

# ESTRAZIONE DI CARTOGRAFIA 3D CONFRONTO TRA FOTOGRAMMETRIA E LASER SCANNING

di Maria Antonia Brovelli, Massimiliano Cannata, Silvia Grassi

*In questi ultimi anni si sta affermando sempre più l'utilizzo della nuova tecnica di rilievo aereo con laser a scansione (o LIDAR, Light Detection And Ranging) come alternativa alla tecnica più tradizionale della fotogrammetria. Al fine di evidenziare le potenzialità e i problemi ancora aperti di questa nuova metodologia è stato effettuato uno studio comparativo sulle precisioni relative a superfici del terreno derivate dai dati acquisiti con i due differenti metodi sull'area di Pavia; in particolare si sono utilizzate le carte 3-D del DSM (modello digitale di superficie) che modella tutti gli elementi presenti sulla superficie terrestre ed il DTM (modello digitale del terreno) che segue l'andamento del terreno vero e proprio, privo quindi di case, alberi, tralicci e quant'altro di artificiale.*

## RIPRESA CON TELEMETRO LASER AEROTRASPORTATO

I dati originali, forniti nell'ambito del progetto COFIN98 «Riprese con laser a scansione, integrato da GPS, per la produzione di modelli numerici finalizzati alla realizzazione di cartografia 3D e ortofoto digitali», sono stati derivati da una ripresa aerea effettuata ad una quota di circa 850 metri utilizzando il telemetro laser Topoeye della ditta Toposys e resi disponibili come punti sparsi registrati dal sensore e non interpolati (dati grezzi o raw). A partire da questi dati, Toposys ha fornito un secondo formato di dati di tipo grigliato (grid) dove ogni singolo nodo della griglia, di passo 1 metro, rappresenta la media dei valori grezzi rilevati (circa 6-8) che ricadono in un quadrato di un metro di lato, centrato nel nodo stesso. I dati distribuiti sono riferiti alla proiezione UTM (datum ED50) e le altezze sono quelle ortometriche. Dai dati grigliati si è derivata una carta raster di risoluzione 1 metro assegnando ad ogni cella il valore del nodo che vi ricade nel centro: questa rappresenta il modello digitale di superficie (DSM), le cui caratteristiche sono evidenziate in tabella 1.

A partire da questa superficie è poi possibile, tramite un metodo sviluppato presso il laboratorio di Geomatica del Politecnico di Milano, campus di Como, derivare in modo automatico il relativo DTM. Utilizzando le informazioni del gradiente del DSM e degli scarti, tra questa superficie e l'interpolazione con spline bicubiche a norma ibrida dei dati originali, la procedura è in grado di riconoscere i contorni degli oggetti; in una seconda fase, utilizzando degli algoritmi di «region growing» tali oggetti vengono completamente identificati e rimossi in modo da poter derivare il DTM interpolando i soli punti appartenenti al terreno con spline bilineari a norma ibrida.

TABELLA 1 Caratteristiche DSM

Coordinate degli estremi della griglia considerata	Nord: 5'005'345.000 Sud: 5'002'097.000 Est: 515'245.000 Ovest: 508'000.000
Dimensioni dell'area	N - S = 3248 m E - O = 7245 m
Passo della griglia	E=N=1 metro
Numero di nodi	23'531'760
Numero di 'no data'	4'200'537
Quota massima	245.44 m
Quota minima	25.64 m
Quota media	68.30 m
s.q.m.	9.965 m

