciata) per limitare le zone d'ombra ed elementi in sottosquadro (soprattutto nelle zone tra un concio e l'altro). Complessivamente, sono state acquisite 13 immagini ottenendo sovrapposizioni differenti tra immagini differenti (se la sovrapposizione tra immagini successive è pari al 95%, la sovrapposizione tra la prima e la terza immagine è pari al 90% e, procedendo in questo modo, la sovrapposizione tra la prima e l'ultima immagine è pari al 40%); sono stati acquisiti anche i segnali fotogrammetrici.

L'elaborazione delle immagini, per ottenere i modelli stereoscopici, è stata effettuata nell'ambiente software *Socet Set*© v. 5.3 con residui di orientamento compatibili con la scala media delle immagini e la dimensione del *pixel* sulla superficie. Quali punti fotografici d'appoggio sono stati utilizzati i 14 segnali fotogrammetrici con i 6 *target laser scanning*, garantendo la co-registrazione con i dati delle scansioni *laser*.

Successivamente, considerando coppie di immagini con sovrapposizioni differenti, sono stati estratti automaticamente 12 modelli digitali delle superfici (DSM – *Digital Surface Model*) con

griglie di passo 0.5 cm, considerando le immagini con sovrapposizioni del 95%, 90%, 85%, ..., 40%. Di seguito sono riportati i modelli fotogrammetrici automatici ottenuti con sovrapposizione del 40% e del 95% (figure 3a e 3b) e la distribuzione planimetrica del rispettivo parametro di correlazione FOM (*Figures Of Merit*) (figure 3c e 3d) (Baltsavias et al., 1996; Baltsavias et al., 2001; BAE Systems, 2006).

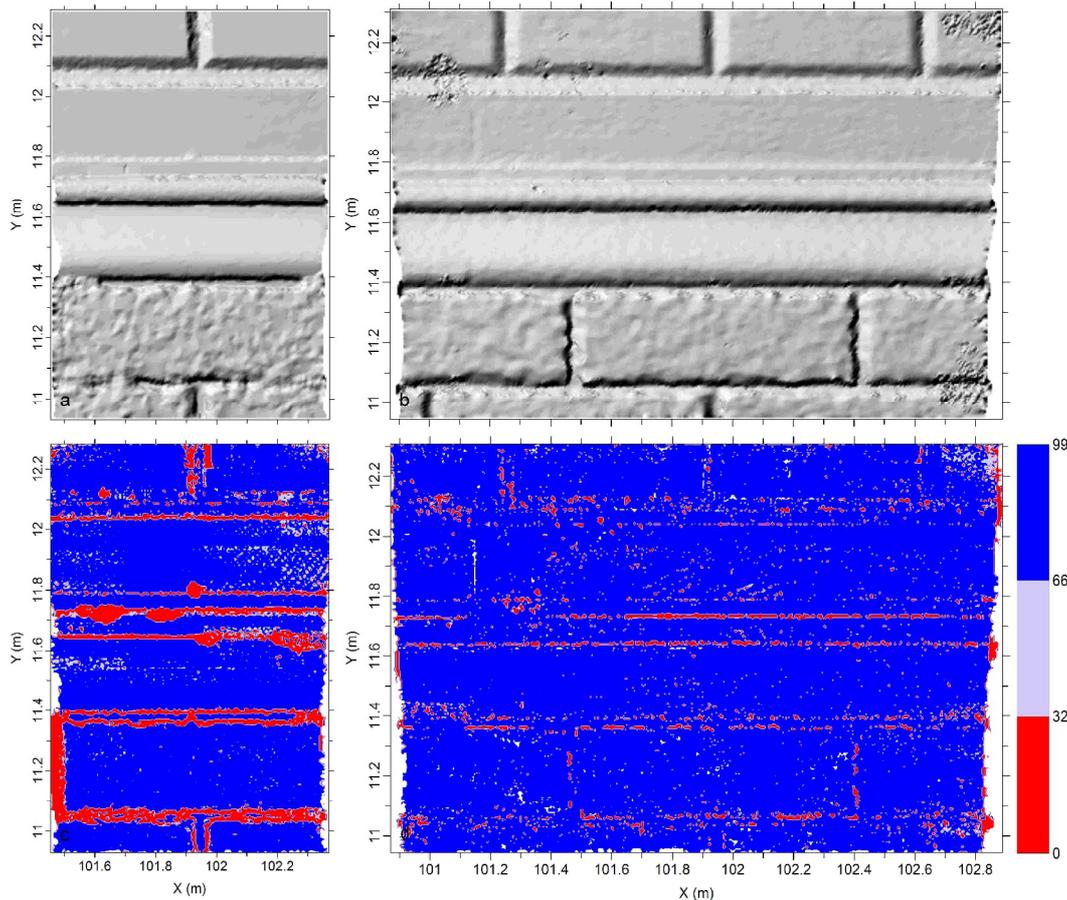


Figura 3 – a) Estrazione automatica di DSM con sovrapposizione delle immagini del 40%;
 b) Estrazione automatica di DSM con sovrapposizione delle immagini del 95%;
 c) Distribuzione planimetrica del parametro FOM (sovrapposizione 40%);
 d) Distribuzione planimetrica del parametro FOM (sovrapposizione 95%);

