

TECNOLOGIE INNOVATIVE PER LA GESTIONE DI IMMAGINI RASTER TRIDIMENSIONALI AD ALTISSIMA RISOLUZIONE

Luca MENCI (*)

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

Riassunto

La sempre maggior diffusione della scansione laser ha condotto alla necessità di studiare tecniche specificamente ottimizzate all'uso dell'enorme quantità di dati prodotti con questa tecnologia.

La realizzazione e visualizzazione di immagini tridimensionali modellate sulla nuvola di punti è il metodo più vicino alla rappresentazione oggettiva della realtà.

Si tratta d'integrare l'informazione morfologica ottenuta per scansione laser 3d con l'informazione fotografica acquisita sia con camere fotogrammetriche che con comuni camere fotografiche amatoriali, superando i limiti qualitativi, fin ora imposti dai software in commercio, derivanti dall'impossibilità di gestire immagini ad altissima risoluzione contestualmente alla nuvola di punti.

Il fulcro della metodologia consiste pertanto nella georeferenziazione di tali fotogrammi e nella loro mosaicatura automatizzata.

In questo articolo vengono descritte alcune tecniche messe a punto per la gestione ottimizzata di queste procedure e nella loro applicazione ad alcuni casi operativi.

Abstract

The always greater diffusion of the laser scanning technology improved the study of particular methods specifically optimized to the use of that enormous amount of data. The realization and visualization of three-dimensional images modelled on the cloud of points is the method more close to the objective representation of the reality. The method wants to integrate the morphologic information obtained by 3d laser scanning with the photographic information acquired with photogrammetric or standard cameras, exceeding the qualitative limit sets up by the most part of actual software, deriving from the impossibility to manage high resolution images contextually to the cloud of points. The main goal of the methodology consists in back projectioning such images and their automatic mosaic. In this article there are described some techniques created for the better management of these procedures and their application to some operative cases.

Introduzione

L'acquisizione di punti tridimensionali mediante laser scanner è ormai tecnologicamente consolidata. Gli strumenti sono rapidi, precisi, piuttosto semplici da usare e probabilmente, se le condizioni di mercato ne creeranno i presupposti, potranno essere in futuro anche relativamente economici. In ogni caso, è già adesso piuttosto facile rivolgersi a fornitori di servizi in grado di produrre in tempi brevi scansioni laser a costi contenuti. Nonostante ciò, questa tecnologia stenta a decollare. I dati che essa produce infatti, non hanno ancora trovato una precisa collocazione funzionale; forse per la mancanza, sino a questo momento, di software in grado di gestirli in modo realmente efficiente.

Base geometrica

La scansione 3d realizzata con strumenti laser, indipendentemente dalla tecnica che essi utilizzano, produce in maniera più o meno diretta una serie di triplette di coordinate, corredate eventualmente di un valore radiometrico, corrispondente a ciascun punto acquisito. La velocità d'acquisizione è sorprendente.

Una volta collocato l'apparecchio nella posizione prescelta, il sensore, sulla base delle impostazioni che l'utente ha predefinito, è in grado di acquisire con un passo, una precisione ed un'apertura angolare determinati dalla qualità dello strumento stesso, milioni di punti in pochi minuti.

I valori ottenuti possono essere organizzati in una matrice rettangolare, di fatto un'immagine, definita RI (*Range Image*), nella quale ciascun pixel assume un valore di profondità rispetto ad un punto od un piano di riferimento. La collocazione del pixel nella griglia, una volta fissata la trasformazione analitica di discretizzazione, determina la posizione del punto sulla superficie di riferimento. In particolare, nel caso di un'acquisizione centrale, ciascun pixel rappresenta un punto su una sfera. La distanza tra pixel è specificata dalla risoluzione angolare di acquisizione. La profondità può essere discretizzata e raffigurata in falsi colori.

Sulla stessa matrice possono essere riprodotti i valori radiometrici raccolti dal sensore coassiale.

