

HERITAGE E GOVERNANCE TERRITORIALE: ESPERIENZE DI RILIEVO 3D NEI PROCESSI DI TUTELA E VALORIZZAZIONE DEI BENI CULTURALI

HERITAGE AND LAND GOVERNANCE: THE USE OF 3D SURVEYING TECHNIQUES FOR THE CULTURAL HERITAGE CONSERVATION

Giorgio Paolo Maria Vassena*

Riassunto

Le tecniche di rilevamento nel campo dei beni culturali sono in continua e costante evoluzione. Il presente contributo vuole descrivere come l'autore ha vissuto nella propria attività accademica ed in seguito professionale, all'interno di una azienda spin off dell'Università di Brescia, lo sviluppo di tali tecniche e le problematiche che l'evoluzione tecnologica introduce.

Abstract

Survey techniques in the cultural heritage field are always in progress. This paper intends to describe how the author is experimenting with their development and the critical aspects of the evolution technology in his own academic activity and later also in the professional one, inside the spin-off company of the University of Brescia.

Premessa

Gli esperti nel campo del rilevamento, individuabile nel più ampio campo definito come geomatica, sempre più spesso si trovano a confrontarsi con esperti di tecnologie informatiche o di nuove tecnologie strumentali. Analizzando però nel dettaglio le competenze a confronto, si nota come l'esperto nel campo del rilevamento ha alcune caratteristiche che lo distinguono notevolmente da quelle degli esperti di nuove tecnologie emergenti.

In primo luogo, anche se potrebbe sembrare una caratteristica ovvia di chi si occupa di osservare e descrivere la realtà, il rilevatore è in generale più interessato all'oggetto del rilevamento rispetto alla tecnologia impiegata nell'eseguire il rilievo. Pur avendo infatti uno spiccato interesse negli strumenti informatici e strumentali per effettuare il rilievo, l'esperto in geomatica è sempre pronto a rivolgersi e ad aprirsi a nuove tecnologie o strumenti, in grado di migliorare la qualità e la produttività della propria attività.

Al contrario l'esperto in tecnologie "verticali", è in generale "innomato" della propria competenza, e vede l'oggetto del rilievo come uno strumento per testare e applicare le proprie competenze. Dunque tale esperto tenterà in ogni modo di applicare, in tutte le situazioni, la medesima tecnologia di cui è competente, mancando al contrario di avvalersi di tecnologie meno costose, più efficaci e più semplici, per il banale motivo di essere arretrate.

* Università degli Studi di Brescia, Dipartimento DICATA, giorgio.vassena@ing.unibs.it



Fig. 1 – Localizzazione del lago Tana in Etiopia.

Un esempio semplice ma esemplificativo di tale problema accadde all'autore quando discutendo con tecnici informatici e ingegneri di un importante raffineria in merito al problema dell'estrazione da un rilievo laser scanner della rete di tubi e flange che costituivano l'impianto si pose il problema di come determinare la dimensione di alcuni tubi che erano ricoperti da un isolamento termico esterno. Dopo una accanita discussione, fece notare che i tubi di tali caratteristiche erano assolutamente in numero esiguo, e per determinare il diametro del tubo ricoperto dallo strato di isolante non era necessario applicare elaborati modelli statistici o analisi della risposta del segnale in riflettanza, ma bastava che al momento del rilievo il tecnico con un puntale misurasse in forma diretta lo spessore dell'isolante.

Tale considerazione ovvia e banale, che suscitò il plauso del gruppo di tecnici, era tecnologicamente così semplice che non era stata automaticamente presa in considerazione.

Esistono però altre due caratteristiche del rilevatore che lo distinguono nettamente da altre competenze disciplinari. La prima è l'osservare la geometria del reale descritta rispetto ad un condiviso sistema di coordinate di riferimento e la seconda è quella di associare ad ogni misurazione, e dunque ad ogni coordinata estratta, un indice di accuratezza.



Fig. 2 – L'isola di Dek, posta al centro del lago Tana, dove sorge il tempio di Narga Selasse.

Dunque il rilevatore è quella persona che ricerca gli strumenti e le tecniche più diverse per poter ottenere il rilievo dell'oggetto sotto indagine, andando a riferire tutte le misurazioni rispetto ad un sistema di riferimento, e associando ad ogni misurazione un parametro di accuratezza che permette di comprendere come integrare e armonizzare le diverse misurazioni su un'unica piattaforma.

Di seguito l'autore andrà a dettagliare alcune esperienze che descrivono come si è evoluta nel tempo tale convinzione e come le nuove tecnologie di rilevamento tridimensionale introducono interessanti (e ancora da chiarire) domande relativamente alle accuratezze delle misurazioni e alla loro integrabilità in un'unico modello tridimensionale.

I. Il rilevamento integrato e la produzione di un modello 3D parametrico

I.1 Il caso del tempio di Narga Selasse

Il caso del rilevamento del tempio di rito copto-etiope di Narga Selasse [Spedizione scientifica organizzata dalla Fondazione Montandon, a cui parteciparono il prof. Alberto Giussani (Politecnico di Milano) e Giorgio Vassena (Università di Brescia)], posto al centro del lago Tana in Etiopia (Fig. 1), è un esempio di integrazione di diverse modalità di misurazione per ottenere in tempi e modi sostenibili, il rilievo di una architettura posta in una zona assai difficilmente raggiungibile dell'Africa.

L'isola di Dek, posta al centro del lago Tana (Fig. 2), dove sorge la chiesa Narga Selasse è difficilmente raggiungibile e la logistica è tale che la strumentazione trasportabile sull'isola è forzosamente limitata.

