

Computer vision/structure for motion per la diffusione dei beni culturali

Vincenzo Barrile (*), Giuliana Bilotta (**), Domenicantonio Lamari (*), Giuseppe M. Meduri (*), Ugo Monardi Trungadi (*), Augusta Ricciardi (*)

(*) Dipartimento DICEAM - Facoltà di Ingegneria Università Mediterranea di Reggio Calabria, Via Graziella Feo di Vito 89100 Reggio Calabria, Tel +39 0965 875301, vincenzo.barrile@unirc.it, antonio.lamari@gmail.com, ing.giuseppemariameduri@gmail.com, ing.monarditrungadi@yahoo.it, augusta 1987@gmail.com

(**) Dottorato NT&ITA (Nuove Tecnologie e Informazione Territorio Ambiente) – Dip. di Pianificazione, Università IUAV di Venezia, Santa Croce 191 Tolentini, 30135 Venezia, giuliana.bilotta@iuav.it

Riassunto

Nell'ambito della diffusione dei beni culturali, le nuove tecnologie a disposizione degli operatori consentono l'utilizzo integrato delle tecniche di rilevazione della Geomatica con lo scopo di fornire all'utente il maggior numero di informazioni. L'idea e quella di fornire una sorta di guida virtuale utile alla localizzazione, alla divulgazione di tutte le nozioni storico artistico e le indicazione a carattere turistico al fine di rendere maggiormente fruibile il nostro patrimonio culturale. Particolarmente performante e speditivo, in relazione alla modellizzazione del bene appare l'utilizzo di software basati su algoritmi di "Computer Vision/Structure from Motion" SFM in grado di generare modelli 3D speditivi utili alla ricostruzione dell'oggetto di interesse. Lo scopo della applicazione proposta è dunque quello di realizzare una piattaforma WebGis in cui convergono tramite l'istituzione di un geodatabase ben progettato, dati provenienti da rilievi GPS e fotogrammetrici e tutte le informazioni storico/artistico/culturali rilevanti per ogni oggetto di interesse. Il WebGIS è stato progettato per la diffusione delle informazioni su Internet, su dispositivi mobili e telefoni cellulari con sistema operativo Android, così che ogni utente possa facilmente trovare le informazioni in qualunque luogo si trovi.

Abstract

In the context of the dissemination of cultural heritage, the new technologies available to operators allow the integrated use of detection techniques of Geomatics in order to provide the user with the most information. The idea is to provide some sort of virtual guide useful to the localization, the disclosure of all the artistic and historical notions, and indication in tourism in order to make more accessible our cultural heritage. Particularly high performance and expeditious, in relation to the modeling of the historical monument, appears the use of software based on algorithms of "Computer Vision/Structure from Motion" SfM, able to generate 3D models expeditious useful to the reconstruction of the object of interest. The purpose of the proposed application is therefore to create a WebGis platform of convergence through the establishment of a well-designed from surveys photogrammetric all geodatabase, data GPS and and information historical/artistic/cultural relevant to any subject of interest. The WebGis is designed for the dissemination of information on the Internet, on mobile devices and mobile phones with Android operating system, so that each user can easily find information wherever he is.



Introduzione

Come in altri settori anche nell'ambito della Geomatica la tecnologia ha fortemente influenzato e trasformato le tecniche di rilievo. L'avvento del GPS e delle Stazioni Totali robotizzate ha notevolmente elevato e semplificato il lavoro del topografo, garantendo una migliore qualità nei risultati ricercati associati ad una semplicità di rilievo.

Successivamente, l'introduzione del Laser Scanner ha rappresentato una soluzione straordinariamente versatile per l'acquisizione di grandi quantità di dati con tempi di rilievo notevolmente ridotti garantendo sempre altissime precisioni. A questa tecnologia si sono affiancati, tecniche di telerilevamento particolari, sistemi UAV (Unmanned Aerial Vehicle) equipaggiati sia con Laser Scanner che con macchine fotografiche digitali.

