

Mobile laser scanning lungo i fronti veneziani del Canal Grande

Andrea Adami (*), Caterina Balletti (*), Francesco Guerra (*),
Simone Orlandini (**), Paolo Vernier (*)

(*) Università Iuav di Venezia, Sistema dei Laboratori, Laboratorio di Fotogrammetria
aadami@iuav.it, balletti@iuav.it, guerra2@iuav.it, vernier@iuav.it
(**) Microgeo S.r.l., simone@microgeo.it

Riassunto

Il Canal Grande è senza dubbio la principale via d'acqua di Venezia e deve la sua importanza sia al fatto che attraversa tutta la città lagunare, sia agli scambi commerciali che ospitava. Come tale è oggetto di numerosi studi storico-artistico-conservativi che però mettono in luce le difficoltà legate al rilievo e analisi di un edifici "sull'acqua".

L'Università Iuav di Venezia in collaborazione con Riegl e Microgeo, ha progettato e realizzato la scansione di tutti i prospetti dei palazzi attraverso un sistema di acquisizione integrato (laser scanner, fotogrammetria e GPS inerziale) da natante, ottenendo quindi un punto di vista assolutamente nuovo e particolarmente adatto al rilievo degli edifici.

L'acquisizione è avvenuta con il sistema di scansione Riegl VMX-250, costituito dallo scanner rotativo VQ250, da un sistema inerziale INS e da un sistema di ripresa delle immagini tramite fotocamere o videocamere. Il sistema ha una frequenza di misura di 300.000 mis/sec ottenuta con uno scanner rotativo a 360° per una completa copertura. Inoltre il sistema utilizza l'ultima generazione dei laser scanner che consente una superiore qualità, completezza e densità del dato, ottenuta con la consolidata tecnica Riegl di misura della completa forma d'onda del segnale laser (FULL WAVE FORM), già utilizzata negli scanner aviotrasportati e ora introdotta anche nelle scansioni in movimento "terrestri". Ciò consente di superare molte delle zone di ombra dovute alla vegetazione o agli oggetti in movimento.

La grande quantità di dati acquisita è stata elaborata e georeferenziata nel sistema cartografico ed ora costituisce un database di grande importanza per ricavare i prospetti degli edifici e per affrontare altri temi legati alla diagnostica.

Abstract

The Grand Canal is certainly the main waterway of Venice, and it owes its importance to the fact that crosses the lagoon city. Moreover it was important as the seat of trade for Venice. For these reasons there a lot of studies about the Grand Canal and its architectural heritage, but there are some difficulties connected with buildings that "grow on the water".

The University Iuav, in collaboration with Riegl and Microgeo, has designed to scan all the facades of the palaces by an acquisition system (laser scanners, photogrammetry and GPS inertial) mounted on a boat, thus obtaining a point of view totally new and particularly suited to the survey of important buildings.

The acquisition was made with the scanning system Riegl VMX-250, consisting of the rotary scanner VQ250, an INS inertial system and a system recovery using images of cameras or camcorders. The system has a measuring frequency of 300,000 pts/sec obtained with a scanner rotating at 360 degrees for complete coverage. Moreover, the system uses the latest generation of laser scanner that allows a higher quality, completeness and resolution of the data. We obtained this

result with the well-established technique to measure the complete waveform of the laser signal (Full Wave form), already used in scanners airborne and now also introduced by Riegl in the terrestrial laserscanner. This overcomes many of the shadows due to vegetation or moving objects. The large amount of data acquired was processed and geo-referenced in the cartographic reference system. It represents a big geographic database to get the front of the buildings and to address other issues related to diagnosis.

