

# FOTOGRAMMETRIA DIGITALE E SCANSIONE LASER, SIMILITUDINI E DIFFERENZE: LA NOSTRA ESPERIENZA.

Luca D.MENCI (\*), Andrea CABRUCCI (\*\*)

(\*) menci software S.r.l., via Martiri di Civitella, 11 – Arezzo, tel 0575-300552, [luca@menci.com](mailto:luca@menci.com)

(\*\*) nikon instruments S.p.A., via Tevere 54, Sesto F.no – Firenze, tel 055-3009601, [cabrucci.a@nikon.co.jp](mailto:cabrucci.a@nikon.co.jp)

## Riassunto

Fotogrammetria digitale e laser scanning sollevano analoghe problematiche di gestione dati pur operando con tecnologie profondamente diverse.

Un primo aspetto riguarda la dimensione dei files che, di norma, è sempre rilevante, sia che si tratti di fotogrammi e vettori che di nuvole di punti e mesh. Devono essere pertanto messe a punto, in entrambi i casi, strategie di gestione in grado di parzializzare le elaborazioni. Inoltre, l'aspetto interpretativo, più o meno automatico, può essere affrontato con strumenti molto simili. L'evoluzione delle tecniche di acquisizione ha condotto negli ultimi tempi verso l'ottenimento di una enorme quantità di dati che necessita, comunque, di un sofisticato processo di elaborazione e post-produzione. Gli scanner ad alta risoluzione, sia bidimensionali che tridimensionali generano, con rapidità sempre crescente, dati numerici che risultano di norma esuberanti rispetto alle capacità di elaborazione dei computer comunemente diffusi, ma nel contempo la quantità dei dati permette di affrontare problematiche nuove in cui la ridondanza del dato prevale sulla qualità del dato stesso per ottenere una precisione notevole.

L'esperienza maturata in ambito fotogrammetrico ha condotto alla definizione di una serie di strumenti software in grado di gestire, con relativa disinvoltura, grandi quantità di immagini e vettori. In stretta analogia sono stati approntati algoritmi di rapida visualizzazione e modifica di nuvole di punti e superfici. Quelle che vengono tecnicamente chiamate *range images* derivanti dall'acquisizione mediante laser scanning infatti, si pongono in una posizione mediana tra le immagini comunemente intese ed i piani quotati generati in fotogrammetria digitale, mediante gli algoritmi di autocorrelazione. Quando è presente anche il piano colore il parallelismo si estende fino a coinvolgere la tecnica di ortofoto in due e tre dimensioni.

L'obiettivo è la messa a punto di strumenti informatici idonei a queste elaborazioni.

Ne diamo, in questo contributo, una sintetica descrizione.

## Abstract

Digital photogrammetry and laser scanning, even operating with different technologies, have similar data management problems.

A first aspect regards the files size that is always relevant, whether you use photograms and vectors or point clouds and meshes. Therefore, in both said cases, must be realized a management strategy to reduce data processing time. Moreover, the aspect of interpretation, more or less automatic, can be faced with very similar instruments. The acquisition techniques development has brought to obtain a big data collection that needs, however, a sophisticated elaboration and post-process session. High-resolution 2D or 3D scanners quickly and easily generate numerical data that result exuberant regarding to the computers processing performance. At the same time, the high quantity of collected points allows to face new problematic, in which the data redundancy prevails on the quality of the same data, in order to obtain a remarkable precision. The experience gained in

photogrammetry has lead to the definition of a series of software instruments able to easily manage great amounts of images and vectors data, similar to photogrammetry, as fast visualization and editing of point clouds algorithms have been prepared. The so called *ranges images*, coming from the laser scanning acquisition, are usually considered between the raster images and the DTM, generated in digital photogrammetry through automatic correlation algorithms. When color raster level is present, the similarity can be extended to involve the orthophoto technique. The target is the development of informatics' instruments suitable to those processes. In this article we give a synthetic description of our experience.

### **Generalità del problema**

La rapida evoluzione tecnologica della strumentazione basata sulle tecnologie laser per il rilievo spaziale di punti, ha stimolato non poco lo studio delle problematiche inerenti al rilievo ed alla rappresentazione di modelli tridimensionali.

Ci sembra di poter intravedere due scenari principali interessati alla gestione ed analisi di modelli tridimensionali nel campo della misura dei vicini.

