

DOCUMENTAZIONE E MODELLAZIONE 3D DI BENI CULTURALI L'APPROCCIO MULTI-SENSORIALE E MULTI-RISOLUZIONE

di Fabio Rempndino

La documentazione e la modellazione 3D del patrimonio culturale sono ormai basate principalmente su tecniche digitali tridimensionali, in grado di produrre rilievi completi, dettagliati e foto-realistici. Ma attualmente l'integrazione di varie tecniche e sensori è la soluzione migliore per fornire risultati completi e dettagliati, in particolare per grandi siti archeologici e beni culturali complessi.

Attualmente abbiamo a nostra disposizione una vasta gamma di sensori e di tecnologie per acquisire dati, processarli, derivarne informazioni 2D e 3D dettagliate e accurate e renderle disponibili attraverso basi di dati online o piattaforme digitali.

Per l'acquisizione di dati geomatici, sono disponibili diversi sistemi e piattaforme: immagini satellitari a media e alta risoluzione, camere aeree con sensori lineari o full-frame, sensori iperspettrali con centinaia di canali, sensori radar interferometrici montati su satelliti o aerei, strumenti Lidar aerei o terrestri, sistemi UAV (*Unmanned Autonomous Vehicle*) come modellini di elicottero o droni che trasportano sensori a scansione o camere digitali, camere panoramiche con sensori lineari, camere per infrarosso termico, macchine digitali amatoriali o SRL con la possibilità di montare filtri interferenziali per acquisizioni multispettrali. Tutti questi sensori sono spesso accompagnati da sistemi GPS/IMU (*Inertial Measurement Unit*) per un preciso posizionamento o la geo-referenziazione dei dati.

A fronte di una vasta gamma di software gli algoritmi esistenti per il processamento dei dati funzionano primariamente con approcci manuali o semi-automatici, specialmente per applicazioni terrestri e architettoniche, in quanto la completa automazione non ha ancora raggiunto un livello tale di affidabilità e precisione migliore rispetto alle metodologie interattive. Le informazioni metriche e geo-referenziate che vengono derivate sono poi utilizzate, catalogate, amministrare, visualizzate e conservate in sistemi GIS o generici database.



Figura 1 - Modellazione 3D da immagini di facciate, bassorilievi o monumenti realizzata con CLORAMA (www.4dexplorer.com).

Tra le tecniche di processamento dei dati, la fotogrammetria e telerilevamento sono in grado di estrarre informazioni (3D) metriche e semantiche dalle immagini in modo preciso, dettagliato e affidabile. In parallelo o in combinazione, sensori attivi come laser scanner (basati sul principio del tempo di volo o della triangolazione), sistemi a proiezione di frange o sensori radar, offrono la possibilità di derivare direttamente informazioni 3D in modo automatico, anche se attualmente richiedono ancora lunghi tempi di processamento per derivarne modelli 3D strutturati.

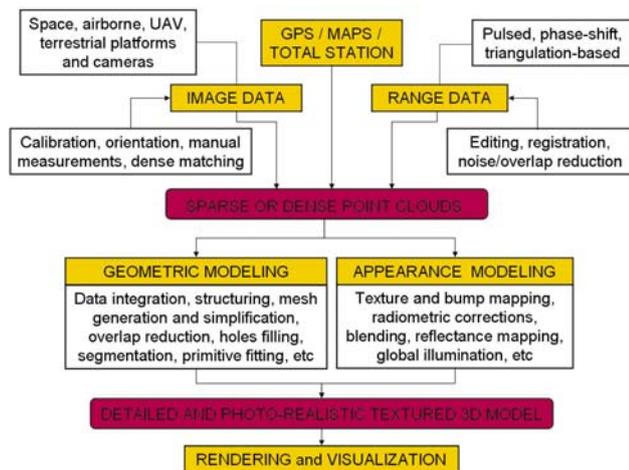


Figura 2 - Le diverse tipologie di dati disponibili e integrate per il rilievo di siti archeologici o beni culturali complessi.