Confronti tra i modelli 3D ottenuti con le differenti metodologie

Il modello 3D ottenuto con il *laser scanner* HDS2500 è stato confrontato con i 50 punti naturali misurati con la stazione integrata TC2003 e non utilizzati né per effettuare le roto-traslazioni, né per gli orientamenti delle immagini fotogrammetriche (*check points*): i residui hanno fornito un valore medio di 0.13 cm e una deviazione standard di 0.22 cm indicando, quindi, un'elevata precisione dei dati ottenuti con l'HDS2500 anche per le ridotte distanze strumento-punto rilevato (circa 5 m).

Lo stesso confronto, effettuato tra i punti naturali ed il modello ottenuto con il *laser scanner* Konica Minolta Vivid 910, ha fornito un valore medio di 0.18 cm e deviazione standard di 1.48 cm, superiore alla precisione delle metodologie. Anche il confronto tra i dati ottenuti con i due *laser scanner* ha fornito valori di media e deviazione standard molto elevati (0.67 cm e 1.13 cm): non è risultato un problema di co-registrazione, quanto, piuttosto, un effetto legato o alle singole acquisizioni o all'allineamento delle scansioni (il modello 3D finale risulta infatti non piano ma convesso).

Il modello *laser scanning* HDS2500 è stato quindi confrontato con i DSM fotogrammetrici ottenuti dalle immagini con differenti sovrapposizioni. Vengono riportati i risultati del confronto ed i valori medi e la percentuale dei punti che presentano FOM minore di 33 (mancata correlazione) per le differenti sovrapposizioni tra le immagini (tabella 1).

Sovrapp. Immagini (%)	FOM		Confronto con HDS2500			
	Media	Minore 33 (%)	Valore Min. (cm)	Valore Max (cm)	Media (cm)	Dev. St. (cm)
40	76.82	14.39	-1.32	4.62	0.51	0.67
45	78.67	12.75	-0.97	4.60	0.50	0.58
50	78.53	12.00	-1.59	4.71	0.45	0.54
55	79.83	9.60	-1.53	4.52	0.42	0.51
60	77.75	12.95	-1.90	3.45	0.39	0.44
65	82.05	8.70	-1.75	3.36	0.38	0.47
70	79.98	11.06	-2.78	3.71	0.33	0.49
75	83.43	7.63	-2.52	3.40	0.19	0.52
80	82.11	9.21	-2.79	3.23	0.06	0.56
85	84.67	7.25	-2.91	3.31	0.43	0.57
90	85.80	8.20	-3.67	3.62	0.98	0.54
95	88.94	5.78	-1.33	3.31	0.97	0.55

Tabella 1 – Valori medi e percentuale dei punti che presentano FOM minore di 33 per le differenti sovrapposizioni tra le immagini. Confronti con il modello ottenuto con il laser scanner HDS2500

Dalla tabella 1 si nota come, all'aumentare della percentuale di sovrapposizione tra le immagini fotogrammetriche, mediamente si ha sia un incremento del FOM medio che una diminuzione della percentuale dei punti in corrispondenza ai quali la correlazione è stata insufficiente (FOM minore di 33), indicando quindi un generale miglioramento della correlazione automatica.

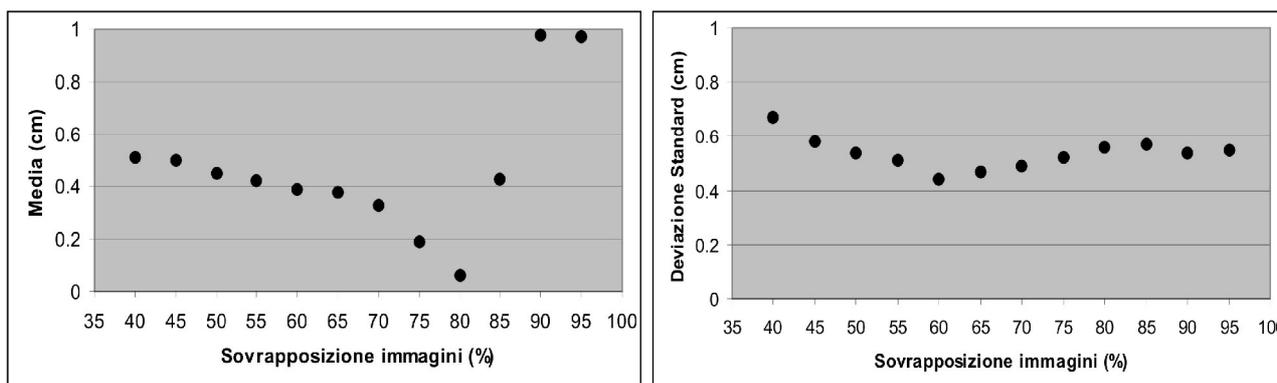


Figura 4 – Media e deviazione standard relative al confronto tra ciascun modello fotogrammetrico ed il modello laser scanning HDS2500

