

# BACK TO THE FUTURE

## IL RITORNO DELLA FOTOGRAMMETRIA

di Fabio Remondino e Daniela Poli

IN QUESTI ULTIMI ANNI LA TECNICA FOTOGRAMMETRICA È STATA OSCURATA DALLA SENSORISTICA ATTIVA, TECNOLOGIA IN GRADO DI FORNIRE NUVOLE DI PUNTI DENSE, DETTAGLIATE E ACCURATE IN MODO SEMPLICE E RAPIDO. OGGI, LA TECNICA FOTOGRAMMETRICA, RIEMERGE COME TECNOLOGIA COMPETITIVA IN GRADO DI FORNIRE MODELLI DIGITALI PARAGONABILI A QUELLI OTTENUTI CON LA STRUMENTAZIONE ATTIVA.



Fig. 1 - Nuvola di punti da immagini aeree (GSD 10 cm) sul centro storico di Marsiglia visualizzata in modalità shaded.

Negli anni '70, G.D. Hardy, in un suo articolo sulla rivista americana *Photogrammetric Engineering* dal titolo "The future of Photogrammetry", diceva: "E' del tutto evidente che nonostante i nostri recenti sviluppi, abbiamo solo sfiorato le innumerevoli possibilità nell'uso della fotogrammetria". Fino alla fine degli anni '90 questi sviluppi si sono succeduti, particolarmente nel campo aereo e per applicazioni cartografiche, al fine di automatizzare la restituzione fotogrammetrica, prima in maniera analitica e poi con tecniche digitali.

Dagli anni 2000 in avanti, la sensoristica attiva (laser scanning terrestre ed aereo, strumenti a luce strutturata, fino ai recenti sviluppo del *Kinect*) ha però preso il sopravvento sulla tecnica fotogrammetrica. La popolarità dei laser scanner (a volte chiamati LiDAR nel caso aereo) era dovuta al fatto che questi strumenti potevano fornire nuvole di punti dense, dettagliate e accurate in maniera semplice e abbastanza rapida, nonché al fatto che tali nuvole potevano essere filtrate quasi automaticamente. L'assenza di informazioni RGB ad alta risoluzione rendeva comunque quasi sempre

necessaria una ripresa fotogrammetrica per la generazione di ortofoto (nel caso aereo) o modelli digitali foto-realistici (nel caso terrestre).

In quegli stessi anni la fotogrammetria non è stata in grado di fornire in modo efficiente nuvole di punti dense e, soprattutto nel settore terrestre, era ancora una tecnica interattiva e laboriosa. Molti ricercatori hanno così spostato i loro interessi verso il laser scanner, rallentando i progressi e gli sviluppi algoritmici per rendere più

automatico il processo di restituzione fotogrammetrica.

### SVILUPPI RECENTI

Recentemente, grazie ai miglioramenti dell'hardware e a nuovi algoritmi sviluppati soprattutto nel settore della Computer Vision, la fotogrammetria è riemersa come una tecnologia competitiva e in grado di fornire, in maniera automatica, nuvole di punti 3D e modelli digitali della superficie geometricamente paragonabili



Fig. 2 - Visualizzazione colour-code del modello digitale di Trento città (volo AVT Terra Mess-Flug, 2013, GSD di 10 cm).

a quelli ottenuti con strumentazione attiva. Gli sviluppi sono stati principalmente due:

- ▶ automazione della fase di orientamento delle immagini, senza la necessità di utilizzare target codificati: questa metodologia, normalmente chiamata *structure from motion* (termine coniato da Ullman nel 1976), permette di determinare simultaneamente la posizione degli scatti, i parametri interni delle camere (qualora necessario) e una prima ricostruzione 3D sparsa della scena rilevata. La metodologia si basa su operatori d'interesse e descrittori (ad es. SIFT o SURF), stimatori robusti e metodi ai minimi quadrati ("*bundle adjustment*") per la stima dei parametri incogniti.

- ▶ restituzione di nuvole di punti dense: questa fase, normalmente chiamata *dense image matching*, permette la generazione di nuvole dense e dettagliate con risoluzioni paragonabili ai sensori attivi. Uno degli approcci principali e implementato oggi in molti software commerciali è quello proposto da Hirschmueller (Hirschmueller, 2008) e detto *semi-global matching* (SGM). Ovviamente l'accuratezza della nuvola di punti 3D dipende non solo dalla densità dei punti 3D ricostruiti, ma soprattutto dall'accuratezza geometrica delle coordinate 3D, quindi dalla qualità dell'orientamento interno ed esterno delle immagini e dalla geometria di presa del blocco fotogrammetrico.