Introduzione

Il mobile laser scanner è una tecnologia che si sta diffondendo molto rapidamente in funzione dei grandi vantaggi che comporta quali la possibilità di acquisire grandi aree in tempi rapidi e l'alta densità di punti per la descrizione di edifici e manufatti. A Venezia si è voluto portare questa tecnologia montando il sistema di acquisizione mobile su un natante, con tutte le difficoltà di orientamento che ciò comporta. Inoltre si è voluto finalizzare le scansioni non alla realizzazione della cartografia come solitamente avviene, ma per approfondire lo studio del patrimonio architettonico costituito dai palazzi che si affacciano sul Canal Grande.

I palazzi veneziani, in particolare le loro facciate, sono da lungo tempo oggetto di numerosi studi storico-artistico-conservativi. Il rilievo architettonico, fase preliminare e necessaria per qualsiasi successiva analisi, ha sempre rappresentato un elemento critico nell'intero processo perché fortemente legato alle caratteristiche del sito. Con i tradizionali metodi e strumenti di rilievo è infatti necessario individuare dei punti sulla terraferma da cui condurre le operazioni di misura topografiche e fotogrammetriche. Ma ciò non è sempre possibile poiché in alcune parti la densità del tessuto veneziano lungo il Canal Grande è tale da non concedere spazi liberi. Così di alcuni fronti si ha un'estesa documentazione fotografica, ma senza le corrispondenti informazioni metriche.



Figura 1 – Il Canal Grande a Venezia.

Il laser scanner da natante permette invece di ottenere un'eshaustiva documentazione metrica e radiometrica di ogni palazzo, aggirando quindi i problemi del rilievo tradizionale.

Per questo motivo l'Università Iuav di Venezia, in collaborazione con Riegl e Microgeo, ha infatti progettato e realizzato la scansione di tutti i prospetti che si affacciano sul Canal Grande (figura 1) attraverso il sistema di acquisizione integrato Riegl VMX-250 (laser scanner, fotogrammetria e INS-GNSS) da natante, ottenendo quindi un punto di vista assolutamente nuovo e particolarmente adatto al rilievo degli edifici.

Il progetto

Nel progetto del rilievo si sono presi in considerazioni sia gli aspetti logistici in cui ci si sarebbe trovati ad operare, sia le caratteristiche degli edifici da rilevare.

Per quanto riguarda le considerazioni operative, essenziali sono le dimensioni del Canal Grande (estensione lineare di circa 4 km e larghezza da 40 a 70 m), la velocità consentita ed il traffico di natanti (che è concentrato nelle ore del mattino, soprattutto nella zona di Rialto).

Inoltre la presenza dei ponti condizionava la funzionalità dei GPS, nonostante la buona copertura prevista del segnale satellitare: da 7 a 10 satelliti ben distribuiti.

Per quanto riguarda invece i fronti da rilevare, un elemento fondamentale, in fase di progetto, oltre alla già citata larghezza del canale è stata l'altezza media dei prospetti (4 o 5 piani, altezza massima 20 m) che si affacciano sul Canale. E' stato importante definire questo aspetto per poter impostare correttamente il sistema di acquisizione e garantire di arrivare fino alle coperture di tutti gli edifici. Tutte queste informazioni hanno determinato le modalità operative del rilievo. Infatti lo strumento è stato installato su una struttura appositamente realizzata e ancorata alla barca utilizzata così da alzare il punto di acquisizione rispetto al livello dell'acqua per evitare il traffico di natanti privati e vaporette. Per lo stesso motivo il rilievo è stato progettato tenendo conto della marea, scegliendo gli orari di bassa marea per aumentare il ricoprimento del laser sulle facciate dei palazzi.

Contemporaneamente, per quanto riguarda il sistema di acquisizione, ciò ha comportato anche il settaggio delle camere digitali in modo tale che con i due sensori si riuscisse ad acquisire l'intera facciata, garantendo una fascia di sovrapposizione tra le due strisciate.