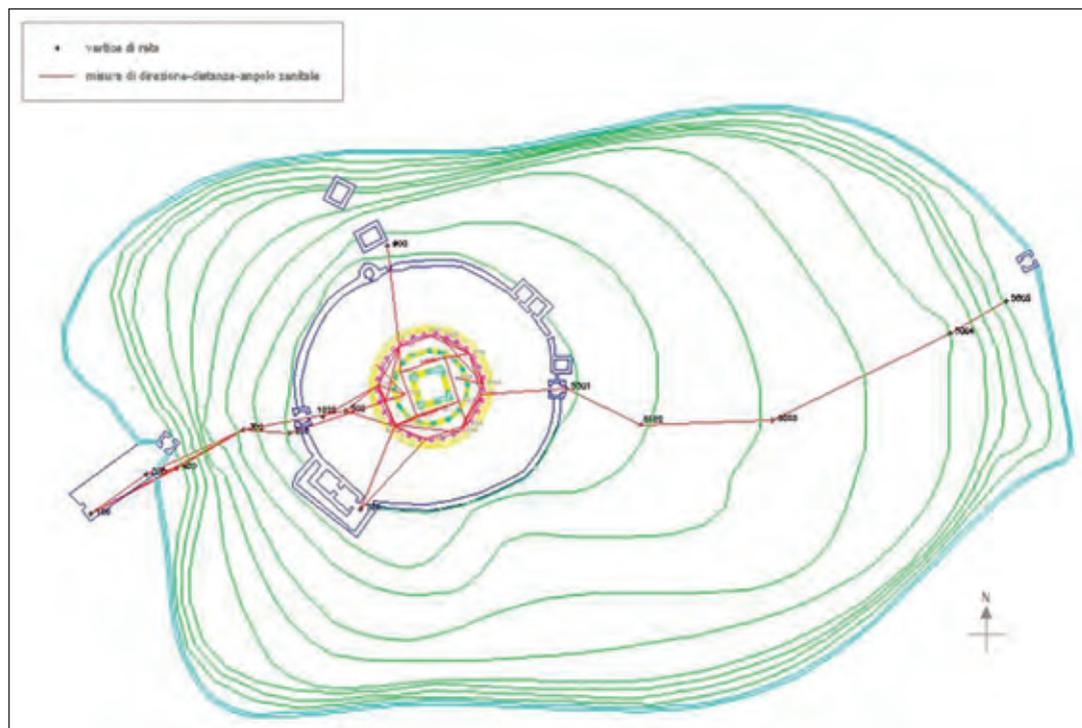


Fig. 3 – La rete di inquadramento generale realizzata per il rilievo del tempio e del recinto sacro.

Per effettuare il rilevamento nel 1989 si aveva a disposizione semplicemente una stazione totale. Per la documentazione fotografica professionale era disponibile una camera fotografica a banco ottico e sistemi di illuminazione.

Il tempo limitato e il desiderio di procedere, comunque, ad un rilevamento rigoroso, per quanto speditivo, ha imposto una modalità di approccio che ha visto in primo luogo il tracciamento di una rete topografica di inquadramento generale (Fig. 3).

Dunque, a partire dai vertici della rete di inquadramento si è proceduto alla misurazione di punti significativi della chiesa e del recinto "sacro" che delimita l'ambito del tempio medesimo. Ogni punto misurato della struttura è stato opportunamente monografato, in modo da permettere nella successiva fase di restituzione grafica la corretta identificazione delle geometrie.

I punti misurati della struttura sono stati impiegati principalmente per georeferenziare il grande numero di misure dirette che hanno permesso di inquadrare nel sistema di riferimento generale tutti i dettagli del rilievo. Dunque ogni elemento (finestra, colonna, fregio) è stato rilevato per via diretta, ma di esso sono state definite almeno 3 coordinate spaziali che ne hanno permesso l'inserimento nel modello generale.

Tale approccio ha permesso in fase di restituzione grafica tridimensionale (Fig. 4), di ricostruire elemento per elemento l'intera struttura del tempio, fino a giungere al modello tridimensionale texturizzato dell'intera chiesa.

La rapidità del rilievo sul campo ha però comportato una lunga e complessa fase di montaggio grafico del rilievo (circa 2 mesi), in ambiente 3DStudioMax. L'aspetto sicuramente interessante di questo approccio è il fatto che il modello tridimensionale del rilievo nasce già suddiviso e distinto nelle sue parti fondamentali e dunque la lettura del bene architettonico risulta efficace (Figg. 5, 6, 7).

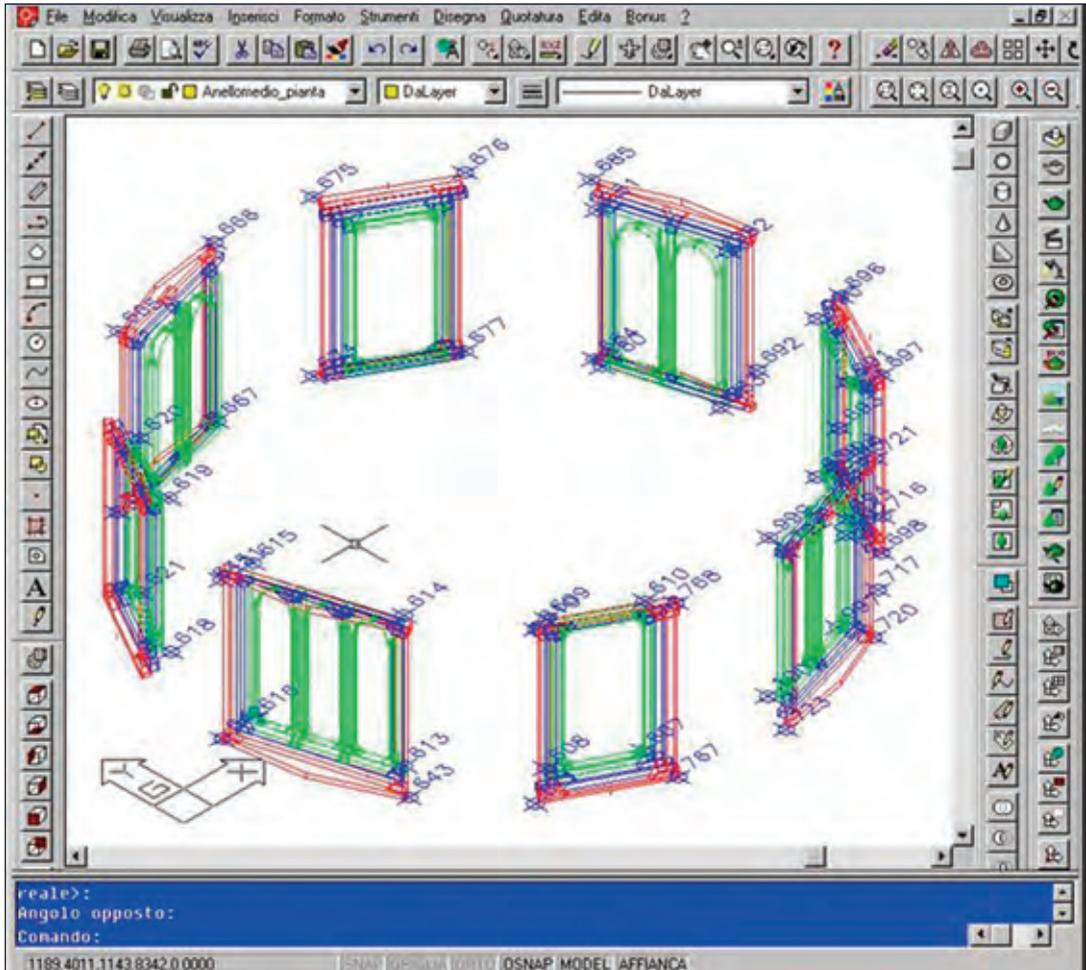


Fig. 4 – Esempio di ricostruzione tridimensionale della struttura a partire dalle misure dirette e dai punti di inquadramento misurati topograficamente.