Il primo, commercialmente già consolidato, è il mondo del CAD-CAM industriale, interessato più che altro alla modellazione per fini connessi alla prototipazione rapida ed in generale al cosiddetto *reverse-engineering*. In genere vengono trattati oggetti di piccole o piccolissime dimensioni (da qualche metro a qualche millimetro); non tratteremo specificamente dell' argomento in questa sede.

Il secondo, con implicazioni commerciali in fase di crescita, è relativo al rilievo e rappresentazione di soggetti medio grandi sia nel settore dei beni culturali che in ambito edile ed industriale.

Le tematiche in gioco nei due scenari sopra citati, sono piuttosto diverse, non tanto per questioni di scala, risolvibili mediante l'uso di uno strumento di acquisizione piuttosto che un altro, quanto per un approccio metodologico sostanzialmente diverso. Vediamo perchè.

Le soluzioni tecnologiche per l'acquisizione di modelli tridimensionali sono molteplici. Non ci addentriamo sulle varie tipologie strumentali, ma ci limitiamo a suddividerle in due grandi categorie: quelle a *prevalenza di automazione* e quelle a *prevalenza di controllo*.

Della prima fanno parte sistemi quali tastatori meccanici, laser a lama, laser interferometrici, laser a time-of-flight, sistemi di Moiree, generiche tecnologie di computer vision.

Della seconda gli strumenti topografici, con o senza sistema *no-prism*, la fotogrammetria tradizionale e quella digitale.

È pressochè inutile dire che questa seconda categoria di strumenti non rivesta quasi alcun interesse per chi si occupa di reverse-engineering.

Viceversa, come vedremo, sia alcuni tra gli strumenti a prevalenza di automazione che tutti gli strumenti a prevalenza di controllo possono essere proficuamente usati, interscambiati ed integrati nel rilievo degli oggetti di dimensione medio grande quali beni culturali in genere, architettura artistica ed industriale.

Le tecniche fotogrammetriche, per la loro conformazione progettuale, sono pensate per la gestione di una tridimensionalità che potremmo chiamare "controllata". I punti e le entità in genere infatti, vengono generati per lo più mediante operazioni manuali. Ciascun vertice è acquisito rispetto ad un sistema di riferimento rigorosamente stabilito. In relazione a questo vengono gestiti punti di controllo e orientamenti che sono subordinati alla validazione mediante il calcolo di residui su coppie o su blocchi. Il valore aggiunto sui punti restituiti è in genere molto alto. Anche quando la restituzione si basi su algoritmi di autocorrelazione infatti, la produzione è in genere molto mirata; il calcolo viene lanciato su zone selezionate, con passo prestabilito ed ottimizzato al risultato da ottenere.

In sintesi: la restituzione di modelli tridimensionali è ottenuta in fotogrammetria mediante un processo altamente critico. La rappresentazione dell'oggetto infatti è generata non solo dalla sua geometria ma anche da una sua lettura interpretativa. Il restituitista infatti, al momento del disegno, suddivide per layers, colori, spessori, campiture, tipi di linea. Egli produce, in effetti, la rappresentazione dello spazio geometrico accompagnato dalla relativa mappa interpretativa. I vertici

della restituzione inoltre, sono geometricamente mirati ed hanno quindi un'efficienza metrica assai elevata. Prendiamo ad esempio la rappresentazione di uno spigolo di una facciata architettonica. Esso viene tracciato mediante una serie di vertici che si appoggiano esattamente sullo spigolo stesso. Laddove l'elemento subisce variazioni rispetto all'andamento rettilineo, vengono aggiunti vertici per descrivere tale geometria. Il numero di vertici è pertanto funzione diretta della ricchezza di dettaglio richiesta dal particolare che viene disegnato. Il significativo livello d'interazione umana nel processo di misura determina l'inclusione della fotogrammetria tra le tecniche a grande controllo.

L'acquisizione mediante laser scanner viceversa, per quanto in parte pianificabile in termini di risoluzione in funzione del soggetto, produce una nuvola di punti che è di fatto omogeneamente distribuita su tutta la geometria del modello. Nelle applicazioni architettoniche avviene spesso perciò che vi sia una disparità tra il particolare geometrico descritto ed il numero di punti che lo descrive. La scansione di un'ipotetica parete ad esempio, produce una grande quantità di dati che modellano inutilmente una superficie che il più delle volte è approssimabile con pochi punti. Per contro, molte volte, si affianca il problema della mancanza di punti dislocati in posizioni strategiche quali spigoli, fratture, decorazioni ed altro.