Numerosi software commerciali e open-source sono disponibili per il processamento automatico delle riprese aeree e terrestri in modo rigoroso e per la generazione di nuvole dense di punti 3D. L'elevato grado di automazione del processo fotogrammetrico ha portato alla realizzazione di soluzioni *black box*, anche open-source, che permettono di ottenere modelli 3D con un semplice click, rendendo facile la modellazione 3D da immagini anche ai non esperti. Tuttavia gli aspetti metrologici e l'affidabilità di questi metodi non dovrebbero essere trascurati, soprattutto se si intendono adottare tali soluzioni non solo per la ricostruzione 3D in tempo reale e la visualizzazione su web, ma anche per scopi di misurazione precisa. A tal proposito, va ricordato che le restituzioni fotogrammetriche si basano sempre su misurazioni ridondanti (2 o più raggi omologhi) e le stime delle coordinate 3D sono sempre

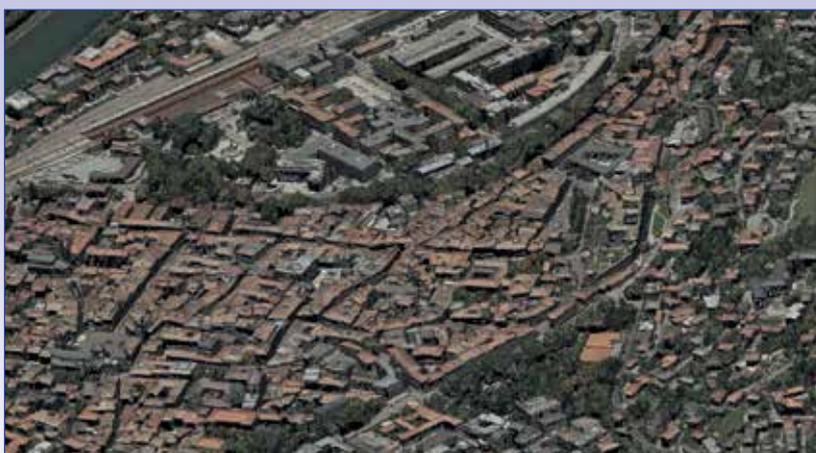


Fig. 3 - Nuvola di punti densa del centro storico di Trento generata da immagini aeree con un GSD di 10 cm (volo AVT Terra MessFlug, 2013).

	FOTO		LIDAR
Risoluzione tipica della nuvola	GSD: 10 cm	GSD: 25 cm	1-25 pt/m <sup>2</sup>
	Fino a 100 pt/m <sup>2</sup>	Fino a 16 pt/m <sup>2</sup>	
Accuratezza	Migliore in planimetria		Migliore in quota

Tab. 1 - Alcuni parametri tipici di un volo fotogrammetrico e LiDAR.

associate a indicatori di qualità derivati con procedure statistiche (al contrario delle nuvole di punti prodotte con strumentazione attiva).

Da un punto di vista operativo, mentre le nuvole di punti fornite da sensori attivi contengono già un'informazione metrica, l'approccio fotogrammetrico ha bisogno di punti d'appoggio (GCP) o una distanza nota per dare metricità al rilievo con accuratezze inferiori al pixel, richiedendo quindi sempre un intervento dell'operatore nella fase di elaborazione dei dati.

### GLI UTENTI E IL MERCATO

Il mercato, fino a pochi anni fa dominato principalmente da sensori attivi terrestri o aviotrasportati, ha oggi a disposizione più strumenti di misura e rilievo 3D basati su immagini. Gli utenti dei settori privati e

pubblici stanno prendendo consapevolezza delle potenzialità dei recenti sviluppi tecnologici nel campo fotogrammetrico (in particolare il *dense image matching*) e stanno scegliendo queste tecniche invece di quelle basate su scansioni laser, laddove possibile, per la generazione di nuvole dense 3D. Inoltre i costi ridotti degli strumenti e delle piattaforme (es. droni) e la disponibilità di soluzioni software *black-box* stanno favorendo la diffusione delle tecniche fotogrammetriche anche tra le comunità di non esperti. Senza dubbio la tecnica laser rimane uno strumento indispensabile in tutte le analisi che riguardano la valutazione dei volumi in ambiti forestali o comunque con importante presenza di vegetazione sul terreno.



Fig. 4 - Nuvola di punti da piattaforma UAV/ RPAS/drone degli edifici di FBK (Trento).