D'altro canto si deve ammettere che il rilevamento, per quanto accurato e dettagliato, si struttura in elementi parametrici che non possono rappresentare correttamente la reale geometria e tessitura colorimetrica di tutti i dettagli strutturali e architettonici. Si veda come esempio la figura 8 in cui la sommità di una colonna, per quanto descritta con dettaglio, non differisce da tutti gli altri elementi similari (fig. 8).

Dalla descrizione della modalità di rilievo e della successiva fase di ricostruzione tridimensionale dell'architettura, è ovvia la necessità del rilevatore di operare in seguito in stretto contatto e collaborazione con l'operatore di disegno grafico tridimensionale.

Quello che interessa sottolineare è che una serie di misure dirette ha portato alla costruzione di un modello parametrico tridimensionale dell'architettura. A conclusione del rilevamento, dunque, se l'operatore ha operato con intelligenza, è già disponibile un'organizzazione topologica del bene, che rappresenta un'informazione di estremo valore sia per la lettura storico/artistica del bene culturale sia eventualmente per l'impiego delle avanzate metodologie informatiche di gestione e catalogazione del bene architettonico.

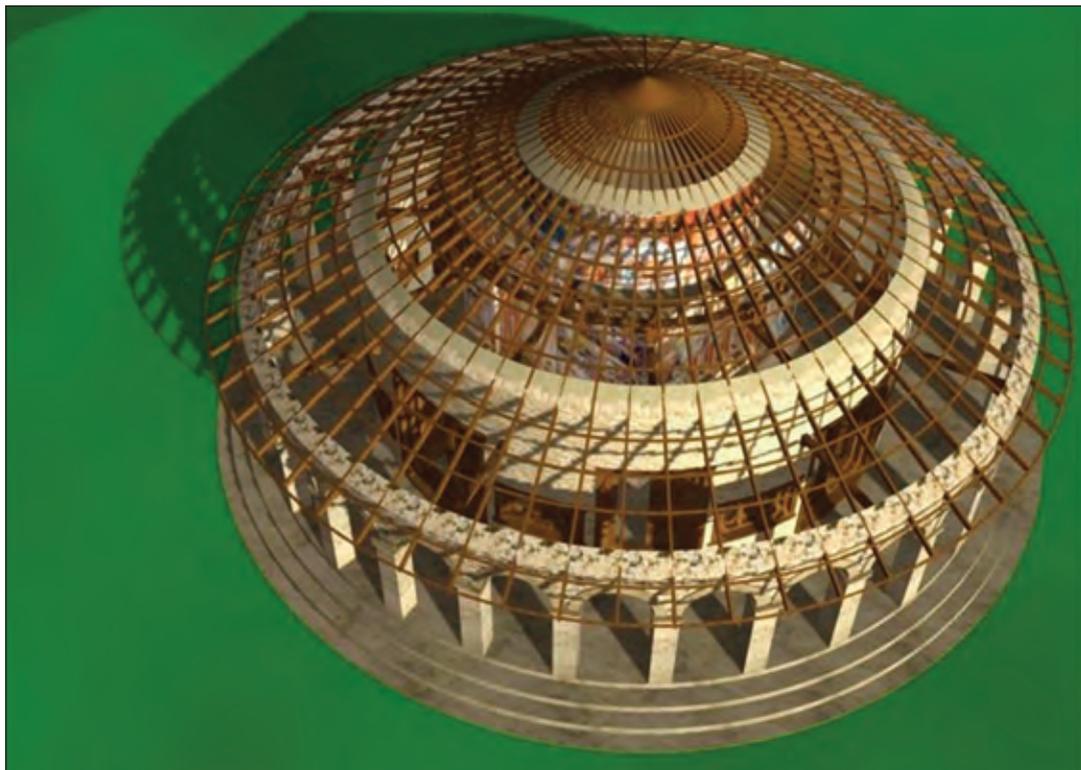


Fig. 5 – La vista a volo d'uccello del tempio di Narga Selse. Il "congelamento" del livello CAD della copertura permette di leggere perfettamente la trama strutturale e architettonica della chiesa.

1.2 La cappella di Santa Maria in Solario al convento di Santa Giulia in Brescia

Un esempio analogo di rilievo topografico, integrato con misurazioni dirette e approccio fotogrammetrico e fotogrammetrico semplificato (raddrizzamento fotografico), che ha portato a un modello tridimensionale della struttura, è la cappella di Santa Maria in Solario all'interno del convento di Santa Giulia (ora Museo di Santa Giulia) (Cantoni, Lanzi, Vassena, 2001).

Una maglia topografica di inquadramento, integrata con un rilievo fotogrammetrico/topografico dell'intradosso della cupola "stellata" e l'uso diffuso del raddrizzamento fotografico rigoroso (impiegando camere da prese analogiche di tipo semi metrico), ha permesso di ricostruire il modello tridimensionale in CAD.

Le pareti interne, sono state rilevate con approccio fotogrammetrico semplificato (raddrizzamento). L'esempio di figura 9 mostra un fotomosaico ottenuto dal raddrizzamento di ben 25 prese fotogrammetriche e raddrizzate grazie a 125 punti di appoggio. La geometria dell'intera sala è stata ricavata tramite misurazioni topografiche che hanno permesso di ricavare la struttura parametrica delle murature, su cui in una fase successiva sono state proiettate le prese fotografiche.

Questa complessa e articolata operazione di "montaggio" degli elementi parametrici tridimensionali che compongono la sala affrescata di Santa Maria in Solario ha permesso di ottenere un modello CAD (3D Studio Max) (Fig. 10) esternamente accurato e dettagliato (Figg. 11 e 12).

Anche in questo caso, come nel rilievo del tempio di Narga Selse, il tempo di elaborazione



Fig. 6 – La vista dell'interno del modello tridimensionale texturizzato della chiesa di Narga Selasse.

del dato CAD è risultato estremamente oneroso e sostenibile economicamente solamente in quanto tale attività è stata realizzata (come d'altro canto il modello 3D di Narga Selasse) da studenti universitari all'interno di lavori di tesi (Figg. 11 e 12).