## TRIANGOLAZIONE AEREA E RESTITUZIONE FOTOGRAMMETRICA

Per quanto riguarda la restituzione fotogrammetrica è stata eseguita la triangolazione aerea di un blocco di 18 fotogrammi del volo a bassa quota su Pavia (scala media fotogrammi 1:5.500), effettuato contestualmente alle riprese laser. Per l'orientamento del modello fotogrammetrico sono stati determinati 17 punti di appoggio a terra, rilevati mediante la tecnica GPS e forniti in coordinate UTM-WGS84 successivamente trasformate nel sistema UTM-ED50 (fuso32) per uniformarle ai dati laser a disposizione. La trasformazione di datum è stata eseguita tramite una rototraslazione con cambiamento di scala utilizzando valori calcolati su 5 punti IGM95 attorno a Pavia. Le quote ortometriche sono state ottenute da quelle ellissoidiche GPS mediante applicazione del modello geoidico ITALGEO99. Uno schema del blocco triangolato e dei punti d'appoggio utilizzati è riportato in figura 1. La triangolazione aerea è stata eseguita con il sistema fotogrammetrico digitale PCI APEX Orthoengine™. I risultati della triangolazione forniscono valori dei residui di pochi centimetri sui punti di appoggio. Tale risultato trova giustificazione dalla elevata precisione con la quale sono stati rilevati i suddetti punti e dalla ridotta dimensione del pixel nei fotogrammi digitali (1 pixel = circa 10 cm a terra). Con lo stesso sistema fotogrammetrico PCI APEX Orthoengine™, è stata quindi eseguita l'estrazione automatica del DSM. Per una maggiore veridicità del dato relativo alle zone campione d'indagine, si è proceduto ad una editazione manuale di punti sparsi estratti con sistema automatico seguita da un successivo ricampionamento in formato GRID. Le caratteristiche qualitative dei suddetti dati sono tali da consentirne l'impiego per il confronto con quelli laser.

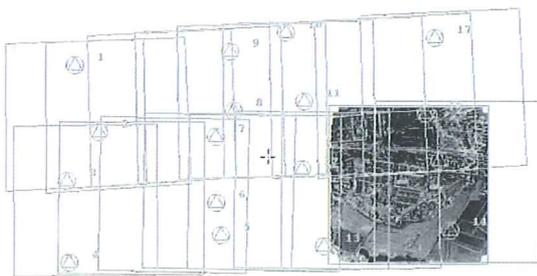


FIGURA 1 Blocco della triangolazione aerea e punti di appoggio



FIGURA 2  
Carta delle differenze di  
quota tra DSM  
fotogrammetrico e DSM  
LIDAR

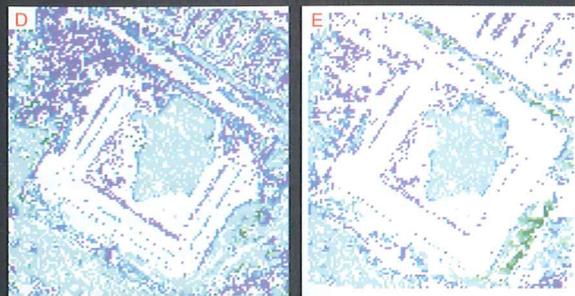
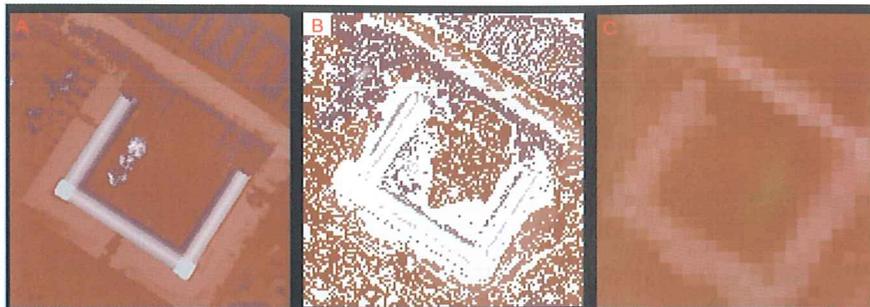
TABELLA 2 Frequenze delle differenze di quota per classi

intervallo	numerosità	percentuale
$ X  < 1$ m	449'048	48.28%
$1 \text{ m} <  X  < 2$ m	120'031	12.91%
$2 \text{ m} <  X  < 5$ m	135'169	14.53%
$5 \text{ m} <  X  < 10$ m	121'225	13.03%
$10 \text{ m} <  X  < 20$ m	97'359	10.47%

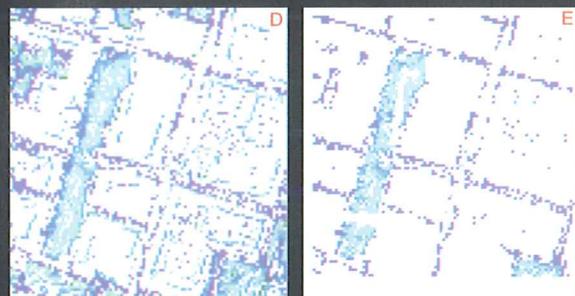
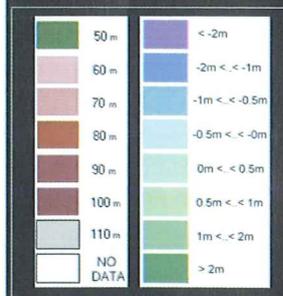
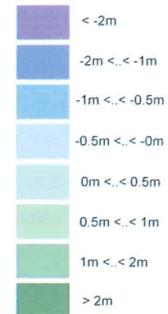
## CONFRONTO