Si nota (figura 4) come la media risulta sempre positiva per la difficoltà di estrarre DSM fotogrammetrici accurati nelle aree di passaggio tra un concio e l'altro mentre la deviazione standard presenta un minimo in corrispondenza alla sovrapposizione tra le immagini pari al 60%;

questo valore, nel caso esaminato, rappresenta la percentuale che permette di ottenere risultati migliori nell'estrazione automatica di DSM.

Al diminuire della sovrapposizione aumenta la precisione teorica in base alla relazione che lega la distanza alla base di presa (Kraus, 1998), ma aumentano anche zone d'ombra ed elementi in sottosquadro che portano ad un peggioramento del risultato nel confronto con i dati *laser scanning*. All'aumentare della sovrapposizione, invece, si ha un netto peggioramento della precisione teorica, ma diminuiscono le zone d'ombra migliorando la correlazione proprio nelle zone di passaggio tra un concio e l'altro (figure 3c e 3d). Si nota anche che, tra l'80% e il 95% di sovrapposizione, la deviazione standard fornisce risultati simili (figura 4), non seguendo, pertanto, l'andamento della precisione teorica attesa.

Conclusioni e sviluppi futuri

I risultati hanno evidenziato precisioni di alcuni millimetri per il modello 3D ottenuto con il *laser scanner* HDS2500 e, nel caso delle acquisizioni fotogrammetriche terrestri, i DSM estratti dalle immagini con sovrapposizione del 60% hanno fornito i risultati migliori (deviazione standard del confronto con i dati *laser scanning* di 0.44 cm).

Analisi ulteriori verranno effettuate con il *laser scanner Konica Minolta Vivid 910* effettuando acquisizioni con diverse distanze strumento-superficie e utilizzando lenti con differenti distanze focali.

Bibliografia

- BAE Systems (2006), "SOCET SET – User's Manual", *BAE Systems*
- Baltsavias E P, Favey E, Bauder A, Bösch H, Pateraki M. (2001), "Digital surface modelling by airborne laser scanning and digital photogrammetry for glacier monitoring", *Photogrammetric Record*, 17, 98: 243-273
- Baltsavias E P, Li H, Stefanidis A, Sinning M, Mason S. (1996), "Comparison of two Digital Photogrammetric Systems with emphasis on DTM generation: case study glacier measurement", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31, B4: 104-110
- Balzani M, Pellegrinelli A, Perfetti N, Uccelli F. (2001), "A terrestrial 3D laser scanner: Accuracy tests", *Proceedings of the 18th CIPA Symposium*, Potsdam, Germany, 18 – 21 september, 2001: 445-453
- Boehler W, Bordas Vicent M, Marbs A. (2003), "Investigating laser scanner accuracy", *Proceedings of the 19th CIPA Symposium*, Antalya, Turkey, 30 september – 4 october, 2003, http://www-group.slac.stanford.edu/met/Align/Laser_Scanner/laserscanner_accuracy.pdf
- Forlani G, Pinto L. (1999) "La fotogrammetria digitale nel controllo delle variazioni morfologiche del terreno", *Atti della 3^a Conferenza Nazionale ASITA*, Napoli, 9 – 12 novembre 1999, 2: 755-756
- Gaudini G, Achilli V, Bragagnolo D, Fabris M, Menin A, Ongarato F, Salemi G. (2006), "Rilievo e restituzione 3D dell'Arca Scaligera di Cansignorio (Verona) mediante metodologie laser scanning e fotogrammetria digitale", *Atti della 10^a Conferenza Nazionale ASITA*, Bolzano, 14 – 17 novembre 2006, 2: 1095-1102
- Kraus K. (1998), *Fotogrammetria (vol. 1)*, Edizioni Levrotto & Bella, Torino
- Lichti D D, Stewart M P, Tsakiri M, Snow A. J. (2000), "Calibration and testing of a terrestrial laser scanner", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, Part B5: 485-492
- Schulz T, Ingensand H. (2004), "Influencing Variables, Precision and Accuracy of Terrestrial Laser Scanners", *Proceedings of INGENEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying*, Bratislava, Slovakia, 11 – 13 November, 2004, http://www-group.slac.stanford.edu/met/Align/Laser_Scanner/SchulzT_TS2_Bratislava_2004.pdf
- Staiger R. (2005), "The Geometrical Quality of Terrestrial Laser Scanner (TLS)", *Proceedings of From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8*, Cairo, Egypt, April 16-21, 2005, http://www.fig.net/pub/cairo/abstracts/ts_38/ts38_05_staiger_abs.pdf