I dati così organizzati hanno il notevole vantaggio operativo della compattezza. Per ciascun punto infatti è sufficiente memorizzare la sola informazione sulla profondità per ricostruirne la tripletta cartesiana che ne descrive le coordinate. Questa rappresentazione dell'oggetto è però intrinseca, in quanto riferita al punto di vista che l'ha generata; la rappresentazione è sferica e le occlusioni determinate dagli oggetti in primo piano rispetto a quelli sullo sfondo non sono direttamente colmabili.

Per poter estrinsecare la scena, renderla cioè fruibile da qualsiasi punto di vista, si procede generalmente attraverso algoritmi di triangolazione tipo Delaunay.

Mediante questo passaggio, ciascun pixel, dopo essere esplicitato nelle sue tre coordinate tridimensionali, viene connesso ad altri due mediante segmenti denominati *edge* in modo da formare una faccia triangolare, caratterizzata generalmente da una normale che ne determina l'orientamento nello spazio. Ciascun vertice viene condiviso da più facce.

L'insieme delle facce prende il nome di *TIN* (*Triangular Irregular Network*). La perdita di efficienza nel trattamento della *TIN* rispetto alla *RI* è enorme. In termini di memoria si quintuplicano le esigenze; per ogni punto infatti, si passa da 12 ad un minimo di 79 byte.

Elemento	Range Image	TIN
Vertice	1 float (4 byte)	3 float (12 byte)
Triangolo		3 long (12 byte)
Normale		3 float (12 byte)
Colore	COLORREF (3 byte)	COLORREF (3 byte)
N° minimo puntatori per il concatenamento delle classi		10 long (40 byte)
Totale	12 byte	79 byte

Acquisizione dell'informazione radiometrica

L'informazione radiometrica raccolta al momento della scansione ha una risoluzione estremamente bassa ed una qualità cromatica piuttosto scadente. Essa viene di solito utilizzata per agevolare il riconoscimento dei singoli punti sulla base della loro contestualizzazione.

In molte applicazioni, nel settore dei beni architettonici e artistici in particolare, la semplice informazione geometrica risulta essere insufficiente. E' stato pertanto di prioritaria importanza mettere a punto una serie di procedure software in grado di rendere agevole la generazione e la successiva fruizione di modelli raster 3d ad alta risoluzione. Questo criterio richiede, oltre ad un buon modello geometrico, anche una banca dati fotografica ed esso collegata, che sia adeguata a questa finalità.

È dunque necessario, contestualmente alla scansione laser, effettuare una serie di riprese fotografiche di qualità idonea alla rappresentazione raster del modello. In funzione della risoluzione di riferimento è possibile orientarsi sia verso camere digitali che convenzionali. Le prese devono essere progettate in modo tale da garantire una certa percentuale di sovrapposizione sia longitudinale che trasversale, così da evitare occlusioni visive. L'uso di camere metriche è preferibile ma non indispensabile: gli algoritmi di orientamento saranno diversi per le une e per le altre, ma i risultati ottenuti nei due casi sono alla fine piuttosto comparabili.

Orientamento e texturing

La fase di georeferenziazione delle immagini sul modello prevede un'associazione diretta tra punti 3d ed elementi visivamente riconoscibili sulle immagini: questa è forse l'operazione più delicata. Proprio per semplificare tale operatività, si esegue una preventiva calibrazione della camera così da poter applicare metodi di orientamento di tipo *space resection* che richiedono la collimazione di un numero di punti inferiore rispetto ad altri sistemi quale la *self calibration*.