1.3 Considerazione metodologiche

Entrambi i rilevamenti tridimensionali portati ad esempio mostrano come il risultato del rilevamento porta ad un modello digitale parametrico dell'architettura. Se si esclude la rete topografica di misura, il dato è composto da misurazioni dirette e da prese fotografiche. Dunque il dato grezzo di misura, composto da misurazioni topografiche, prese fotografiche e misurazioni dirette, è stato accuratamente archiviato ed è sempre disponibile per eventuali integrazioni, studi e per estrarre eventualmente ulteriori modelli.

Dunque il modello tridimensionale è assolutamente distinto dalla misurazione, che è una composizione di acquisizioni eseguite con metodi e strumenti diversi e integrati.

2. Il rilevamento a “nuvola di punti” di centri storici urbani

2.1 Premessa

Con la tecnologia di rilevamento laser scanner si introduce una considerevole novità nelle attività di rilevamento, che consiste nel fatto che il dato grezzo misurato, la cosiddetta nuvola di punti (point cloud) è una misura che risulta strettamente a disposizione dello specialista.



Fig. 7 – Prospetto interno della chiesa, texturizzato tramite le immagini acquisite con banco ottico.

Mentre la presa fotogrammetrica, la misurazione topografica, la misurazione diretta dell'operatore, si configuravano come un dato facilmente archiviabile, leggibile e osservabile dal non specialista. La nuvola di punti si configura come un "dato grezzo" non gestibile, ma nemmeno visualizzabile da committente del lavoro, dal restauratore, dallo storico o dal conservatore.

Il dato è gestibile solo da specialisti con programmi informatici opportuni e, laddove il non specialista riuscisse a visualizzare il dato della nuvola di punti, l'estrazione di qualsiasi informazione è assai complessa e dunque anche la visualizzazione del dato non risulta di quasi nessuna utilità.

L'effetto che dunque si produce è che, poiché il dato a nuvola di punti non è leggibile dal committente, questo dato, anche se fornito dal rilevatore al committente, non viene poi da quest'ultimo in alcun modo conservato e nella generalità dei rilevamenti il dato grezzo del rilevamento laser scanner va in generale perduto.

Questo rappresenta sicuramente uno stacco rispetto al passato, in cui la misura, il dato grezzo, la presa fotografica o fotogrammetrica rappresentavano un valore conservato con cura e spesso allegato alla consegna degli elaborati finali.

Nei seguenti paragrafi si dettagliano, a titolo di esempio, alcuni casi di rilevamento tridimensionale laser scanner in ambito urbano, al fine di documentare la rapidità dello sviluppo tecnologico del settore.



Fig. 8 – Un dettaglio del tempio di Narga Selasse. La tessitura è ricavata dall'impiego di prese fotografiche dei reali capitelli.

2.2 Rilevamento di Piazza Brà a Verona

Lo sviluppo tecnologico in tale campo è stato e continua ad essere estremamente rapido. A riguardo si cita a titolo di esempio il rilievo tridimensionale di Piazza Brà a Verona eseguito dai nel 2003 dai ricercatori del Centro Comune di Ricerca di Ispra in collaborazione con i ricercatori dell'Università degli Studi di Brescia nel 2003 (Boström G., Gonçalves J.G.M., Sequeira V., 2005). Tale attività fu realizzata con un mezzo mobile dotato di sensori laser scanner, camere digitali e ricevitore GPS per il posizionamento.

L'attività di acquisizione fu eseguita in poche ore, ma l'elaborazione dati al fine di ottenere il modello tridimensionale a nuvola di punti colorato della piazza richiese mesi di lavoro (cfr. filmato [2]). Al di là dell'aspetto sperimentale, si osserva immediatamente come la tecnologia laser scanner permetta di ottenere una descrizione geometrica della realtà con un grado di dettaglio assolutamente impensabile solo pochi anni fa.

D'altro canto, superato l'istante iniziale di stupore, si nota come tale dato risulta completamente non strutturato. Ogni elemento tridimensionale rilevato viene descritto tramite una nuvola di punti. Nessun elemento strutturale, artistico, topologico viene riconosciuto. Dunque a tale dettaglio non si associano, al momento maggiori informazioni.

Le tempistiche di trattamento dati e la difficoltà nella estrazione di qualsiasi informazione che non sia la mera distanza tra punti o l'estrazione di filmati digitali virtuali, scoraggiano l'impiego e la diffusione massiva di tale tecnologia.



Fig. 9 – Il fotoraddrizzamento di un prospetto interno di Santa Maria in Solario.

2.3 Progetto RAMSES (Rilievo Altimetrico, Modellazione Spaziale E Scansione3D)

Già nel 2006 il comune di Venezia lancia l'ambizioso progetto RAMSES (di cui l'autore svolge l'attività di collaudo in corso d'opera) con l'obiettivo di realizzare una mappatura tridimensionale dell'intera pavimentazione di Venezia con accuratezze dell'ordine del centimetro.

La necessità di conoscere l'andamento altimetrico della pavimentazione era particolarmente urgente per una città come Venezia, che vede nella gestione del fenomeno dell'acqua alta e della subsidenza della città una delle principali problematiche.

Tale rilievo ha previsto il tracciamento di una rete GNSS generale in inquadramento in tutta la città composta da 65 vertici (di cui 32 di nuova materializzazione) che è stata seguita da una rete di livellazione di alta precisione composta da 4015 caposaldi per una lunghezza totale di livellazione pari a ca. 140 km (Fig. 14). Dalla rete di vertici GNSS è stata collegata una rete topografica planimetrica di inquadramento (organizzata in 16 blocchi ognuno dei quali contenente almeno 4 vertici della rete di inquadramento GNSS) che a sua volta è stata raffittita tramite una rete planimetrica a bracci corti per l'addensamento dei vertici planimetrici in tutta la città. Tale rete è stata indispensabile per definire la posizione planoaltimetrica dei target removibili che consentono l'orientamento spaziale delle scansioni.