L'integrazione di dati provenienti da diversi sensori (*multi-sensor data fusion*) ha recentemente ricevuto molta attenzione da parte della comunità scientifica. L'idea è di combinare dati e informazioni da diverse fonti per migliorare le prestazioni del rilievo, la robustezza, la precisione, il dettaglio e avere una maggiore copertura spaziale (*multi-resolution*) e temporale (*multi-temporal*). L'integrazione di sensori e dati è stata utilizzata principalmente in progetti legati alla classificazione, mappatura o analisi del territorio ma anche per la documentazione, conservazione e visualizzazione di beni culturali (siti e reperti). Misure eterogenee provenienti da foto-camere, sensori a scansione, stazioni totali o mappe vengono registrate e integrate, utilizzando punti omologhi, al fine di sfruttare tutti i vantaggi di ciascuna tecnica di rilievo e compensarne le eventuali lacune. A seconda della tecnica e dell'oggetto da rilevare vengono derivate nuvole di punti dense o sparse che sono successivamente processate, strutturate e texturizzate per realiz-

zare modelli tridimensionali utili al restauro virtuale, alla conservazione digitale, per produrne repliche, etc. Spesso vengono ricavate proiezioni prospettiche o assonometriche, sezioni o curve di livello per una migliore comprensione e rappresentazione dell'oggetto o del sito rilevato. Per grandi siti o architetture, vengono anche realizzate analisi di visibilità, applicazioni webgis, visualizzazioni, animazioni, etc.

DIVERSE METODOLOGIE PER PROBLEMI DIVERSI: ALCUNI ESEMPI

Le diverse tecniche di rilievo esistenti sono state impiegate in vari progetti di rilievo di siti archeologici e beni culturali nazionali e internazionali.

Per architetture complesse, come i castelli del Trentino (Figura 3), è stata sviluppata una metodologia basata sull'integrazione della fotogrammetria (aerea e terrestre) e laser scanner. Le grandi architetture sono state restituite da immagini aeree, mentre alcuni dettagli o particolari decorativi sono stati modellati con scanner o tecniche di correlazione automatica tra immagini. Misure GPS sono servite per l'integrazione dei vari dati e per la geo-referenziazione dei modelli 3D.

La documentazione del sito Maya di Copan in Honduras è stata realizzata integrando dati provenienti da una camera digitale montata su un mini-elicottero (UAV), laser scanner a tempo di volo e immagini terrestri. Le immagini UAV hanno permesso di realizzare un modello digitale del terreno e di restituire le principali strutture e architetture Maya. I dati scanner e le immagini terrestri sono stati invece utilizzati per modellare oggetti complessi come stele e bassorilievi (Figura 4).



Figura 3 - Rilievo 3D di architetture complesse come castelli medioevali e fortezze. In figura il castello di Beseno (Trento) modellato utilizzando immagini da elicottero e terrestri.



Figure 4 - Mosaico della Grande Piazza nell'area archeologica di Copan, rilevata con immagini acquisite da un mini-elicottero per restituire le principali strutture Maya. Alcuni oggetti sono stati modellati utilizzando immagini terrestri e laser scanner.