Come primo passo si è valutata la carta della differenze di quota tra il DTM LIDAR ed il DSM fotogrammetrico opportunamente mascherato, in modo da poter confrontare solo i dati corrispondenti al terreno vero e proprio; in tabella 2 sono mostrate le numerosità per classi di differenza di quota: Dalla tabella 2 si deduce che le due superfici presentano notevoli differenze; infatti il 38.8% dei dati differisce in quota per valori superiori, in modulo, a 2 metri. Per verificare la congruenza del DTM si sono comparate le quote dei punti d'appoggio fotogrammetrici, che come già evidenziato sono ad elevata precisione, con una stima del modello del terreno valutata rispetto alle stesse posizioni planimetriche. Il confronto ha evidenziato una media delle differenze di quota pari a  $0,336 \pm 0,30$  m verificando la sostanziale correttezza del DTM. Si è poi confrontata la superficie del DSM LIDAR (di precisione nominale  $\pm 15/30$  cm) con il DSM fotogrammetrico: anche in questo caso, come si può facilmente osservare in fig. 2, si sono evidenziate differenze di quota elevate concentrate soprattutto nell'intorno dell'abitato (verde scuro).

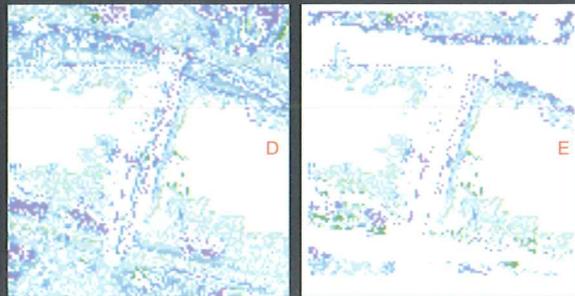
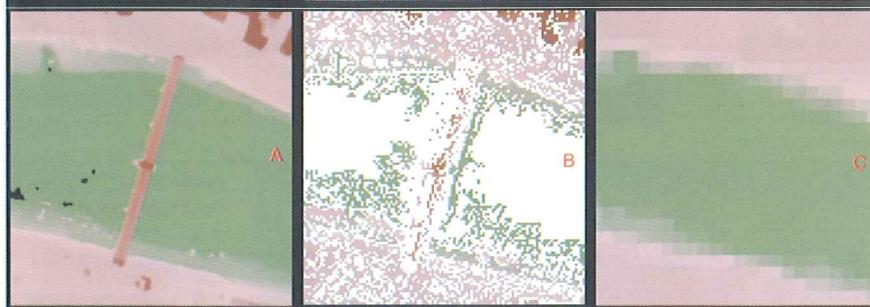
A fronte di una tale differenze tra le superfici, si sono scelte quattro zone campione per analizzare nel dettaglio il comportamento del sistema: seguono le immagini derivate (figg. 3, 4, 5 e 6) dove il DSM LIDAR è a risoluzione di 1 m, il DSM fotogrammetrico è a risoluzione 2 m tranne che per la fig. 7 dove è a risoluzione 1 m, il DTM LIDAR è a risoluzione 10 m.



**FIGURA 3**  
PARTICOLARE SU CASTELLO:  
DSM LIDAR (A),  
DSM fotogrammetrico (B),  
DTM LIDAR (C),  
differenze tra DSM LIDAR e DSM  
fotogrammetrico(D),  
differenze tra DTM LIDAR e DSM  
fotogrammetrico «mascherato» (E)



**FIGURA 4**  
PARTICOLARE SU STRADA AMPIA:  
DSM LIDAR (A),  
DSM fotogrammetrico (B),  
DTM LIDAR (C),  
differenze tra DSM LIDAR e DSM  
fotogrammetrico(D),  
differenze tra DTM LIDAR e DSM  
fotogrammetrico «mascherato» (E)