Riegl VMX-250

L'acquisizione è avvenuta nelle giornate dal 10 al 12 novembre 2010 con il sistema di scansione Riegl VMX-250 (figura 2 e 3), costituito da due scanner rotativi VQ250 - 2D, da un sistema inerziale INS e dal sistema di ripresa delle immagini VMX-250-CS6 composto di due sensori di 5Mega pixel ciascuno con ottica calibrata di 12 mm.

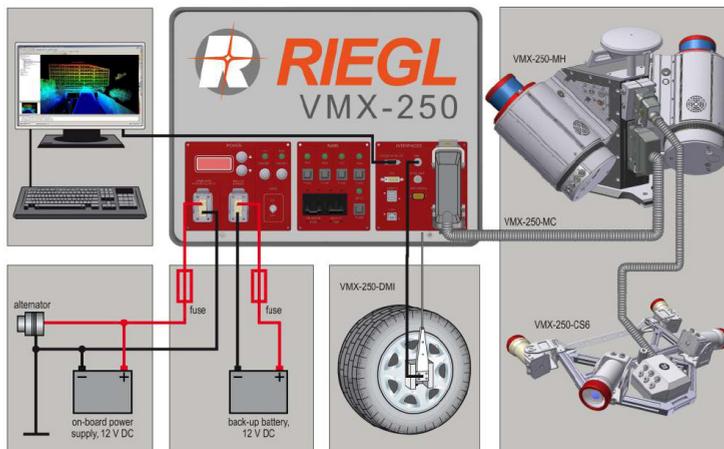


Figura 2 – Schema del sistema di acquisizione Riegl VMX-250 in combinazione con il sistema di acquisizione ottico VMX-250-CS6.

Il laserscanner VQ-250 ha una frequenza di misura di 300.000 mis/sec ottenuta con uno scanner rotativo a 360° per una completa copertura. La velocità di scansione, fino a 100 linee/sec garantisce una precisione di 10mm. La presenza del doppio scanner rotativo permette di effettuare più "passate" sullo stesso oggetto da diverse posizioni. Inoltre consente di minimizzare le zone d'ombra e di rilevare completamente gli oggetti delle facciate. Inoltre il sistema utilizza l'ultima generazione

dei laser scanner che consente una superiore qualità, completezza e densità del dato, ottenuta con la consolidata tecnica RiegI di misura della completa forma d'onda del segnale laser (FULL WAVE FORM), già utilizzata negli scanner aviotrasportati e ora introdotta anche nelle scansioni "terrestri". Ciò consente di superare molte delle zone di ombra dovute alla vegetazione o agli oggetti in movimento.



Figura 3 – Lo strumento di acquisizione composto da scanner rotativi e camere digitali.

Oltre allo scanner, a comporre il sistema mobile di acquisizione anche l'unità INS-GNSS composta dal sensore per il rilievo real-time kinematic (RTK) e tre sensori per il sistema di navigazione inerziale, il ricevitore satellitare GNSS e il misuratore di distanza (disattivato nel caso della scansione da natante in quanto costituito da un collegamento con le ruote del veicolo).

La terza unità del sistema di acquisizione è il sistema di camere digitali VMX-250-CS6 che può montare fino a 6 sensori ad alta risoluzione. Sul Canal Grande sono stati utilizzati due sensori, posizionati sullo stesso lato dello strumento, con un'ottica calibrata di 12 mm. I due sensori, con un field of view verticale di circa 40° ciascuno, sono stati impostati per garantire una fascia di sovrapposizione di circa 10°. Con questo settaggio, pari circa ad un angolo di copertura di 70°, ad una distanza di 20 metri ogni pixel ricopre un'area di circa 14 mm.

L'acquisizione fotografica può essere impostata in base alla distanza percorsa o al tempo trascorso e quando viene effettuato lo scatto il sistema registra il momento di acquisizione per poi attribuire il colore alla nuvola di punti. Lungo il Canal Grande il tempo di esposizione è stato impostato a 8ms e lo scatto ogni 1.5 secondi per garantire la sovrapposizione tra due acquisizioni consecutive.