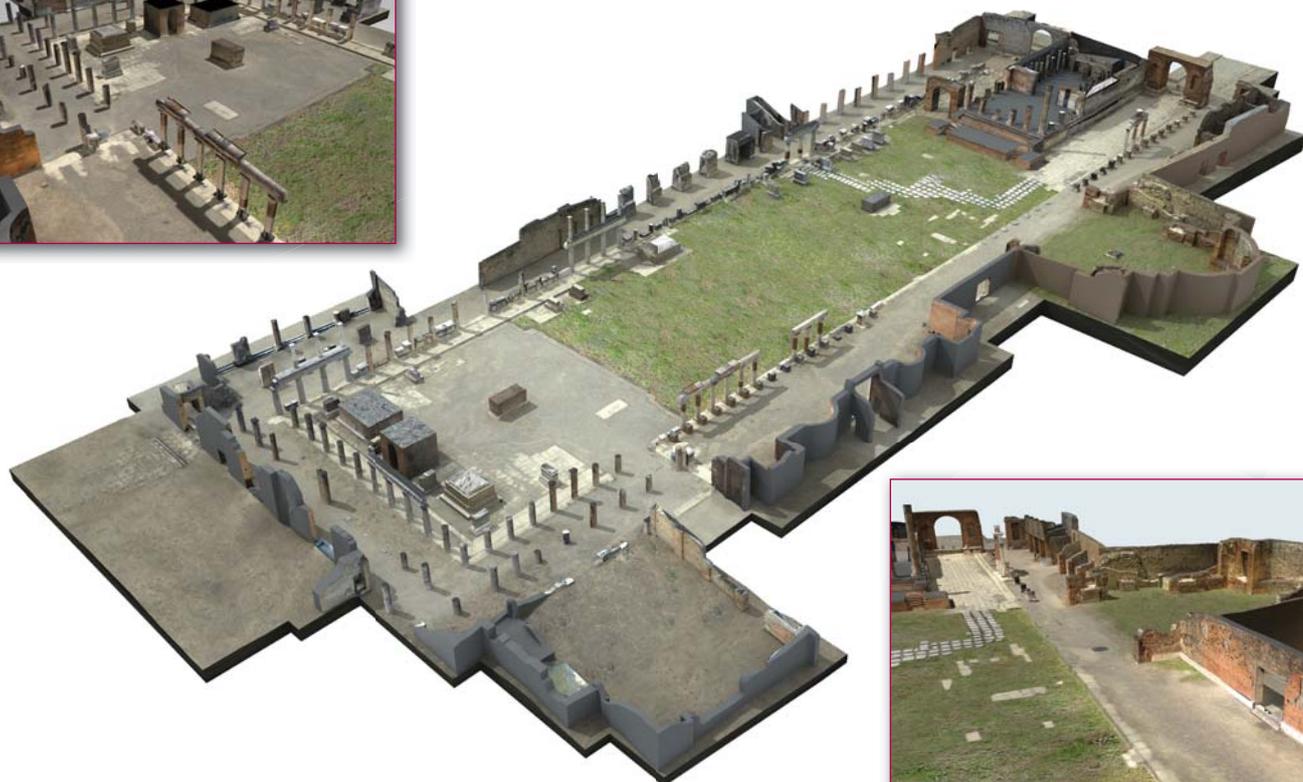


Figure 5 - Il Foro romano di Pompei, rilevato e modellato in 3D integrando immagini aeree (scala 1:3500), TOF laser scanner e circa 5000 immagini terrestri.

La documentazione 3D permette di realizzare un GIS dell'area archeologica e di pianificare politiche di restauro e conservazione.

Il Foro romano di Pompei, che occupa un'area di circa m 150 x 80, è delimitato da diverse strutture murarie e contiene circa 350 oggetti, tra reperti a terra e colonne. La documentazione 3D, realizzata con un approccio multi-scala e multi-risoluzione (Figura 5), è servita per classificare semanticamente i vari reperti del Foro (Figura 6) e creare una banca dati per la soprintendenza del sito UNESCO. La banca dati può essere interrogata richiedendo informazioni testuali, vettoriali, geografiche e 3D.

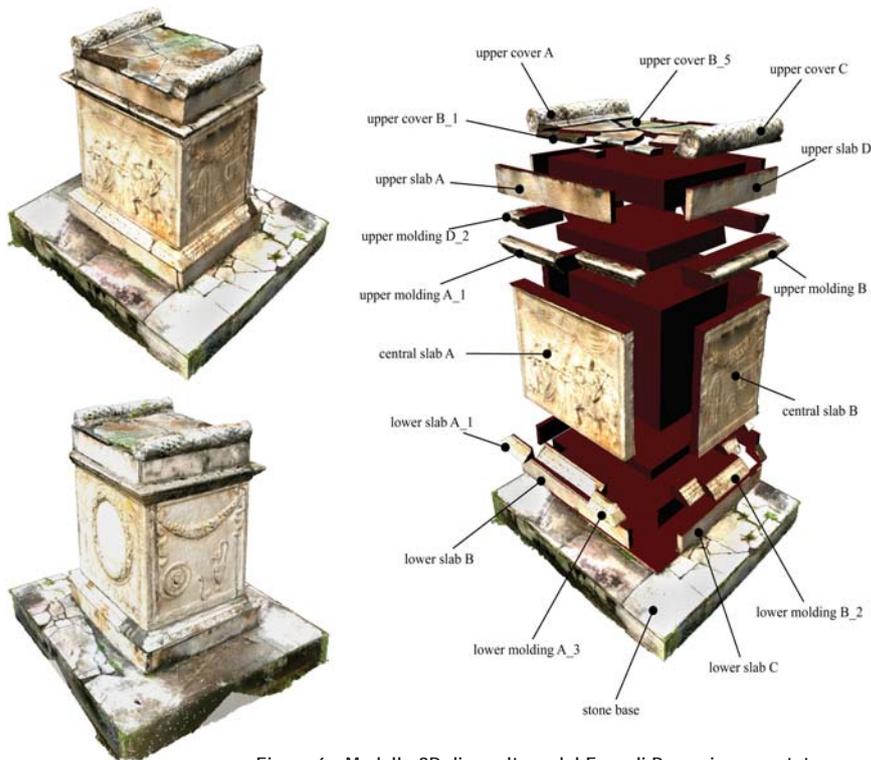


Figure 6 - Modello 3D di un altare del Foro di Pompei segmentato e classificato utilizzando la semantica architettonica.

