

# Valutazione comparativa di un sistema ibrido basato su Fotogrammetria e Laser Scanner per la rappresentazione architettonica

## Introduzione

Il rilievo con laser-scanner è un'alternativa al rilievo topografico-fotogrammetrico?

Se ciò non fosse, quanto e dove questa nuova metodologia sostituisce o affianca la "vecchia" metodologia?

Per rispondere si è cercato di capire se la strumentazione hardware e software oggi disponibile per il laser-scanning permetta di ottenere un risultato soddisfacente secondo i canoni attuali della rappresentazione architettonica, che necessita l'uso non solo di disegni al tratto in proiezione ortogonali, ma anche elaborati raster e modelli tridimensionali.

È stato dunque scelto di eseguire il rilievo di uno stesso oggetto utilizzando le due diverse metodologie e di confrontarle in ogni singola fase. L'area del test è una porzione del paramento esterno dell'Arena di Verona, costituita da tre arcovoli della zona sud: il XXXI, il XXXII ed il XXXIII che rappresentano un lotto funzionale al rilievo topografico-fotogrammetrico. Risulta infatti un'area di test significativa per dimensioni in modo da non semplificare le problematiche pur mantenendo un completo controllo delle operazioni.

Lo scopo è infatti quello di valutare le tecniche dal punto di vista operativo e si pone quindi la necessità di mantenere una stretta aderenza con la pratica operativa e profes-

sionale del rilievo.

Il punto essenziale è che se il rilievo fotogrammetrico di un monumento come l'Arena, è una tecnica assolutamente controllata, per cui si conoscono i tempi, i costi e i risultati ottenibili, il laser-scanning, invece, ha avuto applicazioni solo sperimentali e non esiste una casistica così estesa da poter progettare con efficacia un rilievo che abbia come supporto strumentale di base lo scanner 3D.

Per poter confrontare in modo rigoroso solo le tecniche di acquisizione e restituzione si è deciso di mantenere comune l'inquadramento topografico, costituito dalle reti topografiche di inquadramento e di dettaglio.

Delle due metodologie si sono perciò analizzate le modalità operative in campagna e le operazioni di gestione e di trattamento dei dati in laboratorio, mettendo in evidenza le operazioni comuni alle due tecniche, quelle logicamente assimilabili e quelle completamente diverse.

Si sono poi messi a confronto gli elaborati vector e raster ottenuti, per valutare le differenze di risultato e cercare di individuare le cause delle differenze.

Infine si sono valutate le risorse (tempi e costi) necessarie per lo svolgimento del rilievo usando le due diverse tecniche, per evidenziare eventuali economie rese possibili dall'uso della metodologia basata su laser scanner.

## Laser scanning

La caratteristica essenziale della tecnologia "laser-scanning" è quella di permettere l'acquisizione autonoma di milioni di punti 3D in brevissimo tempo.

Tutti gli strumenti laser-scanner in fase di acquisizione non hanno bisogno di un operatore se non per le

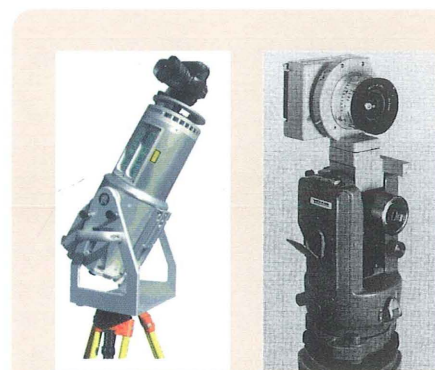


Fig. 3 - Il sistema LMS-Z 360i e un foto-teodolite

operazioni di accensione, inquadramento dell'area e scansione della stessa (fig.1); manca completamente quel controllo, da parte dell'operatore, dei punti acquisiti che caratterizza invece il rilievo topografico-fotogrammetrico.