Il capitolato generale d'appalto ha previsto infatti che le scansioni con laser scanner debbano osservare almeno 6 mire (target) georeferenziate. Pur essendo infatti la richiesta relativa alla determinazione altimetrica della pavimentazione della città, il fatto che ogni scansione laser sia caratterizzata da 6 gradi di libertà richiede

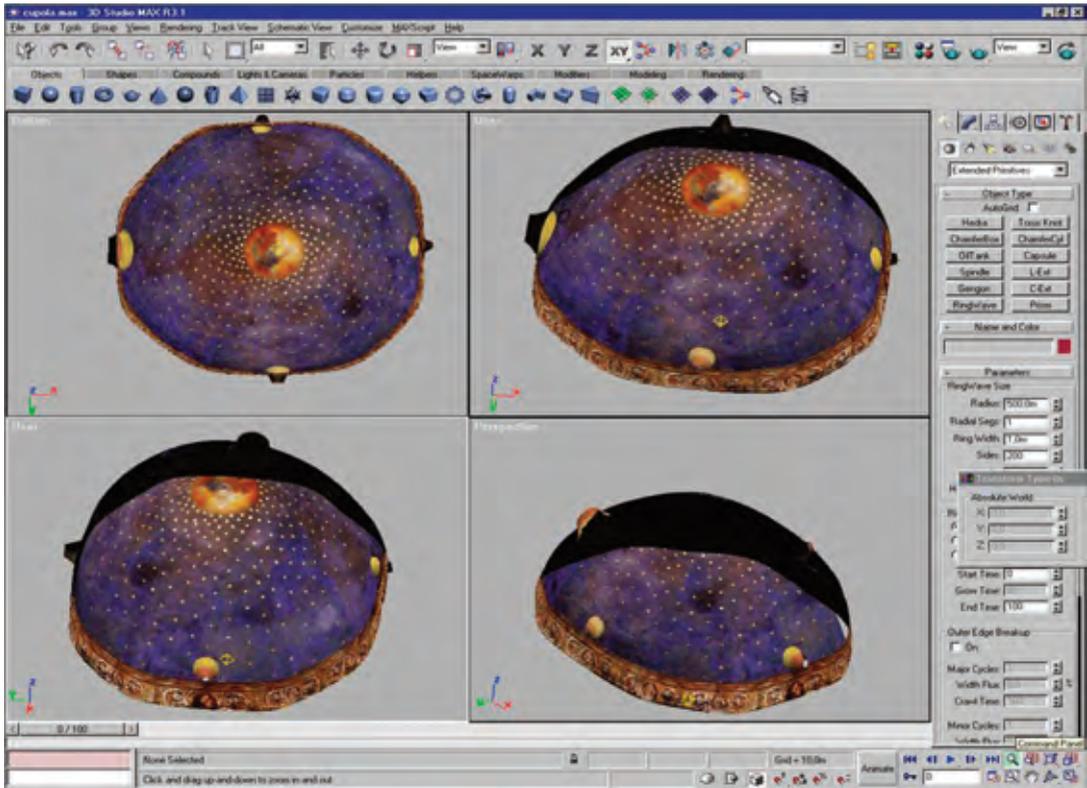


Fig. 10 – Il modello tridimensionale in 3D Studio Max della cupola stellata della cappella di Santa Maria in Solario.

che le mire sia note con accuratezza non solo in quota ma anche nella coordinata planimetrica.

Il rilievo è stato eseguito con scansioni in modalità statica e alla conclusione dell'attività di rilevamento si registrano più di 22.000 acquisizioni con una conseguente mole di dati grezzi elevatissima.

Le scansioni, allineate tre a tre ed in seguito organizzate a progetti legati alle singole fasi operative, hanno visto anche un'acquisizione fotografica grazie ad una camera digitale sovrainposta al laser scanner di misura (Riegl 420i). Dunque, pur essendo il rilievo strettamente finalizzato alla quotatura della pavimentazione della città e delle soglie di ingresso delle proprietà, in effetti il rilievo ha riguardato anche l'elevazione degli edifici. Il limite di visuale della camera fotografica (non in grado di ricoprire e dunque colorare il medesimo spazio di scansione dello strumento laser scanner), non ha permesso di ottenere una nuvola di punti colorata anche per tutte le parti in elevazione degli edifici. Nonostante questo limite intrinseco alla modalità di acquisizione dati, RAMSES ha permesso di documentare in tre dimensioni anche gran parte dei prospetti dell'intera città.

2.4 Test di gestione dati in multirisoluzione e multiplatforma

Il caso RAMSES mostra come il rilievo tridimensionale tramite *laser scanner* permetta di ottenere su ampie porzioni di territorio una risoluzione e accuratezza assai elevate. D'altro canto la mole di dati acquisiti e il loro immagazzinamento e archiviazione ha richiesto un grande sforzo, reso possibile dal coordinamento tra direzione lavori (Comune di Venezia) e dai rilevatori.



Fig. 11 – Vista interno del modello tridimensionale CAD della cappella (a sinistra).

Tale attività di rilevamento ha, però, richiesto un lungo arco temporale (circa 2 anni) e mostrato gravi problemi nell'organizzare a livello comunale con una attività continua di aggiornamento del dato tridimensionale nel tempo.

Se dunque tale esperienza è da prendere ad esempio, è evidente che perchè un rilievo tridimensionale di un bene possa essere acquisito in tempi rapidi, è necessario che l'archiviazione delle informazioni sia facilmente gestibile.

Per quanto riguarda la rapidità di acquisizione del dato tridimensionale, tale processo è garantito dal continuo progresso tecnologico che ha visto l'introduzione sul mercato di sensori ad uso terrestre (posizionati su treppiede) sempre più leggeri e rapidi nell'acquisizione delle scansioni tridimensionali. A lato di questi sensori sono sempre di maggiore impiego sensori di rilievo *laser scanner* posti su mezzi mobili (dotati di sensori inerziali IMU e di posizionamento satellitare GNSS) piuttosto che sensori posti su aereo mobile. Al fine di testare il possibile impiego di diversi strumenti per il rilievo in ambito urbano è significativa l'esperienza di utilizzo di sensori LiDAR da aereo (ALTM), posti su mezzi mobili (sensori Lynx) e su piattaforma terrestre (ILRIS) per il rilevamento della città di Toronto. L'esperimento, reso possibile grazie alla disponibilità dell'azienda canadese Optech che ha reso disponibili i dati georeferenziati, ha permesso di ottenere il risultato visualizzabile nel filmato di cui al [3].

L'unione dei dati multisorgente e multirisoluzione è stata possibile impiegando lo strumento "virtual scan" presente all'interno del software *JRC 3D Reconstructor*® dell'azienda Spin Off dell'Università di Brescia.



Fig. 12 – Vista globale dall'esterno del modello globale della cappella di Santa Maria in Solario (a destra).