### **Funzioni e superfici**

Esistono diversi metodi per la ricostruzione di superfici sulla base delle informazioni derivanti da una nuvola di punti.

#### *Interpolazione*

Esiste una cospicua letteratura che descrive le tecniche per l'ottenimento di una superficie interpolata sulla base di un insieme di punti sparsi mediante l'uso di forme parametriche. Questi algoritmi (Lounsbery, Veltkamp, Szelisky) sono assai più efficienti per distribuzioni sparse piuttosto che per le dense nuvole di punti rumorosi generati dal laser scanner.

#### *Ricostruzione di funzione*

La ricostruzione di funzione basa il proprio principio sul fatto che sia possibile definire una superficie ? tale per cui tutti i punti della nuvola, a meno di un errore ?, giacciono su tale superficie (Foley, Shady e Ballard). Il metodo è valido per geometrie semplici o per parti di un insieme.

#### *Ricostruzione di superficie*

Generalizza la ricostruzione di funzione permettendo l'unione di più acquisizioni. L'operazione di *merging* (cioè di unione), può essere realizzata mediante automatismi diversi: *mesh zipping* di Turk e Levoy, altre tecniche di Moore-Warren, Miller, ecc.. In ogni caso, per quanto efficienti in condizioni ottimali, le varie tecniche di ricostruzione automatica richiedono impostazioni piuttosto macchinose; viceversa, con la procedura automatica, richiedono lunghi tempi di calcolo senza per questo garantire un risultato sicuro.

### **Rappresentazione mediante mesh**

Tutte le operazioni d'interpolazione, riduzione, assemblaggio vengono svolte su superfici rappresentate mediante una *mesh*.

Una mesh è una superficie frammentata in tasselli triangolari connessi mediante i loro bordi. La generazione ottimale della mesh è un passo fondamentale per la corretta elaborazione della superficie. I punti derivanti da una scansione laser, così come il piano quotato di una stazione fotogrammetrica, devono essere triangolati prima di qualsiasi operazione di assemblaggio. La creazione della mesh è ottimizzata in tempi e prestazioni mediante l'uso dell'algoritmo di Delaunay 2.5d: si tratta in pratica un 2d con assegnazione della quota. Sia la fotogrammetria che il laser acquisiscono dati su una superficie ideale visiva che è definita dal punto di presa e rispetto a tale superficie assegnano una quota a ciascun punto.

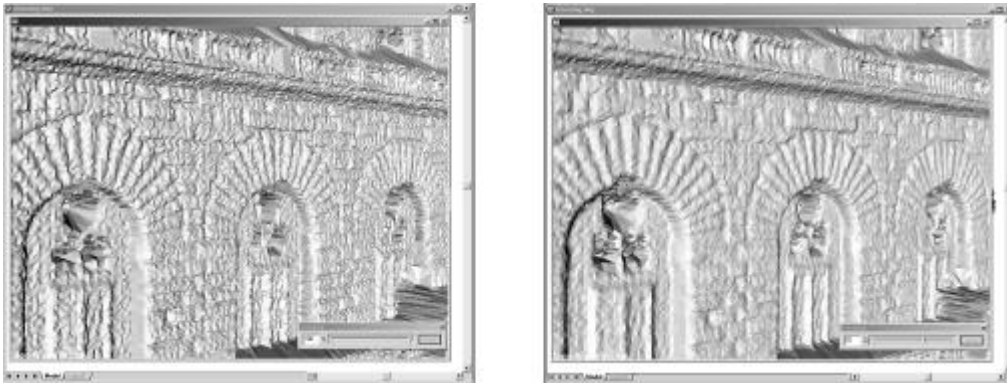
Abbiamo verificato che la procedura ottimale consiste nel produrre la triangolazione proprio in questa fase. L'assemblaggio avviene pertanto successivamente alla triangolazione di ciascuna porzione del modello.

Volendo invece gestire un insieme di dati provenienti da varie acquisizioni, esistono validi algoritmi che hanno come obiettivo la ricostruzione della superficie da generici punti sparsi (*scattered data points*); citiamo ad esempio quelli di N.Amenta e H.Hoppe. Di quest'ultimo, che sembra essere il più noto ed efficiente, ne abbiamo inserita un'implementazione all'interno del software. In sintesi, per quanto complessi ed articolati, risultano sempre non paragonabili, in termini di velocità ed affidabilità, rispetto alla tecnica bidimensionale di Delaunay.