Tutte le unità di acquisizione dati vengono controllate da un unico sistema composto da touch-screen, hard disk removibili per la registrazione dei dati, batterie e sistema di riserva per l'alimentazione, tutti gestiti attraverso il software RiegI RiACQUIRE.

2x RIEGL VG-250 Laserscanner	
Velocità di acquisizione	Fino a 2 x 300.000 punti/sec
Portata massima	500 m @ $\rho \geq 80\%$ e 100 KHz 75 m @ $\rho \geq 10\%$ e 600 KHz
Accuratezza	10 mm
Precisione	5 mm
Passo di scansione	Fino a 2 x 100 linee/sec
INS/GNSS	
Posizione assoluta	Tipica 20-50 mm
Posizione relativa	Tipica 10 mm
Roll, Pitch, Yaw	0.005°, 0.005°, 0.015°
Camere digitali	
Numero di camere	Fino a 6 (sul Canal Grande 2)
Risoluzione	2Megapixel FullHD
Ottiche	5 mm (sul Canal Grande 12 mm)

Tabella 1– Caratteristiche tecniche del VMX-250.

L'acquisizione

Il sistema di acquisizione Riegl VMX-250 è stato montato sul natante tramite una gru e installato su una struttura sopraelevata per garantire un punto di vista senza ostruzioni. Ciò è avvenuto fuori dal Canal Grande per facilitare le operazioni di montaggio dello scanner e per consentire l'inizializzazione del sistema attraverso una procedura di allineamento statico rapido ed alcuni minuti di acquisizione dinamica oltre che il bilanciamento del bianco

La scansione dell'intero canale è avvenuta in tre giornate, suddividendo il lavoro quattro parti corrispondenti ai tratti del Canal Grande compresi tra ponte e ponte. Ognuna di queste parti è stata percorsa in entrambi i sensi di navigazione per avere una buona copertura fotografica di entrambi i fronti, aumentando così anche la quantità di dati geometrici.

Dal punto di vista metrico, l'obiettivo era quello di poter ottenere un rilievo in scala 1:100 dei fronti per cui si è scelto di effettuare l'acquisizione con una risoluzione di circa 1 cm. Attraverso il software RiAQUIRE sono stati calcolati i parametri necessari per ottenere questo risultato, definendo così una velocità di crociera ideale di 5km/h per avere una spaziatura dei punti, ad una distanza di 20m, di circa 2.3 cm per passata (ca.2000 punti/m²).

Con queste impostazioni sono necessarie almeno tre scansioni sovrapposte per avere la densità di punti necessaria per ottenere dei buoni elaborati grafici come prospetti al tratto ed ortofoto.



Figura 4 – Sistema di gestione dei dati.



Figura 5– Il natante lungo il Canal Grande.

Processamento dei dati

Al termine di ogni giornata di acquisizione i dati sono stati processati attraverso il software RiPROCESS per un primo controllo della qualità e per verificare le impostazioni dei parametri.

Il processamento dei dati avviene per parti. La prima sezione analizzata parte dal Ponte degli Scalzi, vicino alla Stazione fino a Rialto. Per questo tratto del canale sono stati acquisiti 19 Gb di scansioni 3d, 9 Gb di immagini per un totale di 7 passate e circa 635 milioni di punti.



Figura 6 – Vista della nuvola di punti 3d colorati con indicazione della traiettoria percorsa dal natante (colore ciano) e delle posizioni delle camere digitali in una singola passata (giallo e rosso).



Figura 7 – Vista dei tie-plane (piani di controllo), colorati in rosso, utilizzati nella compensazione delle traiettorie.

E' stato necessario compensare i dati per ottenere la traiettoria percorsa. Innanzitutto si è dovuto compensare l'angolo di deriva (attorno all'asse delle Z) che, a causa della bassa velocità di acquisizione assieme alla perdita di direzione per la "linearità" dalla via acqua, non rappresentava il percorso corretto. Per questo sono stati utilizzati alcuni piani di riferimento con diversa giacitura e presenti nelle diverse scansioni estratti in automatico dal software ed utilizzati come piani di raccordo (tieplane) attraverso cui correggere la direzione con il software RiPROCESS.

