ATTI Volume I

10ª Conferenza Nazionale ASITA

Federazione delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali

ASITA

14-17 novembre 2006 • Fiera di Bolzano, Bolzano

SIFET
Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia
LI Convegno Nazionale

aic
Associazione Italiana di Cartografia
XLII Convegno Nazionale

AIT
Associazione Italiana di Telerilevamento
XVII Convegno Nazionale

EUROGEO
INTERNATIONAL EUROPEAN DIVISION
SEZIONE ITALIANA
Geographic Information Systems
17ª Conferenza/Expo

La 10ª Conferenza Nazionale ASITA è stata realizzata con il contributo di

1024Informatica
Abaco
Asteria Multimedia
CIGA
Club Alpino Italiano
Codevintec Italiana
Compagnia Generale Ripreseaeree
Comune di Bolzano
CREAFORM
Crisel
EPSON Italia
ESRI Italia
EURAC
GEOgrafica
Geomatica
GEOmedia-Geo4all
Geosigma
Geosoft
Geotop
Heliogs
Hewlett Packard Italiana
Ingenieurgemeinschaft Vermessung AVT - ZT
Intergraph Italia
Intermap
Istituto Geografico Militare
Istituto Idrografico della Marina
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
ITT Visual Information Solutions
Leica Geosystems
Litografia Artistica Cartografica
Menci Software
Microgeo
MondoGIS
Provincia Autonoma di Bolzano
R3 GIS
Regione Abruzzo
Regione Emilia Romagna
Regione Liguria
Regione Veneto
S.EL.CA.
Servizio Geologico Nazionale
SIGMA TER
Sinergis
Sistemi Avanzati
Tele Rilevamento Europa - TRE
Territorium Online
Trimble Italia

Con la partecipazione di:

Provincia Autonoma di Bolzano

Regione Autonoma Trentino Alto Adige

Città di Bolzano
Stadt Bozen
Comune di Bolzano

Stiftung Südtiroler Sparkasse
Fondazione Cassa di Risparmio di Bolzano

FIERABOLZANO MESSEBOZEN

Four Points Sheraton

www.asita.it

88-900943-0-3

La "questione" geodetica nel sistema di conoscenza condivisa dell'infra-struttura dati per l'ambiente e il territorio del Veneto
A. Caporali, M. De Gennaro, M. Foccardi, A. Zampieri 525

Le stazioni permanenti della rete VLNDEF: stato attuale e prossime realizzazioni
A. Capra, M. Dubbini, F. Mancini, M. Negusini, A. Zanutta 531

Valutazione della Trasformazione Radiometrica MAD (Multivariate Alteration Detection) applicata a dati ASTER multitemporali
M. Caprioli, B. Figorito, E. Tarantino 533

Analisi diacronica della vegetazione della riserva "foce del fiume Crati" (Calabria, Italia)
D. Caridi, G. Maiorca, G. Spampinato, P. Cameriere, A. Crisafulli 539

Monitoraggio e calcolo del fabbisogno idrico di singole colture agrarie
F. Carollo, S. Rinaldo, V. Merletto, T. Tonelli, G. Bonaiti 545

Il GIS del Parco naturale delle Gole della Breggia
A. Carosio, R. Nocera 551

Rilievi laser scanner e fotogrammetrici del camposanto monumentale in piazza del Duomo di Pisa
G. Caroti, S. Orlandini, A. Piemonte 557

Progetto e primi rilievi della campagna di rilevamento della Kalà di Elbasan (Albania)
G. Caroti, A. Piemonte 563

Ricostruzione 3D della sede stradale da scansioni laser realizzate in movimento
G. Caroti, A. Piemonte 569

Un modello territoriale per simulare scenari alternativi di uso del suolo agricolo
M. Carpani, C. Giupponi, R. Salvetti, A. Azzellino, R. Vismara, P. Parati, M. Vale, M. Acutis 575