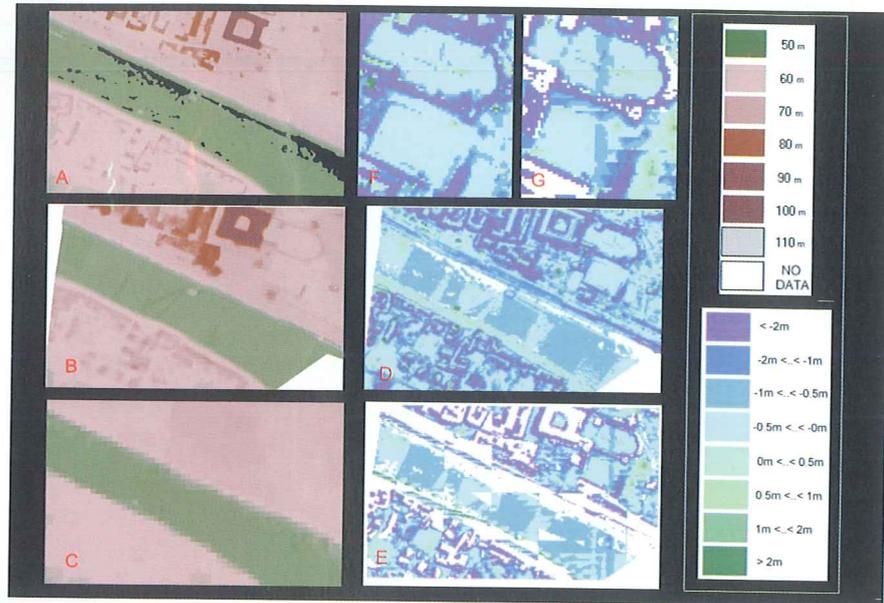


**FIGURA 5**  
PARTICOLARE SU PONTE:  
DSM LIDAR (A),  
DSM fotogrammetrico (B),  
DTM LIDAR (C),  
differenze tra DSM LIDAR  
e DSM fotogrammetrico (D),  
differenze tra DTM LIDAR e DSM  
fotogrammetrico «mascherato» (E)

FIGURA 6

PARTICOLARE SU SPONDA E CAMPO DA CALCIO:

DSM LIDAR (A), DSM fotogrammetrico (B), DTM LIDAR (C), differenze tra DSM LIDAR e DSM fotogrammetrico (D), differenze tra DTM LIDAR e DSM fotogrammetrico «mascherato» (E), differenze tra DSM LIDAR e DSM fotogrammetrico su campo di calcio (F), differenze tra DTM LIDAR e DSM fotogrammetrico «mascherato» su campo di calcio (G)



In presenza di elementi che producono ombre (es. ponte sul fiume, fig. 6) o di particolari nascosti da occlusioni prospettiche (es. strade strette comprese tra due edifici, fig. 5) il DSM fotogrammetrico non riproduce il reale andamento del terreno: in tali aree né la correlazione automatica né la collimazione manuale consentono di raggiungere risultati soddisfacenti per una descrizione corretta dell'area analizzata proprio a causa della difficoltà di individuare sui fotogrammi i punti significativi. Soprattutto in corrispondenza di edificato denso, non potendo misurare punti sul terreno, verranno necessariamente applicati algoritmi di interpolazione che generano quindi una superficie di quota simile a quella degli edifici circostanti introducendo degli errori di notevole entità (alcuni metri) principalmente dove le ombre e le occlusioni prospettiche sono più numerose. La fig. 7 mostra un esempio di quanto è stato appena descritto, le quote del DSM LIDAR e DSM fotogrammetrico nei punti 4 e 6 posti sulle sommità degli edifici risultano infatti congruenti mentre nel punto 5 si osservano differenze di quota di circa 17 metri; nel caso invece di un'area più ampia e meno densamente edificata le differenze risultano decisamente inferiori come è possibile notare in corrispondenza dei punti 1, 2 e 3. Si noti inoltre come le quote del DTM siano anch'esse congruenti con i valori osservati ed in particolare nel punto 5 risultano in linea con i valori del terreno misurati nei punti 2 e 7. Quindi, in corrispondenza di zone caratterizzate da edificato poco denso (come si può osservare anche dalla figura 3) e relativamente priva di brusche oscillazioni, i due metodi appaiono entrambi di precisione elevata e paragonabile; a conferma di ciò si sono analizzate due zone relative ad un campo di calcio ed al prato interno al castello.