Si è proceduto quindi alla compensazione di tutti i dati, angoli e posizioni, per ricostruire la traiettoria effettivamente percorsa, con una deviazione standard di 13 mm basata sui 95 piani di raccordo utilizzati.

Al termine della compensazione, la traiettoria è stata applicata alle scansioni e successivamente queste sono state colorate con le foto acquisite dal sensore (eliminando le immagini peggiori).

Ottenuta così una serie di nuvole, georeferenziate e colorate, i dati sono stati esportati nel sistema cartografico italiano Gauss-Boaga.

Elaborati

La grande quantità di dati, in fase di ultimazione, si presta a numerosi utilizzi nel settore dei beni culturali, sia per ottenere rilievi precisi lungo il Canal Grande, sia come punto di partenza per analisi specifiche.

E' possibile, come primo risultato, ottenere le viste dei fronti (figura 8) direttamente dalla nuvola di punti utilizzando software come Pointools. Questo elaborato, che richiede ulteriori elaborazioni per chiudere gli inevitabili buchi dovuti a ostacoli nel momento dell'acquisizione, è significativo

proprio per la possibilità di “vedere assieme” i singoli palazzi che si affacciano sul canal. Questo stesso prodotto può essere implementato scegliendo di elaborare uno “sviluppo” del fronte in modo che ogni edificio venga rappresentato in proiezione ortogonale.

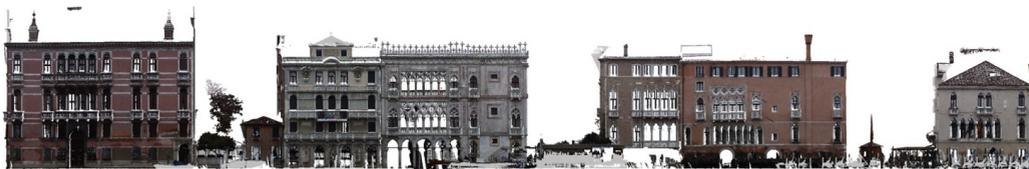


Figura 8 – Vista dei fronti del Canal Grande ottenuta direttamente dalle nuvole di punti colorate.

Su alcuni edifici inoltre sono stati condotti alcuni test per verificare quali tipi di elaborati si possono ottenere e le loro caratteristiche. Poichè l'interesse è fin dall'inizio incentrato sui beni culturali si è scelto di lavorare sulla Ca' Pesaro, sede della galleria internazionale d'arte moderna.



Figura 9 – Vista della nuvola di punti iniziale della facciata della Ca' Pesaro.

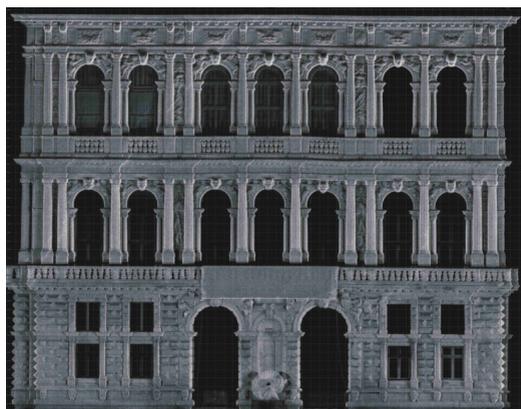


Figura 10 – Vista ortogonale con valori di amplitudine.