Analisi della composizione e della struttura spaziale del paesaggio di duna costiera in base a cartografia CORINE Land Cover di dettaglio
M.L. Carranza, S. Feola, A. Acosta, A. Stanisci 581

Un modello di rete ecologica per vegetazione e fauna. il caso dell'alto Molise
M.L. Carranza, A. Loy, L. Di Lisio, G. Di Castro, M. Barile, G. Presti, A. Stanisci 587

Ortorettifica di un'immagine Ikonos della città di Milano e sua validazione
D. Carrion, M.E. Gaetani, V. Tornatore 593

Applicazione di procedure ISO per la valutazione e documentazione della qualità dei geodati
D. Carrion, A. Maffeis, F. Migliaccio 599

Dal formato Shape a una struttura Object Oriented: problematiche e vantaggi
D. Carrion, D. Marzi, F. Migliaccio 605

Analisi ambientale e funzionale del territorio per la pianificazione di reti ecologiche – il caso del P.T.C.P. della Provincia di Lecco
M. Carro, D.G. Preatoni, B. Chiarenzi, P. Rigamonti, G.Tosi 611

Comparazione fra DTM acquisiti con Lidar aereo e DTM generati in modo automatico con la fotogrammetria aerea
V. Casella, M. Franzini, B. Padova 617

Progetto per la realizzazione di una base conoscitiva del delta del Po
S. Castelli 619

100 anni di evoluzione della tecnica cartografica dell'Istituto Geografico De Agostini-Novara
V. Castelli 625

Sistema Web per la manutenzione dell'illuminazione pubblica e dei centri luminosi del Comune di Verona
E. Cavattoni, U. Morenzetti 629

Confronto sperimentale tra DTM da laser scanner, DTM fotogrammetrici e geometrie restituite: il test eseguito in Alto Adige
A. Cavazzini, F. Guzzetti, G. Otepka, G. Zanvettor 635

RILIEVI LASER SCANNER E FOTOGRAMMETRICI DEL CAMPOSANTO MONUMENTALE, PIAZZA DEL DUOMO, PISA

G. Caroti(*), S. Orlandini(**), A. Piemonte(*)

(*) Sede di Topografia e Fotogrammetria – Dipartimento di Ingegneria Civile – Università di Pisa
(**) Microgeo s.r.l. - Firenze

Riassunto

L'evoluzione tecnologica della strumentazione laser scanner da terra ha determinato una precisione sempre crescente del rilievo ed una sempre maggior velocità di esecuzione dello stesso. In tal modo le applicazioni del laser a rilievi architettonici ad alta risoluzione sono divenute un valido supporto e costituiscono una ottima integrazione del classico rilievo fotogrammetrico.

La possibilità di realizzare rilievi a passi di scansione molto piccoli, accompagnata alla ottima precisione ricavabile, anche da singola misura, ed alla possibilità di realizzare pressoché in tempo reale il *rendering* della foto dell'oggetto rilevato sul modello tridimensionale, permettono di utilizzare il modello ottenuto anche a scopo di restauro, dove gli operatori necessitano di un rilievo dettagliato a grandissima scala.

Grazie alla gentile concessione dell'Opera Primaziale Pisana è stato realizzato un rilievo ad alta risoluzione della facciata del Camposanto monumentale situato nella Piazza del Duomo a Pisa, ottenuto dal laser scanner Riegl LMS Z420i in dotazione alla Sede di Topografia e Fotogrammetria del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa.

Per la realizzazione di tale rilievo è stata predisposta una poligonale di appoggio locale, alla quale sono stati riferiti i *target* piani disposti nell'intera area di scansione. Rispetto questi *target* sono state unite le dieci scansioni necessarie a coprire l'intero fronte dell'edificio.

Per una verifica del rilievo ottenuto è stato progettato un rilievo fotogrammetrico del portale principale di ingresso del Camposanto, che determinerà l'utilizzabilità o meno del modello tridimensionale, ottenuto dal laser, a fini di restauro.