Il risultato di una scansione è un insieme numerosissimo di punti (chiamato "nuvola di punti") distribuiti sull'oggetto da rilevare, secondo un passo angolare regolare assegnato ma di fatto assolutamente indifferente rispetto alla geometria dell'oggetto stesso.

L'applicazione nel campo dei Beni Culturali di questa nuova tipologia di dati può essere affrontata secondo un approccio riduttivo, ossia cercando di ottenere forse più rapidamente e più economicamente i prodotti tradizionali, o in modo propositivo, cercando di generare nuovi strumenti di descrizione e rappresentazione delle forme complesse.

In questa sfida sono coinvolti non solo i rilevatori ma anche coloro che basano la propria attività sui risultati del rilievo metrico, come restauratori, strutturisti, storici.

## Il Laser-scanner LMS-Z360i

Il laser-scanner LMS-Z360i con camera digitale Nikon D100 è lo strumento utilizzato per il test condotto per questo lavoro. Si tratta di un sensore terrestre portatile, adatto all'acquisizione veloce di immagini tridimensionali di buona qualità anche in presenza di difficili condizioni ambientali. Lo strumento prodotto dall'azienda austriaca RIEGL-Laser measurement System, è un'ottima combinazione di mezzi ottico-elettronici atti a ricreare dei modelli di superficie tridimensionali in breve tempo e anche a distanze elevate di scansione.

Il Laser Scanner consta di due parti una fissa e l'altra mobile che permette allo strumento di ruotare intorno al proprio asse verticale di 360°. L'apertura angolare verticale del fascio laser è di 80° grazie ad uno specchio rotante.

All'interno della componente fissa è collocato il distanziometro laser.

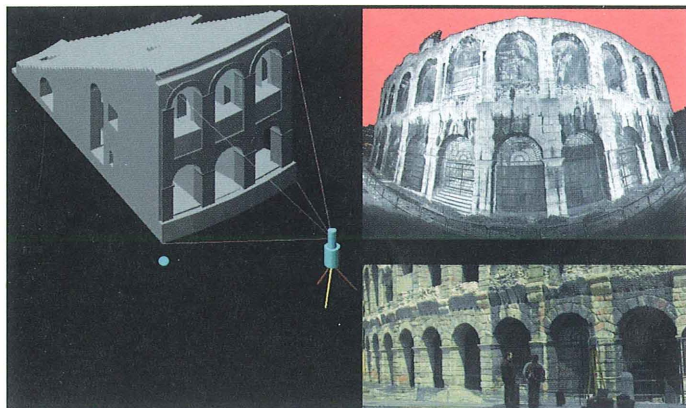


Fig. 1 - Schema di un'acquisizione laser scanner

## Integrazione tra fotogrammetria e laser-scanning

Una delle caratteristiche più recenti introdotte nella strumentazione per il laser scanning è la possibilità di acquisire non solo le tre osservazioni che permettono di calcolare le coordinate X,Y,Z di ogni punto ma di acquisire anche i valori RGB corrispondenti al singolo punto. Per poter ottenere dei valori RGB accurati e con risoluzione spaziale che superi quella della scansione alcune case produttrici hanno assemblato in modo solidale al laser-scanner una fotocamera digitale pre-calibrata (fig.3 e 4). Questa fotocamera si configura esattamente come un fototeodolite (fig.5) in quanto è possibile registrare direttamente la posizione e l'orientamento di ogni singolo scatto nel sistema di riferimento laser-scanner. Sono infatti noti da calibrazione i 6 parametri (3 rotazioni e 3 traslazioni) che permettono il passaggio dal sistema scanner al sistema camera.

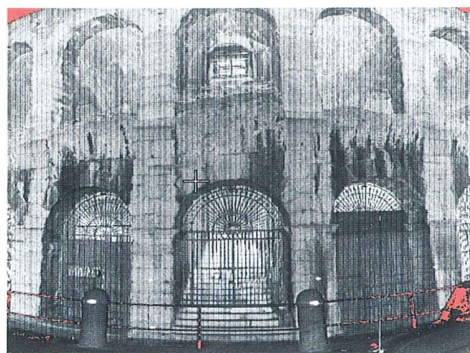


Fig. 2 - Schema di un'acquisizione laser scanner e della matrice irregolare di punti

quanto è possibile registrare direttamente la posizione e l'orientamento di ogni singolo scatto nel sistema di riferimento laser-scanner. Sono infatti noti da calibrazione i 6 parametri (3 rotazioni e 3 traslazioni) che permettono il passaggio dal sistema scanner al sistema camera.