L'approccio ordinario prevede la gestione di file di *texture* ai quali il software di visualizzazione fa riferimento all'atto del rendering. In sostanza, ad ogni vertice del modello vengono associate delle coordinate texture normalizzate relative alle coordinate pixel dell'immagine a cui il modello stesso si riferisce. Dopo una fase di sperimentazione piuttosto lunga durante la quale abbiamo implementato il *texturing* su diverse piattaforme di sviluppo, siamo giunti alla determinazione di abbandonare questa strada a causa di tre importanti limitazioni in essa riscontrate. La prima è che ciascun modello può avere, in qualità di texture, una sola immagine di riferimento. Questo vincolo si scontra evidentemente con la necessità di gestire molte immagini e di dover adattare, sul singolo modello, una molteplicità di texture. In realizzazioni non metriche si usa una tecnica agevolata che prevede la mosaicatura a priori delle immagini, la loro equalizzazione, e la successiva applicazione sul modello mediante proiezioni semplificate (pianparallela, cilindrica, sferica,..). Nella specificità dei nostri scopi, questa procedura non è proponibile in quanto le varie immagini, essendo scattate da punti di vista diversi, sono geometricamente incongruenti tra loro. Un secondo limite tecnico è determinato dal fatto che la grandezza delle texture utilizzabili è subordinata alla memoria video disponibile, limitandone in effetti la dimensione a pochi Mbyte; per superare questo ostacolo si è tentato anche mediante la segmentazione del modello e delle immagini senza ottenere però risultati soddisfacenti in termini di automatizzazione. Il terzo limite è dovuto alla difficoltosa equalizzazione e mosaicatura delle texture. Dovendo infatti agire a livello d'immagine sorgente, al fine di poter attenuare il passaggio tra una foto e l'altra, è indispensabile utilizzare l'*alfa blending*, appesantendo non di poco le operazioni di renderizzazione.

Dati strutturati e non strutturati: modello ibrido a placche

Come anticipato precedentemente sussiste una sostanziale differenza di prestazioni tra l'uso *RI* (*Range Image*) e l'uso di *TIN* (*Triangular Irregular Network*). Abbiamo descritto come la scansione produca dati strutturati (*RI*) che devono essere trasformati in dati non strutturati (*TIN*), al fine di poter essere visualizzati e gestiti in 3d.

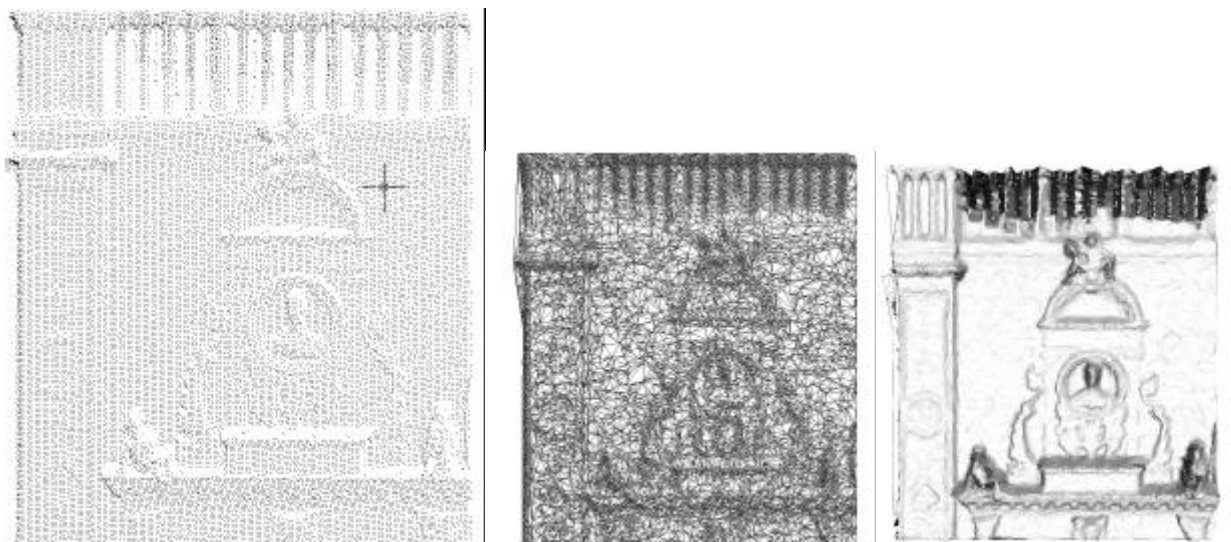
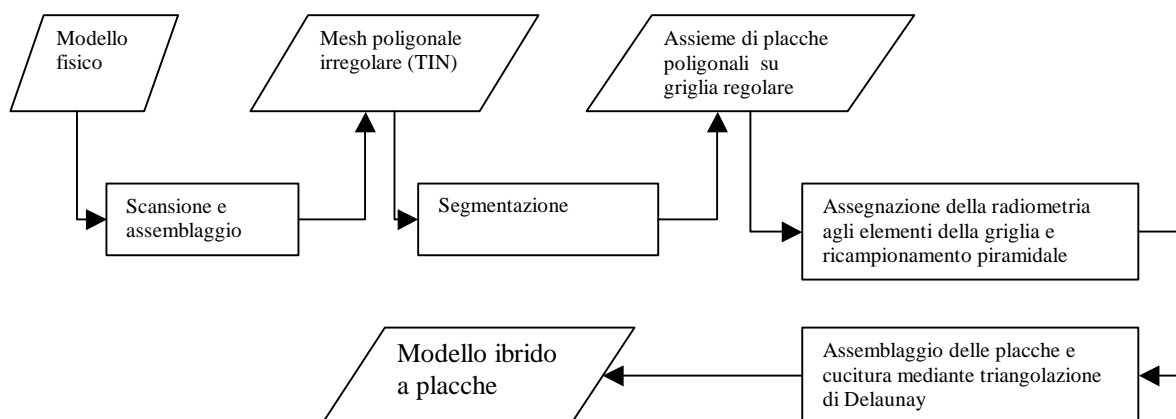