Abstract

Technological evolution of terrestrial laser scanning equipment has led to an ever increasing precision and performing speed of surveys; subsequently laser applications to architectural high-resolution surveys have become a valuable support and make up an excellent integration of traditional photogrammetric surveys.

The ability of surveying at very small scanning steps, along with the high precision, which can be achieved even by a single measurement, and the ability of near-real-time rendering of the photograph of the surveyed object on the three-dimensional model, make the obtained model suitable even for restoration purposes, where detailed surveys at very great scales are mandatory.

Thanks to cooperation of Opera Primaziale Pisana a survey of the façade of the Monumental Cemetery in Piazza del Duomo (Pisa, Italy) was realised. It's performed via the Riegl LMS Z420i laser scanner available at the Department of Civil Engineering (DCE), seat of Topography and Photogrammetry.

To check the obtained survey, a photogrammetric survey of the main entrance portal of the Cemetery has designed, which will determine whether or not the laser-obtained 3-D model is suitable for restoration purposes.

Introduzione

Il complesso monumentale della Piazza del Duomo di Pisa è stato oggetto negli anni di numerosi rilievi, che hanno prodotto planimetrie, prospetti, rappresentazioni di dettaglio e modelli tridimensionali, sfruttando le nuove tecnologie che venivano sviluppate nel campo del rilevamento.
In particolare, in tempi recenti il Battistero e parte delle facciate del Duomo sono state rilevate tramite laser terrestre a scansione al fine di ottenere dei modelli ispezionabili tridimensionalmente.
L'oggetto di questo studio è il rilievo tramite laser scanner della facciata principale del Cimitero Monumentale. Lo strumento a disposizione per questo rilievo è stato il Riegl LMS-Z420i dotato di camera fotogrammetrica Nikon D70 fissata rigidamente alla struttura del laser stesso.
La presenza di una camera parzialmente integrata sullo strumento facilita e migliora le operazioni di colorazione della nuvola di punti e di texturizzazione del modello triangolato.
La possibilità, quindi, di ottenere un modello tridimensionale metricamente preciso e dall'aspetto "reale", ha suggerito di verificare l'utilizzabilità del prodotto finale come rappresentazione a grandissima scala a scopi di restauro.

Progetto del rilievo

La facciata, oggetto del rilievo, ha un'estensione di circa 127 metri in lunghezza e 10 metri in altezza (12 metri se considerata anche la copertura). Il laser utilizzato ha una risoluzione massima di 0.004 deg sia in orizzontale sia in verticale e la divergenza dichiarata del raggio laser è di 0.25mrad. La precisione sulla misura di distanza è di 10 mm, con una ripetibilità di 8 mm nella modalità *single shot* e di 4 mm per misure ripetute e mediate.
Nel pianificare le scansioni si è tenuto conto di questi parametri e si è stabilito di fare stazione con il laser a non più di 20 m dalla facciata e di limitare l'angolo di scansione orizzontale a 60°. Così facendo la dimensione del punto laser e la risoluzione lineare sul manufatto sono risultati dell'ordine dei 5mm (vedi tabella 1).

Dimensioni punto laser in dipendenza dell'angolo di incidenza e della distanza del laser dalla facciata [m]							
Distanza [m]	10	15	20	25	30	35	40
Angolo incidenza [°]							
90	0.003	0.004	0.005	0.006	0.008	0.009	0.010
80	0.003	0.004	0.005	0.006	0.008	0.009	0.010
70	0.003	0.004	0.005	0.007	0.008	0.009	0.011
60	0.003	0.004	0.006	0.007	0.009	0.010	0.012
50	0.003	0.005	0.007	0.008	0.010	0.011	0.013
40	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012	0.014	0.016
30	0.005	0.008	0.010	0.013	0.015	0.018	0.020

Risoluzione lineare [m] con risoluzione angolare 0.013deg in funzione della distanza del laser [m]						
10	15	20	25	30	35	40
0.002	0.003	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007

Tabella 1 – Divergenza e risoluzione lineare in funzione della distanza.