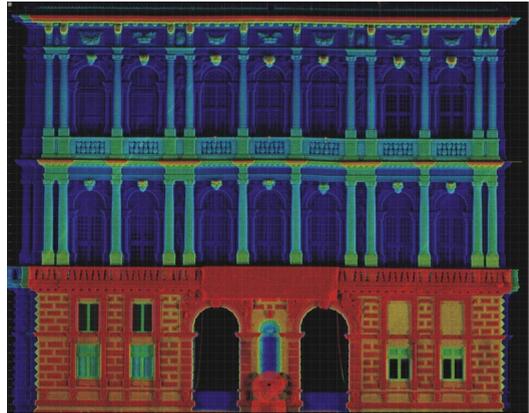


Figura 11 – Vista ortogonale della facciata in falsi colori in funzione della profondità da un piano di riferimento.



Figura 12 – Simil ortofoto della facciata realizzata con le foto acquisite durante la scansione.

Il processo di trattamento dei dati per ottenere degli elaborati di stampa architettonico, a partire da tutte le scansioni del tratto di Canal Grande registrare in un unico sistema di riferimento, ha previsto le seguenti operazioni ben note nella pratica del rilievo laserscanner.

In particolare:

- selezione dell'edificio da restituire graficamente;
- pulitura della nuvola di punti per eliminare outliers e oggetti non legati all'edificio (barche, pali per ormeggio,...);
- verifica della planarità del prospetto da restituire e degli oggetti;
- determinazione del piano di proiezione mediante due punti sulla facciata (software Pointools);
- creazione della quasi-ortofoto con ricoprimento del pixel pari a 0.5 cm;
- importazione in ambiente CAD e restituzione del disegno in scala 1:100.

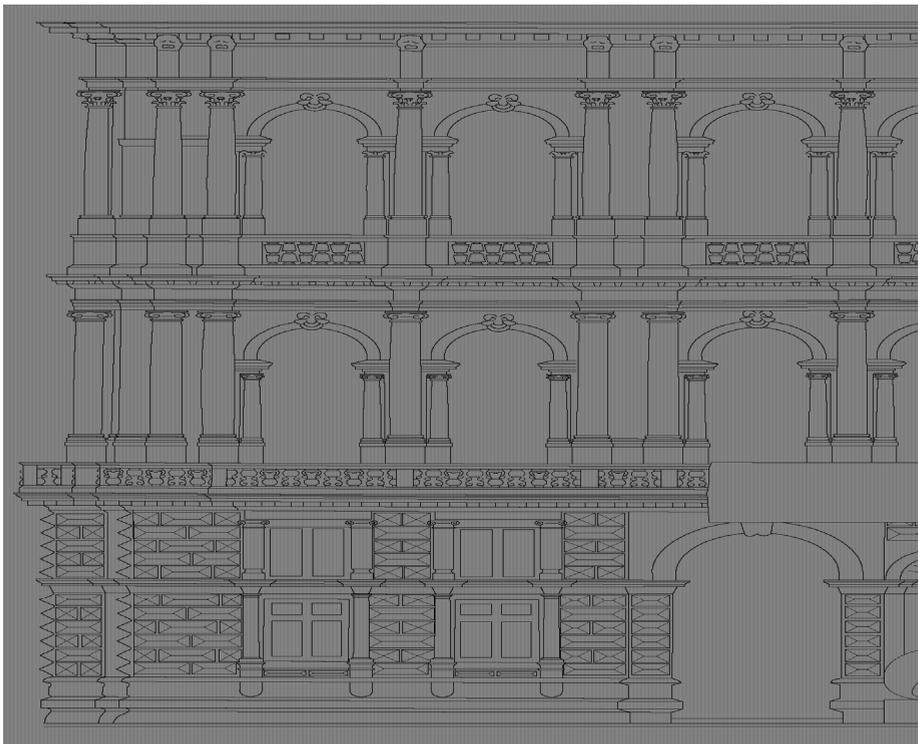


Figura 13 – Prospetto in scala nominale 1:100.

Dagli elaborati riportati si possono ricavare alcune osservazioni.