Le esperienze di gestione di rilevamenti multiplatforma e in multirisoluzione è continuata con l'attività realizzata per il Comune di Brescia di rilevamento del centro storico cittadino e di alcune rilevanze storico artistiche della città, in occasione della mostra "Ercole il Fondatore" presso il Museo Santa Giulia.

In tale occasione si è effettuato un rilevamento del centro storico cittadino con un sensore Optech Lynx, unito a quello di dettaglio realizzato con *laser scanner* terrestri Faro Photon e Riegl 420i, nonchè impiegando un mezzo mobile (Stop&Go) dotato di camere digitali e sensore Faro Photon.

Tale rilevamento era finalizzato a introdurre il visitatore della mostra che descriveva il rapporto tra il mito di Ercole e la città di Brescia, permettendo la visita virtuale del centro storico cittadino tramite un filmato da trasmettere all'interno della mostra.

L'esperienza che ha dato vita al filmato di cui a [4], ha permesso di testare nuovamente le capacità di rilievo della tecnologia *laser scanner*, applicata ai beni artistici e culturali. Ha, però, evidenziato contemporaneamente alcuni limiti di tale tecnologia:

a) Pur avendo realizzato un rilievo con accuratezze centrimetriche di gran parte del centro storico cittadino e avendo rilevato alcune architetture di grande rilevanza (come la Torre d'Ercole e il Capitolium) l'unica modalità di rendere possibile la visualizzazione ad un pubblico non estremamente specialistico (cioè dotato di software specialistico e delle capacità di utilizzarlo) è quello di creare dei filmati, come quello mostrato in [4], o delle viste generali del rilievo.



Fig. 13 – Lo schema della rete di livellazione geometrica.



Fig. 14 – Il modello a nuvola di punti di Piazza San Marco a Venezia. (dal sito www.ramses.it)

b) Il dato rilevato non è impiegabile dai committenti, siano essi tecnici comunali o architetti. La mole di dati e i formati rendono, infatti, l'archiviazione del dato rilevato a nuvola di punti assai complessa e la gestione di tali informazioni richiede una formazione ed introduzione alla tecnologia troppo specialistica. Conseguenza di tale difficoltà è che la nuvola di punti rilevata viene archiviata su supporti digitali e a brevissimo tale dato va perduto.

Tale problema non si limita a rilievi particolari come quello qui descritto, ma è una caratteristica generale ed estendibile a tutte le attività di rilevamento di beni architettonici e culturali con tecniche laser scanner.

c) Il risultato è dunque che il committente non entra mai in reale possesso del rilievo tridimensionale ma bensì dei prodotti di tale rilevamento, cioè delle classiche tavole tecniche (prospetti, mappe delle lesioni, sezioni, profili, ortofoto, eccetera).

3. Una proposta di superamento del limite tecnologico

3.1 Premessa

Come descritto a conclusione del paragrafo precedente, siamo nella situazione paradossale che i rilevamenti tridimensionali resi possibili dall'approccio *laser scanner*, vengono in realtà persi nella loro tridimensionalità.

Il rilievo tridimensionale viene dunque pensato e realizzato come una modalità tecnica più rapida, speditiva e accurata (Drapa P, Sgrenzaroli M., *et. al.* 2003) per produrre i medesimi prodotti grafici che venivano realizzati con le tecniche più classiche e consolidate come la fotogrammetria digitale o la topografia classica.

Come esempio riportiamo l'ortofoto del rilevamento di una chiesa nel bresciano.

In realtà il modello tridimensionale della chiesa potrebbe essere esso stesso direttamente misurabile ed interrogabile dal committente, senza richiedere nuovamente l'intervento dell'esperto.

Inoltre, il dato tridimensionale viene in generale perso per incapacità del committente di leggere tale dato e di trasmetterlo.

Questo fatto ha come grave conseguenza che il dato rilevato va perduto, e dunque avviene frequentemente che il medesimo bene culturale venga rilevato con *laser scanner* più volte, da soggetti diversi, per estrarre tavole o informazioni differenti. Ad esempio, può accadere che per ottenere il prospetto di un monumento venga effettuata una scansione *laser scanner* e che tale rilievo tridimensionale venga rieffettuato in data successiva, ad esempio per estrarre una ortofoto del medesimo prospetto.

Ci permettiamo dunque di sintetizzare il problema in due parole: ACCESSO e ARCHIVIAZIONE del dato tridimensionale.

3.2 Sviluppi tecnologici

È cercando di risolvere le due problematiche di accesso al dato tridimensionale e sua archiviazione, che l'Università di Brescia ha attivato una intensa collaborazione con la propria società Spin Off.

Tale collaborazione ha avuto come obiettivo quello di applicare al mondo dei beni architettonici un approccio innovativo che impiegando una nuova applicazione, denominata *gexcel R³* consentisse contemporaneamente di permettere l'accesso al dato tridimensionale anche a non specialisti nell'impiego della tecnologia specifica e una sua archiviazione.

In particolare a riguardo della archiviazione si è deciso di seguire il seguente approccio. Come mostrato nei paragrafi precedenti, il rilevamento tramite sensori attivi (sensori LiDAR) e passivi (prese fotografiche), vede spesso interagire acquisizioni tridimensionali e fotografiche caratterizzate da risoluzioni e accuratèzze diverse.

Mantenere e archiviare il dato grezzo, così come viene acquisito sul campo, oltre che assai oneroso, pare risultare in qualche modo inefficace. Le attività di unione delle scansioni, di pulitura delle medesime da rumore, di "colorazione" delle nuvole di punti con il dato fotografico, sono attività assai onerose e che possono in generale essere eseguite dalla squadra e dal *team* che ha realizzato il rilevamento.



Fig. 15 – Esempio di ortofoto estratta da un modello tridimensionale a nuvola di punti di una architettura storica.