Operate queste scelte preliminari sono state pianificate dieci scansioni per la copertura integrale della facciata del monumento (figura 1). In particolare, le *scan position* dalla 1 alla 8 sono state eseguite da stazioni poste ad interdistanza regolare pari a circa 10m. In fase di progettazione si è valutato che tale disposizione garantiva una buona sovrapposizione tra le nuvole di punti corrispondenti a scansioni adiacenti. Dalla *scan position* 5 è stato realizzato anche il dettaglio del tabernacolo soprastante il portale dell'ingresso principale. Dalla *scan position* 9, posta a distanza doppia dalla facciata rispetto alle altre (circa 40m), è stata rilevata la copertura, che dalla distanza di 20m risultava nascosta dalla facciata stessa. Infine, la *scan position* 10 ha completato il rilievo del

lato ovest dell'edificio.
Sull'area di rilievo sono stati posti un totale di 78 *target* circolari riflettenti piani di 5cm di diametro: questi sono stati collocati sulla parete in modo tale da rispondere alla doppia esigenza di realizzare sia una distribuzione uniforme sull'intero paramento murario sia una maggiore densità nelle zone di sovrapposizione fra scansioni contigue. Inoltre, sul portale sottostante il tabernacolo e sui due archi ciechi ad esso adiacenti, sono state poste, in prossimità dei *target* circolari, 20 marche fotogrammetriche riflettenti. I *target* circolari sono stati utilizzati per l'unione e la georeferenziazione delle scansioni laser mentre quelli fotogrammetrici sono serviti da punti d'appoggio per il rilievo fotogrammetrico realizzato con la camera Rollei 6008.
A supporto del rilievo è stata realizzata, nell'area antistante il Cimitero Monumentale, una poligonale chiusa di inquadramento composta da sette vertici e da questi ultimi sono stati rilevati, con la stazione totale senza prisma Sokkia SET030R, tutti i target, sia circolari sia fotogrammetrici.