Di recente si è affermata la Computer Vision e cioè la disciplina che studia come abilitare i computer alla comprensione e alla interpretazione delle informazioni visuali presenti in immagini o video. Se si volesse dare una definizione, si potrebbe dire che la Visione Computazionale (VC) o Computer Vision, si occupa della analisi di immagini numeriche al calcolatore. L'analisi è finalizzata a scoprire cosa e presente nella scena e dove.

Structure from Motion. Principi di funzionamento

Viene, di seguito, descritto e analizzato il principio su cui si basa la tecnica di Structure from Motion (SfM) che ricalca quanto avviene per la fotogrammetria stereoscopica dove la generazione della struttura 3D viene risolta e definita attraverso la sovrapposizione di immagini.

A differenza di quanto avviene per la fotogrammetria tradizionale la ricostruzione della scena con il posizionamento e l'orientamento della telecamera vengono risolti automaticamente dal software utilizzato. Non vi è, quindi, la necessità di specificare a priori target o punti notevoli presenti nelle immagini acquisite. Questi vengono individuati e risolti automaticamente dal software che si basa su una campagna fotografica composta da prese multiple con sovrapposizione delle immagini della scena da acquisire.

Questa tecnica è particolarmente efficace quando la campagna fotografica risulta costituita da un insieme di immagini con elevato grado di sovrapposizione tale da permettere una ricostruzione tridimensionale completa della scena acquisita. Sviluppata negli anni '90 trae le sue origine dalla Computer Graphic e, nonostante le enormi potenzialità del sistema, ad oggi non risulta ancora particolarmente diffusa nell'ambito della Geomatica.

Di seguito verrà descritto il flusso di lavoro necessario per l'ottenimento di una nuvola densa e del modello tridimensionale.

La prima operazione consiste nell'identificare e nell'estrarre dei punti notevoli presenti in ogni fotografia scattata. Ciò avviene mediante l'utilizzo di un algoritmo implementato da D. Lowe nel 2004 definito SIFT (Scale Invariant Feature Transform), (Bandiera et al., 2011) (Barazzetti et al., 2011).

Attraverso questo algoritmo vengono dapprima individuati i punti omologhi presenti negli scatti mediante operatori di interesse, successivamente, mediante l'utilizzo di descrittori di immagine, saranno scelti, fra i punti omologhi individuati, quelli che si discostano meno l'uno dall'altro. Oltre a valori intrinseci (quali illuminazione, colore, rotazione, ecc.) i punti omologhi vengono ricercati all'interno di particolari zone della scena inquadrata: angoli oppure zone dove si riscontrano maggiormente elementi di discontinuità.

Individuati i punti omologhi questi vanno accoppiati. Ciò avviene attraverso il matching dei punti omologhi identificati e, quindi, degli scatti. In questa fase è fondamentale valutare la somiglianza tra vari punti individuati. A tal fine si utilizza il concetto di distanza euclidea. Individuato un punto nella prima scena avente determinate caratteristiche (luminosità, colore, ecc.), l'omologo nella scena successiva risulta essere quello che maggiormente si avvicina a quello in esame. Risulta, inoltre, determinante l'impiego della Geometria Epipolare per definire i vincoli geometrici che legano i punti omologhi individuati negli scatti raffiguranti la stessa scena.



Nella fase successiva si procede alla generazione del modello in 3D. Per far ciò vengono individuati i parametri di orientamento interno della camera utilizzata per le prese. L'individuazione avviene tramite le corrispondenze già individuate (punti omologhi e Geometria Epipolare).

In questa fase il controllo e la limitazione degli errori avviene tramite il "bundle adjustment".