### **Rigorosità del modello e sfoltimento dei dati**

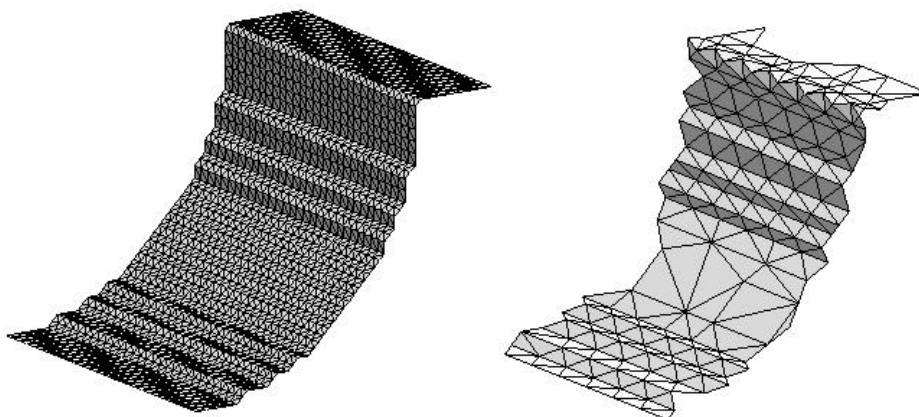
La rigorosità del modello è ottenuta in fotogrammetria mediante lo stretto controllo delle fasi di acquisizione e restituzione. Nelle scansioni laser invece deve essere ricercata come prodotto del grande numero di punti acquisiti. La loro ridondanza infatti, se non intervengono disturbi sistematici, deve poter generare, mediante opportuno lavoro di interpolazione, risultati di adeguata precisione. I punti acquisiti sono soggetti ad un rumore di fondo, determinato dall'imprecisione strumentale che, di fatto, li rende scarsamente utilizzabili.

Sono stati pertanto messi a punto specifici algoritmi che, agendo sulle mesh, operano un filtraggio selettivo del rumore e determinano una leggibilità ed affidabilità notevole alla geometria della superficie.



*Fig.1 – Superficie prima e dopo l'interpolazione*

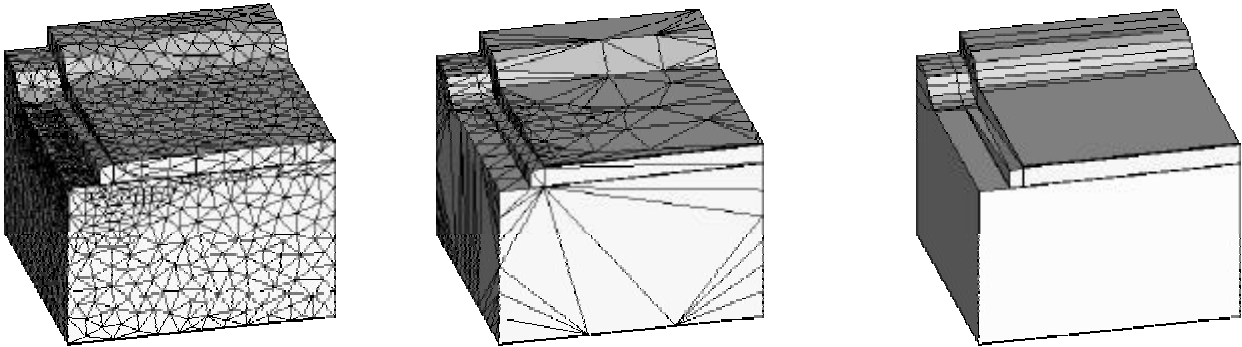
Per questi algoritmi di *smoothing* o ammorbidimento delle superfici, abbiamo introdotto la possibilità d'inserire vincoli lineari e puntuali in modo da evitare, ad esempio, l'arrotondamento degli spigoli.



*Fig.2 – Sfoltimenti di una mesh triangolare*

La grande quantità di dati generati durante le scansioni impone l'uso di strategie opportune in grado di sfoltire in modo "intelligente" la nuvola di punti prodotta. Anche in questo caso esistono diversi algoritmi che in modo automatico eliminano progressivamente quei punti e quindi triangoli, che hanno minore importanza nella definizione della geometria del modello.