Nonostante il rilievo 3D non sia ancora la prassi quotidiana e comune soprattutto nel settore dei beni culturali e dell'archeologia, gli esempi riportati mostrano le potenzialità delle moderne tecniche di rilievo per documentare e preservare il nostro patrimonio culturale, sempre più soggetto a degrado, conflitti e cambiamenti climatici. La modellazione 3D attraverso la fotogrammetria o i laser scanner, accoppiata ai Sistemi Informativi Territoriali (GIS) e software di visualizzazione ed animazione, è ancora in uno stadio dinamico ed evolutivo, ma con prospettive molto positive per il futuro.

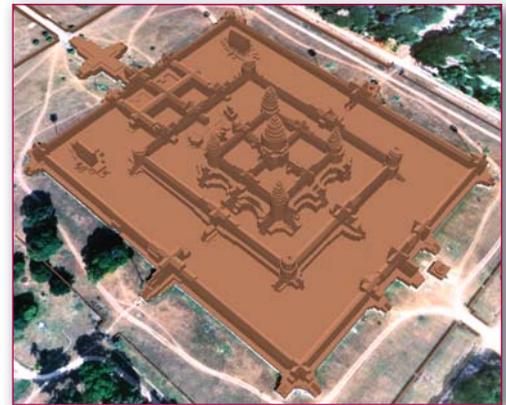
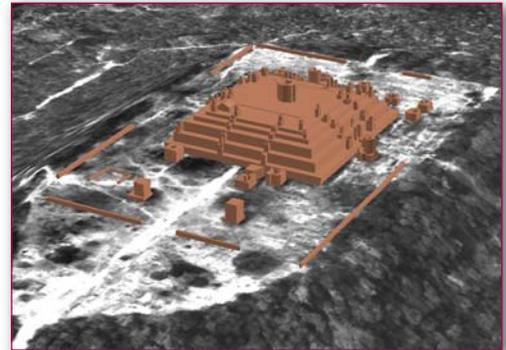


Figure 7 - Modelli 3D ibridi dei templi di Angkor Wat e Phnom Bakheng in Cambogia ricostruiti in 3D da immagini aeree combinando la geometria del terreno (DTM) e le strutture archeologiche.

BIBLIOGRAFIA

Remondino F., El-Hakim S., Girardi, S., Rizzi A., Benedetti S., Gonzo L. (2009) *3D Virtual reconstruction and visualization of complex architectures - The 3D-ARCH project. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38 (5/W1), Trento, Italy

Guidi G., Remondino F., Russo M., Menna F., Rizzi A., Ercoli S. (2009) A multi-resolution methodology for the 3D modeling of large and complex archaeological areas, *International Journal of Architectural Computing*, Vol. 7 (1), 40-55

Remondino F., Girardi S., Rizzi A., Gonzo L. (2009) 3D Modeling of complex and detailed Cultural Heritage using multi-resolution data, *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, Vol. 2 (1), article no. 2

Manferdini A. M., Remondino F., Baldissini S., Gaiani M., Benedetti B. (2008) 3D modeling and semantic classification of archaeological finds for management and visualization in 3D archaeological databases, *Proc. of 14th Int. Conference on Virtual Systems and MultiMedia (VSM 2008)*, Limassol, Cyprus, 221-228

Remondino F., El-Hakim S., Gruen A., Zhang L. (2008) Development and performance analysis of image matching for detailed surface reconstruction of heritage objects, *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 25 (4), 55-65

Sonnemann T., Saurbier M., Remondino F., Schoretter G. (2006) Reality-based 3D modeling of the Angkorian temples using aerial images, *Proc. of 2nd International Conference on "Remote Sensing in Archaeology"*, Rome, 573-579

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano S. Girardi, A. Rizzi, L. Gonzo (FBK Trento), G. Guidi e M. Russo (Politecnico di Milano), A. Manferdini e M. Gaiani (Università di Bologna), A. Gruen (ETH Zurich).

ABSTRACT

The importance of Cultural Heritage documentation is well recognized and there is an increasing pressure to document and preserve them also digitally. The continuous development of new sensors, data capture methodologies and multi-resolution 3D representations and the improvement of existing ones can contribute significantly to the documentation, conservation and presentation of Cultural Heritage sites and to the growth of research in this field. The article reviews the actual surveying and modeling methodologies and presents some examples of heritage sites 3D documentation.

AUTORE

FABIO REMONDINO

CENTRO PER LA RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

FONDAZIONE BRUNO KESSLER (FBK)

TRENTO, ITALIA

E-MAIL: REMONDINO@FBK.EU

WEB: [HTTP://WWW.FBK.EU](http://www.fbk.eu), [HTTP://SOI.FBK.EU/EN/RESEARCH/3DOM](http://soi.fbk.eu/en/research/3dom)