Ultima fase è la generazione del modello attraverso una nuvola densa. Qui vengono utilizzati gli algoritmi di Dense Image Matching. Vengono distinti in due tipi, algoritmi di area based matching (AMB) che lavorano sul confronto statistico dell'intensità di grigio presente nelle varie foto e che non prevedono l'estrazione delle features trattando, appunto, l'intensità del grigio; e algoritmi di Feature Based Matching (FBM) che prima ricercano le features comuni e successivamente eseguono l'estrazione. La combinazione di entrambi garantisce risultati ottimali ma allunga notevolmente i tempi di elaborazione.

Risultano essere di fondamentale importanza le metodologie di scatto delle fotografie. Va ricordato che i sistemi di ricostruzione da foto restituiscono un modello che in proporzione è corretto ma non risulta essere in scala.

La nuvola di punti così ottenuta non risulta essere georeferenziata ma rappresentata in un sistema locale. Occorre, quindi, passare da un sistema di coordinate spaziali ad un sistema di coordinate assolute. Ciò avviene individuando un numero congruo di punti di controllo a terra di coordinate note e riconducibili all'interno della nuvola ottenuta attraverso la ricostruzione SfM.

Di seguito verranno illustrati i passi necessari per generare una nuvola di punti densa attraverso tecniche di SfM

La tecnica di "Structure from Motion" viene utilizzata in diverse applicazioni tra le quali il reverse engineering e, negli ultimi tempi, applicazioni legate all'ambiente UAV (Unmanned Aerial Vehicle).

Esistono diverse soluzioni per la generazione di nuvole, sia software open source (Bundler, CMVS/PMVS2) sia commerciali (PhotoModeler 2012 by EOS Systems Inc., PhotoScan da Agisoft LLC) che servizi web (Autodesk 123D cattura, ARC 3D Webservice, Photosynth di Microsoft, Hypr3D).

Gli oggetti presi in esame nella presente applicazione sono le tre statue di Rabarama, pseudonimo della pittrice e scultrice Paola Epifani, e la struttura denominata "Tempietto".

Le tre statue posizionate sul lungomare di Reggio Calabria, sono: (i) Translettera (bronzo dipinto bianco/nero); (ii) Labirintite (bronzo dipinto bianco/verde) e Costellazione (alluminio dipinto bianco/bordeaux). Anche il Tempietto, come le statue, è posto sul lungomare di Reggio Calabria.

Il software utilizzato per questo studio è PhotoScan prodotto dalla Agisoft LLC di San Pietroburgo che permette la generazione di nuvole dense, di mesh e di texture.

Agisoft PhotoScan è un software commerciale a basso costo che consente di ottenere un modello 3D di alta qualità. Il flusso di lavoro è completamente automatico sia per quanto riguarda l'orientamento delle immagini sia per la generazione e ricostruzione del modello. Il modello generato può essere esportato per essere gestito ed eventualmente trattato con software esterni. Tutti i processi possono essere eseguiti con vari livelli di precisione e diversi parametri possono essere impostati al fine di migliorare il risultato finale. Per il lavoro in esame è stato utilizzato PhotoScan installato su una Workstation HP Z800 2 x Xeon Hexa Core X5650 Ram 64 GB 128GB SSD equipaggiata con due schede video NVIDIA Quadro FX 4800 con 1,5 Gb di RAM ciascuna e con sistema operativo Windows 7 Professional a 64 bit. Il flusso di lavoro è completamente automatico sia per quanto riguarda l'orientamento delle immagini sia per la generazione e ricostruzione del modello. Questa condizione ha portato ad una ottimizzazione dei tempi di elaborazione garantendo buone prestazioni del complesso macchina/software. L'acquisizione delle immagini è stata condotta utilizzando una fotocamera digitale Nikon D3100 equipaggiata con un obiettivo zoom ultracompatto AF-S DX Zoom-Nikkor 18-55mm f/3.5-5.6G ED II e da un modulo GPS prodotto dalla pfranken compatibile con la macchina in questione. Le immagini ottenute hanno dimensioni di 4608 x 3072 pixel, una risoluzione di 300 dpi e una profondità del colore pari a 24 bit. Sono state salvate



in formato jpeg, formato supportato dal software utilizzato nella prova (Figure 3, 4, 5). Le fasi dell'elaborazione sono state le seguenti:

Align photos (allineare le foto) consistente nell'individuare i punti di legame attraverso l'uso di operatori di interesse. I punti scelti nelle diverse foto devono avere delle caratteristiche in comune per poter essere adeguatamente sovrapposti. Per una buona riuscita la qualità dell'immagine deve essere elevata, bisogna avere poche zone d'ombra e una adeguata illuminazione;

Build Dense Cloud (nuvola densa). Attraverso questa fase viene costruita una nuvola densa utilizzando gli algoritmi di dense image matching. Questi si suddividono in algoritmi che usano una stereo coppia per trovare le corrispondenze (stereo matching) e quelli che invece le identificano in multiple immagini (multi-view stereo);

Build mesh, che consiste nel generare un modello poligonale sulla base della nuvola densa appena creata. La mesh è una suddivisione di un solido in solidi più piccoli di forma poliedrica;

Build texture, permette invece di ottenere la rappresentazione in 3D dell'opera sotto indagine.

Le immagini sono state scattate seguendo la tecnica degli assi convergenti ed il loro numero è riportato nella tabella riepilogativa, Tabella 1.

Soggetto	N° Foto	Nuvola Rada	Nuvola Densa	N° Facce	N° Vertici
Statua 1	124	350333	8365629	1625758	819235
Statua 2	123	1168570	18057499	3574966	1789440
Statua 3	126	732106	18434900	3686980	1845146
Tempietto	98	285249	21875923	4826498	2816057

Tabella 1 - Riepilogo risultati ottenuti.

Soggetto	Tempi di rilievo	Nuvola Rada	Nuvola Densa	Mesh	Textured
Statua 1	0,33 h	0,58 h	2,08 h	2 h	0,5 h
Statua 2	0,36 h	0,80 h	3,6 h	3 h	0,75 h
Statua 3	0,36 h	0,76 h	3,86 h	3,16 h	0,75 h
Tempietto	0,25 h	0,85 h	4,15 h	2,79 h	1,05 h

Tabella - 2 Riepilogo tempi di elaborazione.





Figura 1 - Statua 1, a) Nuvola Densa; b) Textured.



Figura 2 - Statua 2, a) Nuvola Densa; b) Textured.



Figura 3 - Statua 3, a) Nuvola Densa; b) Textured.

Operazioni di rilievo GPS

Si è proceduto, in diverse campagne di misura con strumentazione GPS (modalità DGPS) per la caratterizzazione spaziale (geolocalizzazione) dei luoghi di interesse (POI) associando all'immagine la posizione (coordinate GPS) geografica. Sono seguite le relative fasi di elaborazione e filtraggio dei dati acquisiti e la restituzione su cartografia georeferenziata da utilizzare come layer di supporto al WEB GIS da realizzare (Cina, 2001) (Hofmann et al., 2001).







Figura 4 - Caratterizzazine spaziale luoghi di interesse (POI).

Web-GIS

Il Web GIS realizzato utilizzando un programma open source, è stato progettato per la diffusione delle informazioni su Internet, su dispositivi mobili e telefoni cellulari con sistema operativo Android così che ogni utente possa facilmente trovare le informazioni in qualunque luogo si trovi. Infatti, è una piattaforma online liberamente consultabile dagli utenti, nata con lo scopo di fornire informazioni circa la geografia, i luoghi storici, culturali e le strutture presenti sul luogo, tramite una chiara localizzazione su mappa mediante l'uso di punti di interesse ed allegati multimediali (fotografie georeferenziate del luogo, testi, etc). Le informazioni sono fruibili da cellulare / palmari / tablet, utilizzabili anche quando questi dispositivi vengono usati come navigatori per l'identificazione dei percorsi.