Figura 1 - Semina di punti, triangolazione di Delaunay e shading

L'idea è quella di segmentare il modello triangolato in modo da suddividerlo in superfici di tipo funzionale (placche poligonali) che potranno essere interpolate su una fitta griglia regolare e pertanto essere espresse in qualità di insiemi di dati strutturati; applicare l'informazione radiometrica ai vertici della griglia stessa e successivamente assemblare le varie superfici mediate una triangolazione di Delaunay ottenendo pertanto, come prodotto finale, una mesh eterogenea che chiamiamo *modello ibrido a placche*.

Nello schema seguente viene sintetizzato il metodo proposto.



In primo luogo si procede alla segmentazione del modello mediante placche di superficie; se ne individuano cioè le porzioni che possono essere espresse come piani quotati rispetto ad un sistema di riferimento locale.

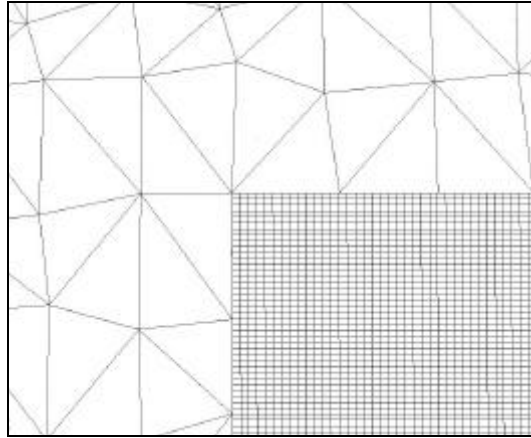


Figura 2 - Particolare della giunzione nel contorno della placca

Successivamente si procede all'interpolazione dei punti appartenenti a ciascuna placca su una griglia regolare. Il passo della griglia è determinato dalla risoluzione raster di cui si necessita nel modello. Ciascun elemento della griglia infatti assume la funzione di pixel 3d. In seguito si assegna a ciascun pixel il suo valore radiometrico sulla base di semplici algoritmi di proiezione inversa.

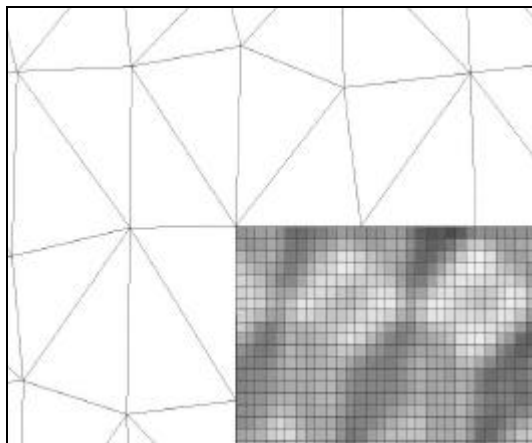


Figura 3 - Particolare dell'attribuzione della radiometria ai singoli elementi della placca

Il contributo di vari fotogrammi viene valutato mediante l'attribuzione di pesi diversi in funzione dell'assetto geometrico di presa (Dequal et al. 2001). Ciascuna placca è pertanto riconducibile ad una immagine, spazialmente orientata, i cui pixel contengono contemporaneamente sia le informazioni relative alle altezze che quelle relative ai colori.