FIGURA 7

ZONA STRADA:

fotogramma aereo con valori delle superfici calcolate in alcuni punti campione

Si è così potuto evidenziare un errore presente nel DTM LIDAR, infatti, per superare i problemi di esaurimento di spazio di memoria in fase di elaborazione il metodo automatico di estrazione della superficie del terreno suddivide i dati in sottozone; nella loro mosaicatura si introducono alcuni errori, dovuti ad effetti di bordo, non del tutto trascurabili (questo effetto è evidenziato in fig. 6-G, relativa al campo di calcio, da una striscia verticale di colore più scuro che denota un aumento di differenze di quota); comunque tali differenze, come mostrato in tabella 3, si mantengono al di sotto del metro. Nella zona interna del castello, che non presenta questa problematica, le quote differiscono di soli  $16.80 \pm 11.19$  cm.

TABELLA 3 Statistiche delle carte delle differenze relative alle zone analizzate

Sottoarea esaminata	Carta delle differenze	Media	Sqm
Zona castello	DSM LIDAR - DSM fot	- 289.98 cm	512.85 cm
	DTM LIDAR - DSM fot	- 238.70 cm	474.00 cm
Zona strada	DSM LIDAR - DSM fot	- 489.59 cm	644.55 cm
	DTM LIDAR - DSM fot	- 575.09 cm	613.06 cm
Zona ponte	DSM LIDAR - DSM fot	- 105.96 cm	280.58 cm
	DTM LIDAR - DSM fot	- 90.28 cm	296.22 cm
Zona sponda	DSM LIDAR - DSM fot	- 162.72 cm	319.35 cm
	DTM LIDAR - DSM fot	- 193.13 cm	340.79 cm
Zona campo calcio	DSM LIDAR - DSM fot	- 27.75 cm	14.52 cm
	DTM LIDAR - DSM fot	- 40.46 cm	39.85 cm
Zona interna castello	DSM LIDAR - DSM fot	- 29.15 cm	8.27 cm
	DTM LIDAR - DSM fot	- 16.80 cm	11.19 cm

### CONCLUSIONI

Dai risultati dei test effettuati si evince che entrambi i metodi, in condizioni ottimali, sono in grado di fornire delle superfici del terreno di elevata precisione (dell'ordine della decina di centimetri) così come evidenziato dall'analisi relativa alla zona interna del castello; in genere però in presenza di urbanizzato denso il metodo LIDAR fornisce risultati più accurati grazie anche all'assetto quasi nadirale dell'asse di presa (con riduzione delle occlusioni prospettiche) e alla indipendenza dalle condizioni di luce (quindi senza zone d'ombra). Il problema della mosaicatura del DTM LIDAR è inoltre in fase di superamento con l'introduzione nel metodo di nuovi algoritmi per l'identificazione degli oggetti sovrapposti al terreno. ■

Maria Antonia Brovelli  
 Politecnico di Milano - DIAR - Campus Como  
[maria@ipmtf4.topo.polimi.it](mailto:maria@ipmtf4.topo.polimi.it)

Massimiliano Cannata  
 Politecnico di Milano - DIAR - Campus Como  
[maxi@geomatica.ing.unico.it](mailto:maxi@geomatica.ing.unico.it)

Silvia Grassi  
 Università degli Studi di Perugia  
 Facoltà di Ingegneria  
 Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale  
[labtopo@unipg.it](mailto:labtopo@unipg.it)



### BIBLIOGRAFIA

GEOMEDIA 3/2001 p. 9-10 e 5/ 2001 p. 34-35 per una descrizione del metodo.

Brovelli, Reguzzoni, Sansò, Venuti (2001). Procedure di ricostruzione del modello digitale del terreno da dati laser scanning, Bollettino SIFET

Brovelli, Reguzzoni, Sansò, Venuti (2001). Modelli matematici del terreno per mezzo di interpolatori a spline, Bollettino SIFET.

Brovelli, Cannata (2002). Digital terrain model reconstruction in urban areas from airborne laser scanning data: the method and the example of the town of pavia (northern italy). In stampa su «International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing» (IAPRS).

GEOMEDIA 5/2001, p.26-30 per una descrizione attuale dello stato dell'arte.