Il software è composto da una piattaforma GIS completa, sviluppata attorno al framework Mapserver con lo script di frontendp, mapper in PHP, su webserver Apache.

La cartografia viene collegata al relativo database, consentendo una rappresentazione del territorio con dati multisettoriali, associando ad esempio dati geometrici con dati alfanumerici.

Il Web Gis consente di consultare, interrogare e stampare tutte le informazioni che l'amministratore del sistema mette a disposizione dell'utenza, mediante il browser internet preferito. (Caracciolo et al., 2004).

Tutte le informazioni disponibili hanno permesso la costruzione di una piattaforma DBMS (Database Management System) realizzata su tecnologia SQL Server Express (Microsoft Corporation). (Walsh, 1997) (Pfeiffer, 1999) (Boumphrey, 2000).

I dati sono stati strutturati in tre aree secondo più o meno la natura descrittiva dei dati:

- La prima area contiene tutte le informazioni essenziali che costituiscono la carta d'identità del sito/bene: codici di identificazione (chiave primaria), in generale i dati di identificazione del luogo, posizione.
- La seconda area è dedicata alla descrizione, notizie storiche, bibliografia ecc.
- Il terzo ambito riguarda la documentazione fotografica, disegni, illustrazioni e i risultati dei rilievi con TLS, SfM, GPR (Barrile et al., 2013).

Nel caso di siti archeologici il database contiene inoltre notizie relative alle fasi di ritrovamento, valutazione dello stato di conservazione, materiali rinvenuti, documentari televisivi e collegamenti storici.



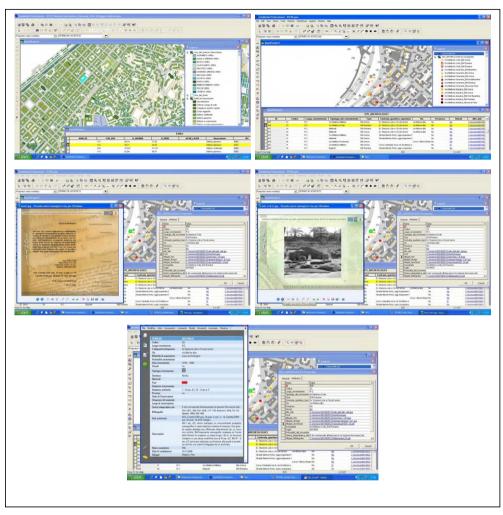


Figura 5 - Schermate del WebGis realizzato.













Figura 6 - a) Visualizzazione cartografia scala 1:25000, b) Dettaglio cartografia scala 1:500, c) Dettaglio sito, d) visualizzazione foto, e) Visualizzazione disegni.

Applicativo per sistema Android

Le attività di ricerca e sviluppo svolte all'interno del progetto sono state incentrate sullo studio di nuovi modelli di fruizione di contenuti multimediali prendendo in esame i sistemi cellulari di nuova generazione, quali sistemi 3.9G/4G.

L'attività di sviluppo ha riguardato la progettazione e successiva realizzazione di una piattaforma di InfoMobility che ha permesso di rendere fruibile le informazioni archeologiche ed artistico/culturali.

Scopo della piattaforma proposta è quello di promuovere la conoscenza del territorio, rendendo disponibili le informazioni volute, garantendo al contempo immediatezza ed intuitività nel recupero e nella presentazione delle stesse.

La piattaforma di infomobility proposta ha consentito di rendere agevole, sul proprio terminale mobile (smart-phone, tablet), la visualizzazione dei Points of Interest (POI) posti nelle vicinanze del fruitore del servizio attraverso una mappa geo-referenziata basata su sistemi cartografico opensource.

La mappa è stata resa navigabile ed esplorabile su più livelli di accuratezza

Ogni POI, presente sulla mappa, è selezionabile da parte dell'utilizzatore e permette la visualizzazione di una finestra descrittiva che contiene le informazioni relative al POI selezionato.