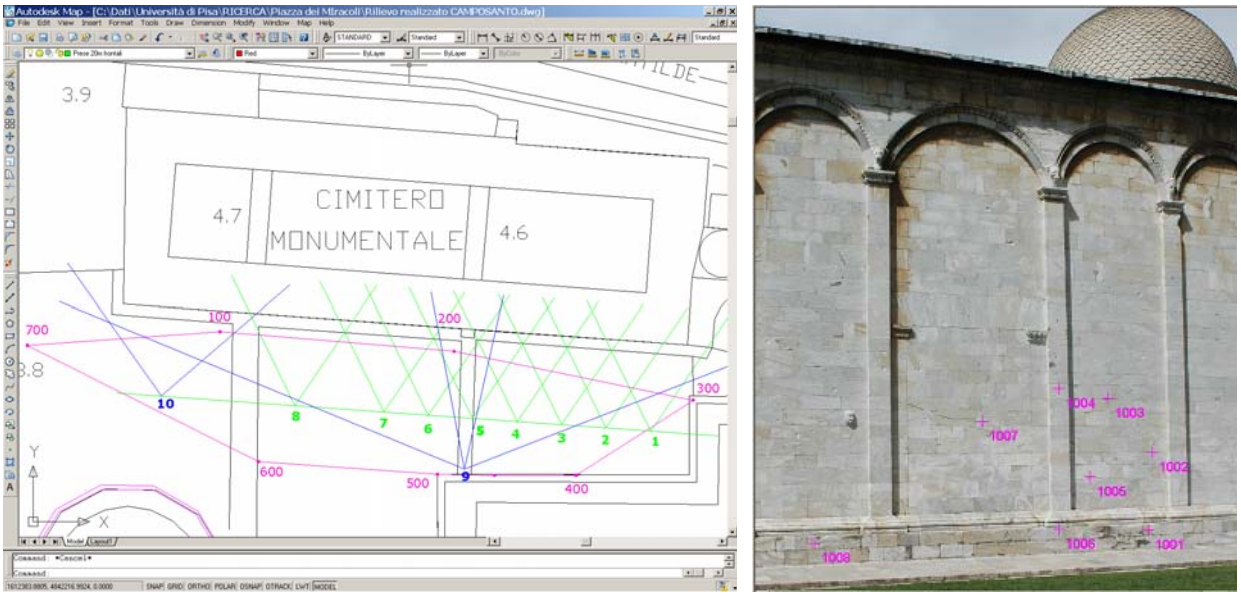

Figura 1 – Poligonale di inquadramento, posizione delle scansioni e *target*.

Unione delle scansioni
A scopo di confronto, le scansioni sono state allineate seguendo due diverse modalità. Nella prima, le scansioni sono state unite l'una all'altra, grazie ai *target* a comune, nel sistema di riferimento dello strumento relativo alla prima scansione (sistema di riferimento di progetto). Successivamente il rilievo è stato rototraslato nel sistema topografico. Questa modalità prevede che il software, nello specifico il RiSCAN Pro 1.2.1b25, calcoli la matrice di rototraslazione per ogni scansione, per ottenere le "coordinate progetto", e poi determini un'ulteriore set di parametri di rototraslazione per passare alle coordinate topografiche (sistema di riferimento globale).
La seconda modalità prevede, invece, di allineare subito le scansioni nel sistema di riferimento topografico: ciò comporta che venga calcolata la matrice che permette la trasformazione dal riferimento laser, proprio di ogni scansione, a quello topografico (globale).
Nel rilievo in oggetto i risultati ottenuti presentano una precisione analoga per le due modalità di unione ed allineamento (std~5mm). Se dunque, il rilievo topografico dei *target* è condotto con rigore e la precisione delle coordinate degli stessi nel sistema di riferimento del laser è buona ed uniforme per tutti i *target*, sembrerebbe non necessaria la presenza di una maggior densità di riflettori nella zona di sovrapposizione delle scansioni, che possono essere allineate direttamente grazie al rilievo topografico (figura 2).

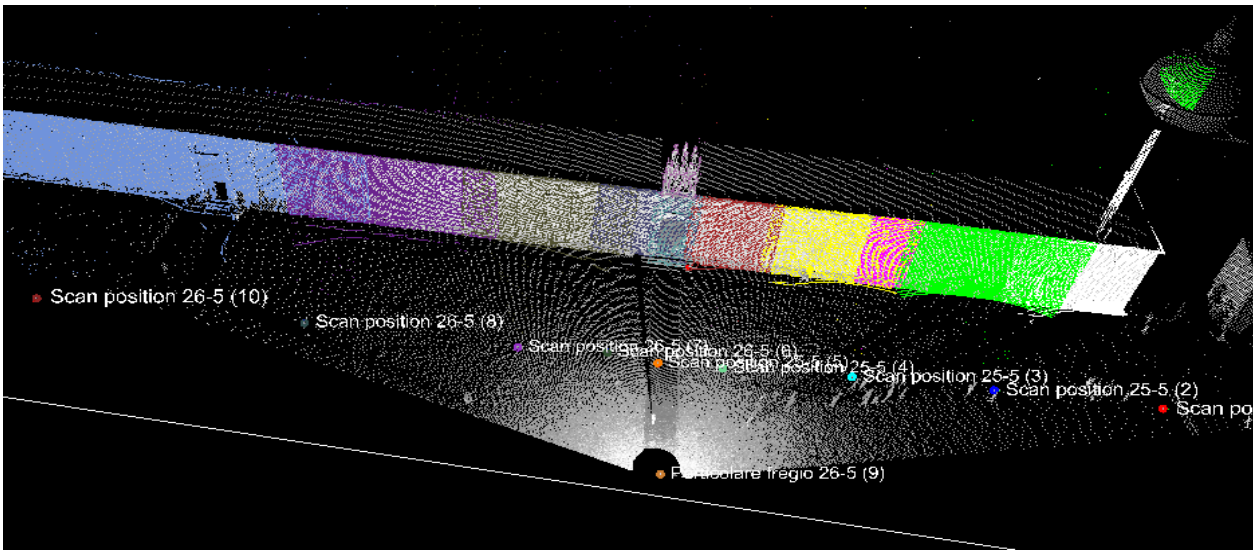

Figura 2 – Vista 3D delle nuvole di punti unite ed allineate grazie al rilievo topografico.