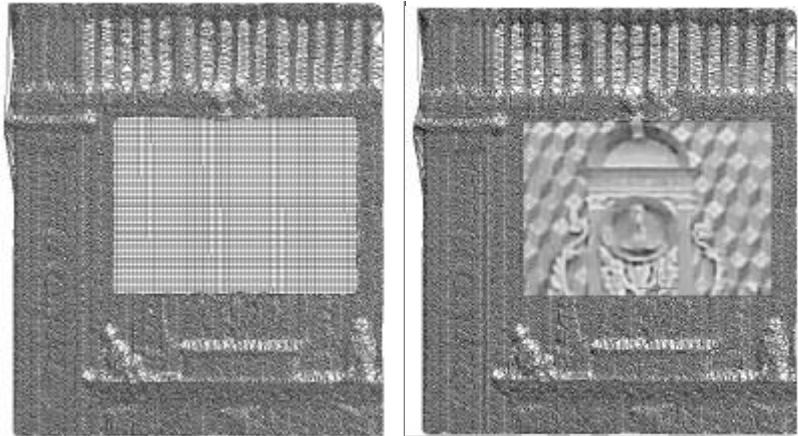


Figura 4 - Modello ibrido con una placca esemplificativa

Infine, con la semplice scalatura dell'immagine, vengono generati i diversi livelli piramidali per ciascuna placca.

La mosaicatura delle placche per la ricostruzione del modello avviene mediante triangolazione di Delaunay. Si ottiene pertanto uno schema ibrido formato da placche costituite da dati strutturati a griglia quadrata tenuti assieme da una legatura a maglia triangolare di Delaunay.

Conclusioni

L'approccio proposto nasce dall'esigenza di gestire immagini raster tridimensionali ad alta risoluzione al fine di conferire alla nuvola di punti generata dalla scansione laser quella leggibilità e fruibilità visiva richiesta in molte applicazioni pratiche.

La possibilità di svincolarsi dalla gestione di immagini esterne rispetto al modello geometrico, la dimensione teoricamente illimitata delle texture, la mosaicatura agevolata dal controllo diretto di ciascun pixel, la riduzione a LOD (*Levels Of Detail*) mediante semplice scalatura delle immagini sono i punti cardine della metodologia proposta.

Riferimenti bibliografici

- J. Vezien Chakib Bennis and G. Iglesias. Piecewise surface flattening for non distorted texture mapping. In *Computer Graphics (SIGGRAPH'91 Proceedings)*, volume 25, pagine 237–246, Luglio 1991.
- Jorg Peters. "Fitting smooth parametric surfaces to 3D data". Ph.d. thesis, Univ. of Wisconsin-Madison, 1990.
- Brian Curless and Marc Levoy. "A volumetric method for building complex models from range images". In *Computer Graphics (SIGGRAPH '96 Proceedings)*, August 1996.
- William Welch and Andrew Witkin. "Free-form shape design using triangulated surfaces". In *Computer Graphics (SIGGRAPH '94 Proceedings)*, volume 28, pagine 237–246, Luglio 1994.
- Greg Turk and Marc Levoy. "Zippered polygon meshes from range images". In *Computer Graphics (SIGGRAPH '94 Proceedings)*, pagine 311–318, Luglio 1994.
- S. Dequal, A. Lingua, F. Rinaudo. "Ortofoto di precisione a grande scala in ambito urbano". In *Atti della 4° Conferenza Nazionale ASITA*, Volume 1, pagine 733,734– Genova, 3-6 Ottobre 2001.