Oltre alla descrizione è presente un'immagine correlata al POI, presente nella finestra di descrizione e dove disponibili informazioni aggiuntive (ad es. risultati dei rilievi con TLS, SFM, GPR).

Di seguito alcuni esempi delle schermate sullo smartphone con l'individuazione del POI e tutte le informazioni ad esso correlate.



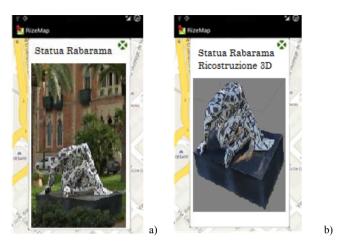


Figura 7 - Finestra descrittiva POI Statua Rabarama (a), ricostruzioni 3D con SFM (b).

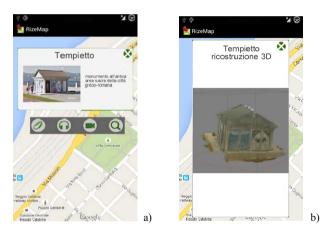


Figura 8 - Finestra descrittiva POI tempietto, (a) ricostruzioni 3D con SFM (b).

Conclusioni

Questo documento descrive i risultati derivanti dall'utilizzo di sistemi di ricostruzione 3 D a basso costo di realizzazione ottenuti dall'utilizzo di immagini ottenute con comuni fotocamere digitali; l'acquisizione risulta infatti veloce, flessibile ed economica rispetto ad altri sistemi quali la scansione laser.

I modelli 3D ottenuti sono stati utilizzati per la realizzazione di una piattaforma webGis che consente la condivisione e l'accesso ai dati geografici attraverso Internet, con l'utilizzo di interfacce che integrano dati multisettoriali (mappe, immagini, video, file di testo, ecc), e consentono all'utente, oltre a ottenere da dispositivi mobili (cellulare / palmari / tablet) informazioni sui luoghi di interesse, anche la possibilità di essere guidati da sistemi di posizionamento.



Bibliografia

Barrile V, Bilotta G, Meduri G M. (2013), "Archaeological Investigations with TLS and GPR Surveys and Geomatics Techniques", in *Towards Horizon 2020 - Proceedings of 33rd EARSeL Symposium*, Matera, 857-864

Bandiera A, Beraldin J A, Gaiani M. (2011), "Nascita ed utilizzo delle tecniche digitali di 3D imaging, modellazione e visualizzazione per l'architettura e i beni culturali", *Ikhnos*, 81-134

Barazzetti L, Forlani G, Remondino F, Roncella R, Scaioni M. (2011), "Experience and achievements in automated image sequence orientation for close-range photogrammetric projects" in *Proceedings of SPIE Optics+Photonics*, vol. 8085, Munich, Germany, 8085, art. no. 80850F Caracciolo T, Marra V, Calabretta G, Sisca M, Teti F. (2004), "Un prototipo WebGIS per

Caracciolo T, Marra V, Calabretta G, Sisca M, Teti F. (2004), "Un prototipo WebGIS per l'interoperabilità e la condivisione dei dati geografici fra gli Enti della Regione Calabria" 8° Conferenza Nazionale ASITA 2004

Cina A. (2001), "GPS, Principi, modalità e tecniche di posizionamento"; *CELID*, 2001 Torino Misra P, Enge P. (2001), "Global Positioning System: Signals, Measurements and Performances", *Ganga-Jamuna* Press 2001

Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J. (2001), *Global Positioning Systems: Theory and Practice*. 5th ed., Springer Verlag

Boumphrey F. (2000), "Xml Tutorial"

Pfeiffer R. (1999), "Xml Tutorials for Programmers"

Walsh N. (1997), "A Technical Introdution to Xml"

Google Developers. http://developer.android.com/guide/tutorials/views/hello-mapview.html