Coordinate topografiche *target* ottenute dalle scansioni

Durante la fase di acquisizione della scansione laser, dopo aver realizzato una panoramica a bassa risoluzione dell'area, si procede al rilevamento automatico dei *target* ed alla scansione fine degli stessi per ottenere, con la migliore precisione possibile, la loro posizione nel sistema di riferimento locale del laser.

Contemporaneamente, volendo riferire tutte le scansioni ad un sistema di riferimento esterno con elevata precisione, le coordinate dei *target* devono essere rilevate con strumentazione topografica classica.

Dalla descrizione del progetto di questo rilievo risulta (tabella 1) che, alla distanza di 20 metri, la risoluzione lineare del laser è più che sufficiente allo scopo di acquisire il dettaglio voluto. Da questa distanza però, la camera Nikon D70 integrata, con obiettivo da 20mm, non è in grado di fornire una risoluzione pixel sufficiente.

E' stato quindi necessario realizzare, per quelle parti di cui si voleva un dettaglio più spinto, delle immagini con un'altra camera, dotata di formato ed obiettivo opportuni, ed i punti di scatto sono stati più vicini alla parete. L'utilizzo di questa seconda camera comporta due conseguenze: l'area rappresentata sul singolo fotogramma è minore e, non essendo la camera integrata sul laser, per ogni fotogramma devono essere calcolati i parametri di orientamento esterni e quindi per ogni fotogramma si ha bisogno di un numero adeguato di *target*.

Se quindi, come in questo caso, vengono realizzate per lo stesso edificio sia scansioni laser sia prese fotogrammetriche è possibile distribuire sulla facciata un numero elevato di target, che servano ad entrambe le metodologie, e rilevarne topograficamente solo quelli strettamente necessari alla registrazione delle scansioni laser. Le coordinate topografiche dei rimanenti target possono essere ricavate dal riconoscimento automatico dei riflettori dalle scansioni, purché queste abbiano una risoluzione adatta al riflettore cercato ed utilizzate ad esempio per produrre fotopiani.

Solitamente con una scansione fine di un riflettore circolare da 5cm ad una distanza di 20m, esso viene riconosciuto come formato da 1200 *pixels* circa. Riconoscendo, invece, il *target* da una scansione con una risoluzione di 0.013deg, come nel caso del rilievo realizzato, esso risulta composto da molti meno *pixels* (attorno al centinaio). Ciononostante, le differenze fra coordinate topografiche misurate con strumentazione classica e quelle dedotte automaticamente dalla nuvola di punti si riducono a pochi millimetri (tabella 2).

SCANPOSITION (2)											
Name	**X[m]**	**Y[m]**	**Z[m]**	**Pixels**	**Range[m]**	**theta[deg]**	**phi[deg]**		**delta X**	**delta Y**	**delta H**
post_1001	-67.928	-67.204	0.472	53	19.042	95.138	150.005		0.007	0.007	-0.003
post_1002	-67.94	-67.721	2.126	89	19.516	90.188	149.76		0.001	0.000	0.000
post_1003	-67.149	-67.03	3.288	90	19.059	86.69	152.517		0.000	0.002	-0.002
post_1004	-66.326	-66.122	3.477	100	18.405	85.963	155.663		0.000	0.001	0.000
post_1005	-66.805	-66.698	1.628	80	18.75	91.705	153.711		0.004	-0.002	-0.005
...	...	...	...	...	...	...	...		...	...	...