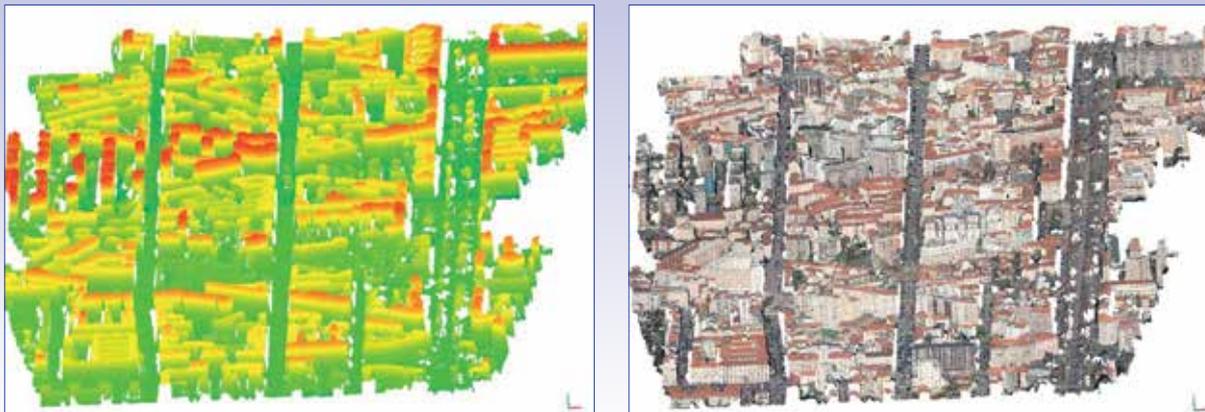


Fig. 5 - Nuvola di punti da immagini aeree oblique visualizzata in modalità colour-code e con colore.

Gli utenti e il mercato sono pertanto di fronte a due approcci oggi giorno complementari ma che necessitano un aggiornamento per quanto riguarda specifiche e capitolati.

**PROBLEMI APERTI E FUTURO**

Algoritmi automatici per l'elaborazione fotogrammetrica possono soffrire di problemi dovuti sia alla qualità radiometrica delle immagini (rumore, presenza di ombre, ecc.) sia alla presenza di particolari superfici (oggetti lucidi, assenza di tessitura, ecc.). Ciò può provocare la generazione di nuvole di punti rumorose o lisce anche se grazie alle nuove foto-camere con prestazioni radiometriche e geometriche sempre migliori, alcuni di questi problemi saranno fortemente ridotti. Molta attesa è riposta verso l'applicazione delle tecniche di *dense*

*image matching* alle immagini aeree acquisite da camere aerofotogrammetriche oblique, soprattutto in aree urbane. Grazie all'acquisizione simultanea in almeno 4 direzioni di vista e all'elevato ricoprimento tra le immagini e le strisciate, le aree occluse dagli edifici sono ridotte e pertanto l'individuazione dei punti omologhi anche alla base degli edifici e sulle facciate risulta facilitata. I primi risultati pubblicati sono molto promettenti. Rimane il fatto che la generazione automatica di nuvole di punti dense, fotogrammetriche o da strumentazione attiva, non sarà mai il risultato finale di un lavoro completo e la digitalizzazione di strutture o la consegna di elaborati progettuali o la mappatura del territorio rimangono ancora procedure manuali.



Fig. 6 - Nuvola di punti generata da immagini acquisite con una camera reflex montata su un elicottero (sistema HeliArm, Smart3K).

**BIBLIOGRAFIA**

GRUEN, A., 2012. Development and status of image matching in photogrammetry. *Photogrammetric Record*, 27(137), 36-57.  
 HIRSCHMUELLER, H., 2008. Stereo processing by semi-global matching and mutual information. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(2): 328-341.  
 REMONDINO, F., DELPIZZO, S., KERSTEN, T., TROISI, S., 2012. Low-cost and open-source solutions for automated image orientation - A critical overview. *Lecture Notes in Computer Science*, 7616: 40-54  
 REMONDINO, F., SPERA, M.G., NOCERINO, E., MENNA, F., NEX, F., 2014. State of the art in high density image matching. *Photogrammetric Record*, in press.  
 REMONDINO, F., RUPNIK, E., NEX, F., 2014. Automated processing of oblique imagery. *GIM International*, Vol. 28(2): 16-19.

**PAROLE CHIAVE**

FOTOGRAMMETRIA; IMAGE BASED; DENSE IMAGE MATCHING; NUVOLE DI PUNTI 3D; DRONI; LASER SCANNER

**ABSTRACT**

The 3D reconstruction of scenes and objects at different scales is generally performed today using range or image data. For more than a decade, range sensors have been growing in popularity as a fundamental source of dense point clouds for 3D documentation, mapping and visualization purposes at various scales. Over the same period, and until quite recently, photogrammetry was not able to efficiently deliver dense and detailed 3D point clouds similar to those produced by ranging instruments. Consequently range sensors became the dominant technology for dense 3D recording, replacing photogrammetry in many application areas. Thanks to recent significant improvements in hardware (such as better dynamics and radiometry) and algorithms (for example Structure from Motion (SfM) or innovative image matching algorithms), photogrammetry has re-emerged as a competitive technology and a resurgence of automated photogrammetric methods is now evident. Therefore the market, which was previously primarily dominated by airborne and terrestrial range sensors, nowadays offers more image-based measurement tools for 3D recording and modelling.

**AUTORI**

FABIO REMONDINO  
 remondino@fbk.eu

3D Optical Metrology unit, Fondazione Bruno Kessler, Trento.  
<http://3dom.fbk.eu>

DANIELA POLI  
 d.poli@terra-messflug.at  
 Vermessung AVT / Terra Messflug, Imst, Austria.  
<http://www.terra-messflug.at>