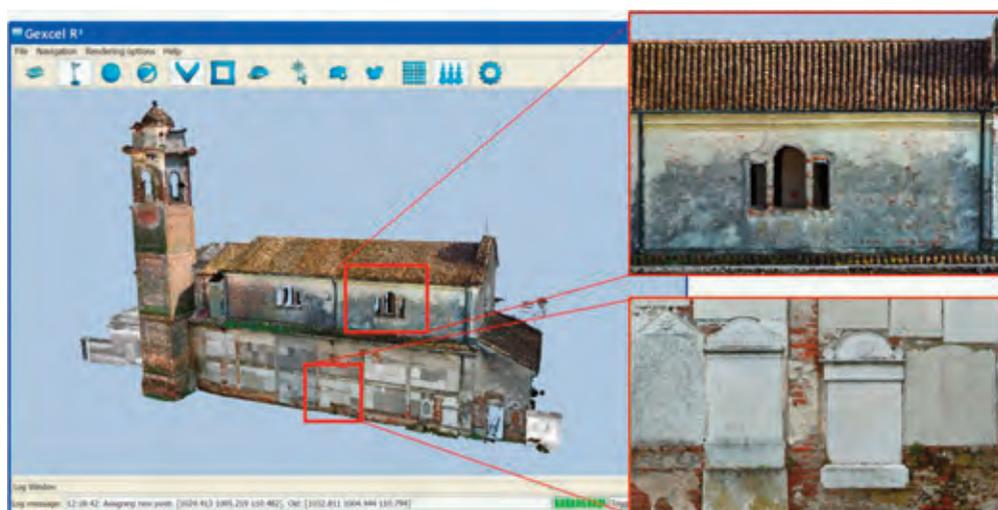


Fig. 16 – Il modello tridimensionale può contenere contenuti non evidenziati dal rilevatore.

Piuttosto dunque che effettuare l'archiviazione di tale dato grezzo, che risulterebbe comunque non utilizzabile nel futuro, si è seguita la strada di archiviare la nuvola di punti (eventualmente colorata) ottenuta a conclusione dell'operazione di rilevamento.

Il dato viene semplicemente ricampionato, pulito, orientato e organizzato e dunque gestito opportunamente per essere condiviso.

Questo approccio permette di condividere dati provenienti da sensori differenti, con risoluzione diverse e acquisiti in periodo diversi.

3.3 Il software gexcel R³: il cloud di nuvole di punti

A tal fine si è ricorsi al software *gexcel R³* che permette la gestione di nuvole di punti senza limiti di dimensione anche via rete.

L'approccio che si è inteso seguire vede dunque:

- a) l'unione delle nuvole di punti a formare un unico grande progetto. Conclusa la fase di realizzazione della grande nuvola di punti ad alta risoluzione, tale dato diviene il "dato grezzo" del rilievo tridimensionale. Ci si astiene in questa prima fase da semplificazioni del dato in risoluzioni basse o ad una sua semplificazione ad esempio da superfici a mesh;
- b) nella seconda fase la nuvola di punti viene posta in rete, su un server remoto;
- c) a questo punto il tecnico opera sul dato tridimensionale per produrre le classiche "tavole" richieste dal committente;
- d) tramite l'installazione di un semplice visualizzatore sul proprio *personal computer*, anche il committente è in grado di visualizzare, interrogare dimensionalmente il rilievo a nuvola di punti, via web (Pintus R., Gobbetti E., Calieri M. 2011);
- e) il tecnico oltre che visualizzare il rilievo a nuvola di punti, può anche farne selezioni e scaricare le porzioni di rilievo giudicate di interesse sul proprio computer e farne le elaborazioni evolute necessarie alla propria attività professionale.

Tale approccio metodologico, permette contemporaneamente di archiviare il dato tridimensionale, ma contemporaneamente di renderlo disponibile anche a personale non tecnico.

Giudichiamo che tale approccio, possa, per almeno un certo periodo di tempo, rappresentare una soluzione ai problemi prima individuati di ACCESSO e ARCHIVIAZIONE del dato tridimensionale rilevato.

3.4 Il caso test. Il sito archeologico di Cafarnaon in Terra Santa

Tale approccio è stato con successo applicato nel rilievo del sito archeologico di Cafarnaon in Terra Santa (Fig. 17). Il sito archeologico è stato rilevato con approccio laser scanner (FARO Focus^{3D}) e gestito tramite il software *JRC 3D Reconstructor®* e *gexcel R³®* (Cavallari, Chiamone, Vassena, in corso di stampa).

La nuvola di punti tridimensionale che descrive l'intero sito archeologico è composta da 600 milioni di punti (Fig. 18). Le file visualizzato tutto il dato acquisito (scansioni tridimensionali e immagini RGB) è gestito su singola piattaforma e opportunamente archiviato. Inoltre tale dato è visualizzabile via rete da chiunque abbia un accesso abilitato. Tale visualizzazione è mostrata nel video di cui a [5].

Sempre via web è stata inoltre ottenuta l'ortofoto del settore del sito archeologico corrispondente alla antica casa di San Pietro (Fig. 19).

Conclusioni

I casi dei rilevamenti del tempio di Narga Selasse e della cappella di Santa Maria in Solario descrivono un tipico approccio di rilevamento "classico" tridimensionale di beni architettonici. Le misurazioni topografiche, dirette e fotogrammetriche vengono combinate per restituire un modello parametrico tridimensionale dell'architettura (Brumana R., Crippa B., Vassena G., 1990), (Vassena G., Cantoni R., Arengi A., 2000), o dell'ambiente urbano (Vassena G., Selvini A., Bettin E., Viscardi L. 2000).

Tale approccio, attualmente ancora perseguibile, è tecnologicamente affiancato e in parte sostituito dall'approccio tramite strumentazione *laser scanner*.

Dal punto di vista metodologico, l'approccio "classico" vedeva una accurata archiviazione del dato grezzo di rilievo, che era costituito dalle misurazioni topografiche, dalle prese fotogrammetriche e dalle misure dirette dei dettagli architettonici.

Con l'introduzione dell'approccio *laser scanner*, il rilevatore sfrutta la ricca informazione geometrica



Fig. 17 – Il sito archeologico di Cafarnao in Terra Santa.