Tabella 2 - Coordinate dei *target* nel sistema topografico dedotte dalle scansioni laser e scarti rispetto quelle rilevate con strumentazione classica.

Rendering **del modello e progetto fotogrammetrico**

Per inquadrare completamente il paramento murario del Camposanto con la Camera Nikon D70s montata sul laser è stato necessario porci ad una distanza di circa 20 metri dall'oggetto. A tale distanza, date le caratteristiche dimensionali del sensore, un *pixel* rappresenterà nella migliore delle ipotesi circa 8 mm dell'oggetto. Questa risoluzione non sarà probabilmente sufficiente per supportare la restituzione del paramento in marmo e dei particolari (capitelli, cornici, etc...).
Da una verifica a video e da prove di restituzione, la risoluzione di questo tipo di immagine è risultata molto buona per una visione di insieme del modello (figura 3), ma effettivamente insufficiente per un'analisi e restituzione del dettaglio.

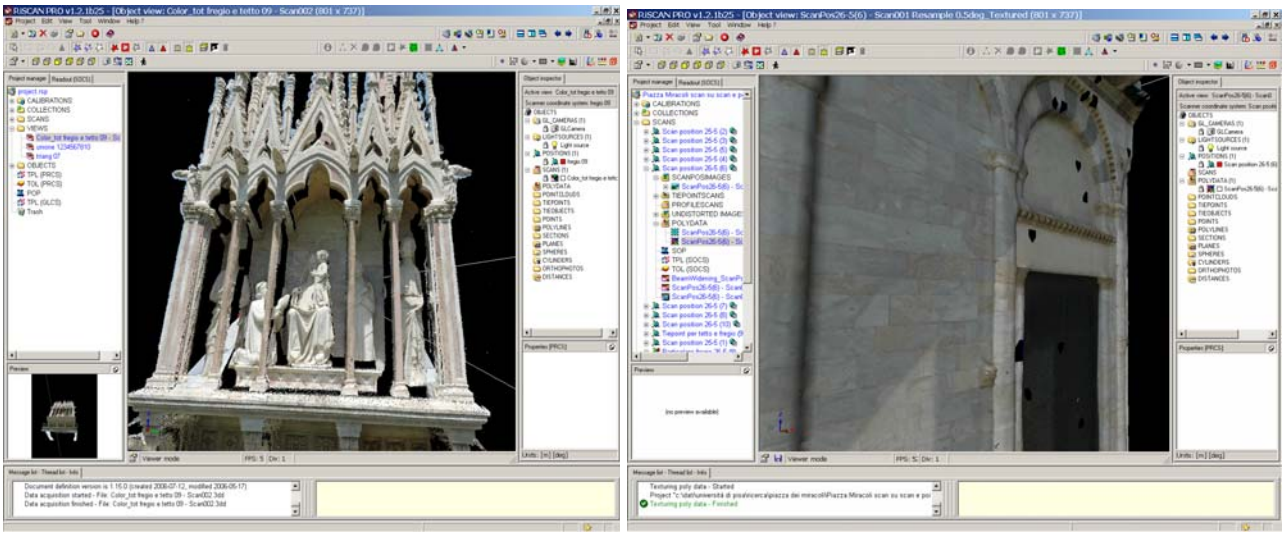

Figura 3 – *Rendering* delle foto del tabernacolo e del portale.

Essendo emersa questa limitazione della camera Nikon già in fase di progetto, sono state pianificate delle prese fotogrammetriche anche con un'altra camera.
Con la camera semimetrica Rollei6008, che ha una dimensione del sensore di 60x60mm^2 sono state effettuate delle prese fotografiche della zona corrispondente all'accesso principale.
Date le caratteristiche dimensionali dell'oggetto e l'impossibilità di eseguire fotografie a quote diverse, il progetto di presa è stato elaborato per poter restituire ad una scala migliore di 1:50.
Per inquadrare completamente da terra il paramento murario con l'obiettivo di lunghezza focale pari a 80 mm la camera è stata posta ad una distanza media di presa di 16 metri e inclinata di circa 15 gradi: la scala del fotogramma è risultata pari a circa 1:200.
Sono state acquisite immagini a colori da 3 stazioni poste ad una distanza relativa di circa 3 metri in modo che la presa centrale fosse posizionata circa al centro del portone principale.