Si tratta in poche parole di algoritmi di compressione che, mediante la diminuzione delle entità, praticano un'ottimizzazione dell'ingombro della memoria dell'elaboratore ed un miglioramento della gestibilità dei modelli.



*Fig.3 – Triangolazione, sfoltimento e rappresentazione poligonale di un particolare marmoreo*

Si individua una certa analogia con gli algoritmi di compressione JPEG delle immagini.

Una volta che i dati sono sfoltiti secondo le procedure automatiche descritte, possono essere ulteriormente trattati utilizzando criteri più interattivi. Mediante semplici strumenti di selezione parziale e globale delle superfici (da noi chiamate *body*) è possibile, mediante calcolo ai minimi quadrati, approssimarsi a superfici di riferimento quali piani, cilindri, sfere, paraboloidi ed altro, in modo che, mediante la scelta di valori di tolleranza, vi collasino tutti i punti che si trovano in prossimità ad essi. Il caso tipico delle pareti interne od esterne di un edificio ne sono un chiaro esempio applicativo.

### **Strumenti di rappresentazione**

In analogia con quanto ottenibile in fotogrammetria digitale si è pensato utile consentire il trattamento dei dati al fine di ottenere, oltre agli elaborati più moderni e destinati ad una pubblicazione in rete o multimediale, anche tutti quegli elaborati più "tradizionali" ma non certo meno importanti ed efficienti.

In tal senso ci siamo attivati per poter tracciare con semplicità curve di livello, piani quotati, sezioni, prospetti e tutte le funzioni di disegno grafico che di norma si usano tracciando un normale disegno 2d ma con l'attributo essenziale della terza dimensione.

Non ultima la possibilità di generare un modello raster tridimensionale anche ad alta ed altissima risoluzione mediante riproiezione di qualsiasi fotogramma sul modello 3d dell'oggetto.

L'algoritmo usato infatti si basa sull'orientamento del fotogramma mediante l'associazione di punti tra modello e immagine, con la successiva proiezione rigorosa del raster in 3d.

### **Conclusioni**

La tecnologia di acquisizione evolve nel senso di una sempre più massiccia produzione di dati. Crediamo che la messa a punto di strumenti adeguati alla loro gestione possa essere un obiettivo di notevole interesse attuale e futuro.

### **Bibliografia**

[Bern 92] Bern, Marshall and David Eppstein, "Mesh Generation and Optimal Triangulation," Technical Report P92-00047, Xerox Palo Alto Research Center, March 1992.

[Boissonnat 84] Boissonnat, Jean-Daniel, "Geometric Structures for Three-Dimensional Shape Representation," ACM Transactions on Graphics, Vol. 3, No. 4 (October 1984), pp. 266--286.

- [Chen 92] Chen, Yang and Gerard Medioni, "Object Modelling by Registration of Multiple Range Images," *Image and Vision Computing*, Vol. 10, No. 3 (April 1992), pp. 145--155.
- [Edelsbrunner 92] Edelsbrunner, Herbert and Ernst P. Mücke, "Three-dimensional Alpha Shapes," *Proceedings of the 1992 Workshop on Volume Visualization*, Boston, October 19-20, 1992, pp. 75--82.
- [Hoppe 92] Hoppe, Hugues, Tony DeRose, Tom Duchamp, John McDonald and Werner Stuetzle, "Surface Reconstruction from Unorganized Points," *Computer Graphics*, Vol. 26, No. 2 (SIGGRAPH '92), pp. 71--78.
- [Hoppe 93] Hoppe, Hugues, Tony DeRose, Tom Duchamp, John McDonald and Werner Stuetzle, "Mesh Optimization," *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series (SIGGRAPH '93)*, pp. 19--26.
- [Schroeder 92] Schroeder, William J., Jonathan A. Zarge and William E. Lorensen, "Decimation of Triangle Meshes," *Computer Graphics*, Vol. 26, No. 2 (SIGGRAPH '92), pp. 65--70.
- [Turk 92] Turk, Greg, "Re-Tiling Polygonal Surfaces," *Computer Graphics*, Vol. 26, No. 2 (SIGGRAPH '92), pp. 55--64.
- [Wada 93] Wada, Nobuhiko, Hiroshi Toriyama, Hiromi T. Tanaka and Fumio Kishino, "Reconstruction of an Object Shape from Multiple Incomplete Range Data Sets Using Convex Hulls," *Computer Graphics International '93, Lausanne, Switzerland, June 21-25, 1993*, pp. 193--203.