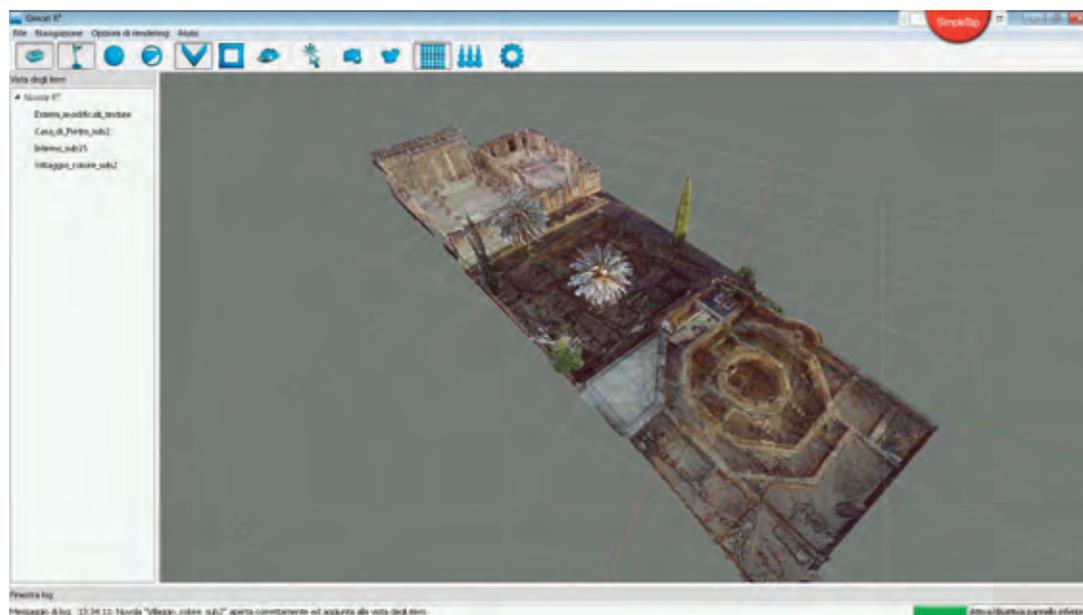


Fig. 18 – Il modello a nuvola di punti del sito archeologico di Cafarnao.



Fig. 19 – Ortofoto della casa di Pietro.

fornita da tale strumentazione, per produrre, spesso con grande difficoltà e impegno di risorse, le medesime tavole o il medesimo modello tridimensionale parametrico ottenuto con le tecnologie consolidate.

Spesso la nuvola di punti impiegata per la restituzione grafica viene persa e/o impiegata unicamente per realizzare video pubblicitari, comunque non realmente accessibile e consultabile da parte del committente. Dunque mentre in passato le misurazioni effettuate dal rilevatore andavano a far parte integrante del *database* di dati relativi alla architettura, ora il rischio è che il dato grezzo del rilevamento *laser scanner* vada perduto.

D'altro canto il dato grezzo della misurazione *laser scanner*, variabile in formati, risoluzioni, orientamenti rispetto alle altre scansioni è di difficile archiviazione.

Come prima proposta rispetto alla archiviazione del dato *laser scanner*, si propone dunque di procedere con metodologie che prevedano l'archiviazione non del dato grezzo ma della nuvola di punti, eventual-

mente colorata, in un formato di interscambio standard, come il formato E57 recentemente introdotto dal American Society for Testing and Materials (ASTM).

La possibilità di permettere di fruire e di accedere alla nuvola di punti via internet è da considerare come una interessante possibilità per rendere il dato tridimensionale rilevato tramite *laser scanner* realmente fruibile anche dai committenti delle attività di rilevamento.

Bibliografia

- BOSTRÖM G., GONÇALVES J.G.M., SEQUEIRA V. (2005), "Combination of multisensor 3D data with error bounds", in <ftp://image.ntua.gr/pub/4dkonto/WIAMIS-2005/defevent/papers/cr1106.pdf>
- BRUMANA R., CRIPPA B., VASSENA G. (1990), "Analytical treatment and description of the altimetric check of the St. Marcus' Basilica in Venice", *Int. Archives of photogrammetry and remote sensing*, Commission V, ISPRS, Zurich.
- CANTONI R., LANZI C., VASSENA G. (2002), "Laser scanning and traditional survey integration to build a complete 3D digital model of "Sagrestia dell'Archivio di Stato a Mantova", Proceedings of CIPA WG 6 International Workshop on "Scanning for cultural heritage recording" - Corfù (Greece), 1-2 Settembre 2002.
- ID. (2002), "Integrazione tra laser scanning e metodologie di rilievo tradizionali nella ricostruzione 3D", Atti VI Conferenza Nazionale ASITA *Geomatica per l'ambiente, il territorio e il patrimonio culturale*, Perugia, 5-8 Novembre 2002.
- ID. (2001), *From the survey to the 3D animation: The Santa Maria in Solario chapel*, in Atti della XVIII Conferenza internazionale del CIPA, Potsdam (Germania), 18-21 settembre 2001.
- CAVALLARI L., CHIAMONE T, VASSENA G.P.M., et al. (in corso di stampa), "La condivisione in streaming via web di un sito archeologico rilevato con laser scanner", Atti della 16ª Conferenza Nazionale Italiana Vicenza 6-9 novembre 2012.
- DRAPA P, SGRENZAROLI M., et al. (2003), *Laser scanning and close range photogrammetry towards a single measuring tool dedicated to architecture and archaeology*, Proceedings of CIPA XIX International Symposium, Turkey.
- PINTUS R., GOBBETTI E., CALIERI M. (2011), "Fast low-memory seamless photo blending on massive point clouds using a streaming framework", *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 4:2.
- SEQUEIRA V, BOSTRÖM G., FIOCCO M., et al. (2006), "3D modelling of large environments", *Computational Imaging and Vision*, vol. 32, pp. 491-502.
- VASSENA G., BERTAGNA F., LANZI C. (2000), "Metodi avanzati per il rilievo topografico e fotogrammetrico. Palazzo Ceni a Medole", Atti della giornata di Studi del CIPA italiano *Politiche per la salvaguardia e il recupero dei Beni Architettonici*, Ancona, 23 giugno 2000.
- VASSENA G., CANTONI R., ARENGHI A. (2000), "Palazzo d'Arco a Mantova. Il rilievo a supporto della progettazione degli interventi di conservazione e recupero funzionale", Atti della giornata di Studi del CIPA italiano *Politiche per la salvaguardia e il recupero dei Beni Architettonici*, Ancona, 23 giugno 2000.
- VASSENA G., SELVINI A., BETTIN E., VISCARDI L. (2000), "Dal rilievo fotogrammetrico alla realizzazione di un viaggio virtuale. Il caso del centro storico di Monza", Atti della giornata di Studi del CIPA italiano *Politiche per la salvaguardia e il recupero dei Beni Architettonici*, Ancona, 23 giugno 2000.

Video

[1] Link al video del viaggio virtuale nel modello tridimensionale CAD del tempio di Narga Selsse

http://www.youtube.com/watch?v=_yAgkkzxY90&feature=channel&list=UL

[2] Link al video del rilevamento di Piazza Brà a Verona

<http://www.youtube.com/watch?v=LPyQdKjFvXA&feature=channel&list=UL>

[3] Link al video che mostra il modello tridimensionale a nuvola di punti della città di Toronto

<http://vimeo.com/23230816>

[4] Link al video del rilevamento del centro storico di Brescia <http://vimeo.com/20098459>

[5] Link al video che vede la navigazione via streaming all'interno del sito di Cafarnao

<http://vimeo.com/47229603>