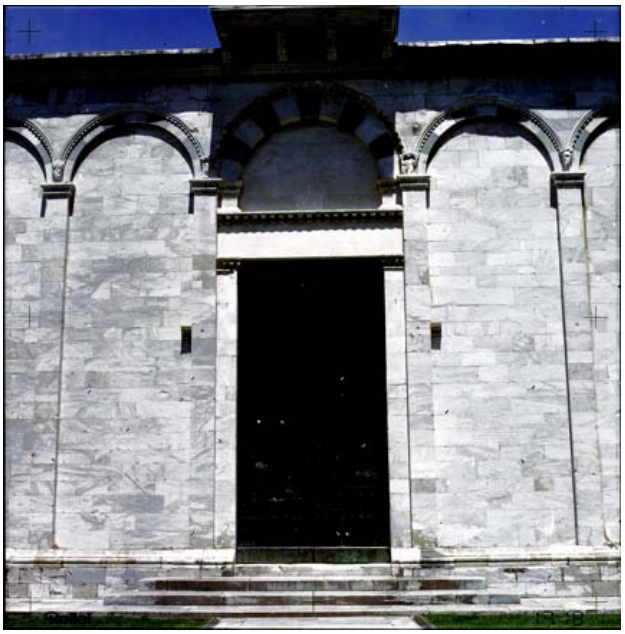

Figura 4: Fotogramma acquisito con camera semimetrica Rollei6008

La scansione del negativo dell'immagine è stata effettuata a 1200 dpi (pixel size di 21 μm) che fa corrispondere un pixel ad una dimensione sull'oggetto pari a circa 4x4 mm^2 di lato.
L'immagine così digitalizzata è stata raddrizzata utilizzando come coordinate dei punti fotografici d'appoggio sia quelle provenienti dal rilievo topografico sia quelle ricavate automaticamente dal riconoscimento dei riflettori dalle scansioni ottenendo due fotopiani tra loro comparabili in termini di attendibilità.

Conclusioni
Le considerazioni che si sono volute esporre in questa nota sono finalizzate a ricercare una metodologia che renda l'utilizzo dei dati provenienti da laser scanner terrestre più fruibili da parte degli operatori nel settore del restauro.
Nel futuro immediato prevediamo di portare a termine le procedure che permetteranno di orientare le immagini della camera Rollei sulle scansioni laser all'interno del software RiSCAN Pro.
Successivamente verranno realizzate a scopo di confronto le restituzioni del paramento murario, a partire sia dalle immagini della camera Nikon integrata sia dalle immagini della camera Rollei.

Ringraziamenti
Si ringraziano i tecnici geometra Micheloni e dottor Bedini per il supporto durante la fase di rilievo.

Bibliografia
Caroti G., Pucci B. (2004), "Tecniche di rilievo per la rappresentazione di edifici storici", Workshop Tecnologie per comunicare l'architettura, 20–22 Maggio 2004, Portonovo, Ancona.

Cantoni R., Vassena G., Lanzi C. (2003), "Integrazione tra laser scanning e metodologie di rilievo tradizionali nella costruzione 3D", Atti VII Conferenza ASITA: L'informazione Territoriale e la Dimensione del Tempo, Ottobre 2003, Verona.

Bitelli G., Girelli V. A., Tini M. A., Vittuari L., Zanutta A.(2003), "Laser a scansioni terrestre e fotogrammetria digitale nel rilevamento dei Beni culturali: esempi dalla Piazza di Santo Stefano in Bologna". Atti VII Conferenza ASITA: L'informazione Territoriale e la Dimensione del Tempo, Verona