In particolare la rappresentazione a falsi colori dei fuori-piombo e della planarità della facciata risulta interessante poichè deriva dal confronto con un riferimento verticale noto (l'asse Z del sistema di riferimento). Questo tipo di analisi è molto importante nello studio del patrimonio architettonico veneziano poichè sembra appartenere ad una precisa prassi costruttiva. Indagini svolte in precedenza su questo tema hanno verificato questa ipotesi, ma erano ovviamente legate solamente ad alcuni edifici i cui prospetti si affacciavano su calli e campielli e non c'erano invece dati riguardanti edifici sull'acqua.

L'ortofoto ottenuta mediante il software Pointools dimostra una buona qualità nei dettagli, adatti alla scala 1:100, ma evidenzia come non sia sempre possibile utilizzare le immagini acquisite durante la scansione. Compaiono infatti degli ostacoli che non permettono di "colorare" correttamente la nuvola. E' necessario quindi ricorrere a scatti esterni per ottenere ortofoto corrette dal punto di vista radiometrico,

Il disegno al tratto, anch'esso in scala 1:100, è stato ottenuto attraverso un processo di digitalizzazione dell'ortofoto, integrando le informazioni con un rilievo fotografico di dettaglio per i particolari architettonici.

Conclusioni

Dai test effettuati risulta che i dati acquisiti ed orientati rappresentano un database tridimensionale molto dettagliato e assai utile nello studio dei Beni Architettonici. Si rivela adatto sia per le operazioni di rilievo architettonico, per ottenere classiche rappresentazioni architettoniche come

prospetti e profili, sia nello studio di fenomeni altrimenti difficili da indagare come i fuori piombo delle facciate.

La grande quantità di punti richiede però anche una riflessione sui tempi necessari al trattamento dei dati sia per la filtratura e l'orientamento, sia per ricavare gli elaborati previsti.

Secondo i dati forniti da Riegl le operazioni del rilievo e del trattamento dei dati risultano molto onerose in termini di tempo. Per configurare il sistema sono stati impiegati 3 operatori per un totale di 4 ore, mentre per l'acquisizione ci sono volute 13 ore totale e la presenza di un operatore per il software RIAcQUIRE oltre allo skipper per la barca. Per il trattamento dati interno ed esterno, del primo tratto del Canal Grande compreso tra la stazione ferroviaria e il Ponte di Rialto, sono state necessarie 30 ore di lavoro effettivo da parte di un operatore specializzato oltre ad altre 30 ore di calcolo.

Per ottenere gli elaborati finali, il calcolo diventa più complesso poiché dipende dal metodo utilizzato e dalla complessità dell'edificio da restituire. Con il metodo proposto, a partire dalla nuvola di punti già colorata, si è calcolato che il tempo necessario per la restituzione di un prospetto in scala 1:100 è di circa 4-10 ore (tempo variabile in funzione della complessità).

Il progetto proseguirà da un lato con la rappresentazione analitica di tutti i fronti del Canal Grande, in modo da ottenere un atlante dei palazzi che vi si affacciano. Inoltre sono previsti alcuni test per approfondire gli studi sulle condizioni di fuori piombo delle facciate, in modo da completare i dati già esistenti sul patrimonio veneziano con quelli riguardanti i fronti prospicienti il Canal Grande.

Si ringraziano:

Riegl Laser Measurement Systems GmbH - www.riegl.com

Bibliografia

-Ullrich A. and Reichert, R. (2005): *High resolution laser scanner with waveform digitization for subsequent full waveform analysis*, Proceedings SPIE Laser Radar Technology and Applications X, Orlando, Vol 5791;

-RiegerP., Studnicka N., Pfennigbauer M., Zach G., Ullrich A. (2010): *Mobiles laser scanning: technologische fortschritte bei der Datenakquisition*, Photogrammetrie Laserscanning Optische 3D-Messtechnik, Beitrage der Oldenburger 3D.Tage 2010, Vichmann Verlag;