## Analisi costi e tempi

I tempi ed i costi della fotogrammetria sono conosciuti sia per quella analitica che digitale. Quelli per il laser scanner sono in fase di studio.

Si conoscono i costi base, come quelli della strumentazione hardware e software, quelli del personale, quelli delle trasferte, quelli dell'assistenza (p.e. mezzi di elevazione) e si stanno studiando i tempi ed i costi della gestione e processamento dati.

I costi per la campagna di rilievo, che è legata ai tempi di acquisizione del Laser scanner, sono bassi poiché la segnalizzazione è limitata al livello del terreno e le scansioni e foto da terra permettono di operare senza la necessità di servirsi di piattaforme e i tempi di scansioni sono rapidi.

## Conclusioni e prospettive

Dall'analisi svolte si può affermare che nel settore laser scanner l'attuale offerta del mercato è in grado di soddisfare abbastanza pienamente le esigenze di rilievo metrico in ambito architettonico e urbanistico: ogni strumento è in grado di soddisfare, a seconda dei modelli, una più o meno ampia gamma di applicazioni.

Si può ritenere che i problemi maggiori sono legati alla non completezza operativa dei vari software che obbliga l'utente a far uso di più programmi.

Tuttora il trattamento dei dati acquisiti non è un'operazione banale: essa deve essere condotta con grande attenzione e ogni singola fase (dal pretrattamento alla modellazione e alla mappatura) deve essere eseguita con cura, analizzando e validando i risultati via via acquisiti, selezionando con altrettanta attenzione i software da impiegare.

Si deve considerare che la fase di trattamento dei dati occupa una parte preponderante nell'economia del lavoro e che si devono scegliere non solo il modello di laser scanner ma anche i software in modo da ottenere dei risultati che rispondano alle richieste di precisione normalmente rivolte ad un lavoro di rilievo.

Il laser scanner Riegl e i software impiegati hanno dimostrato un grande passo in avanti nell'ottica di ottenere questi risultati: rigore nel trattamento dei dati, accuratezza nelle singole operazioni, ottenendo degli elaborati (restituzioni vettoriali e raster, superfici 3D) finalmente confrontabili con quelli ottenibili se-

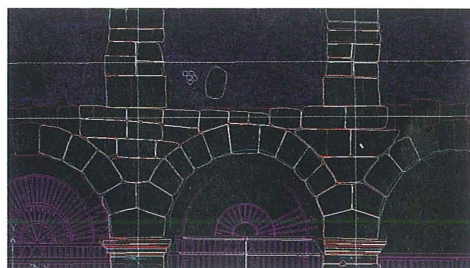


Fig. 7 - Comparazione tra restituzione fotogrammetrica e ortofoto



GPS PRODUCTS

# SF-2050G

# SF-2050M

Ha reso obsoleti i tradizionali Ricevitori GPS RTK



Con i nuovi sistemi **StarFire**<sup>®</sup>, che, grazie al software Gipsy in tempo reale, operano da soli senza stazione di riferimento e senza radio o GSM con precisione centimetrica, il topografo è libero di muoversi tra i punti da rilevare con il proprio ricevitore StarFire senza preoccuparsi di abbandonare un ricevitore fisso e senza temere la mancata copertura radio o gsm.

Il sistema StarFire opera ovunque tra +76° a -76°, non richiede inizializzazione né stazionamento sul punto da rilevare e garantisce 25 posizioni ogni secondo.

Il sistema StarFire opera in coordinate geocentriche corrette e non richiede appoggi a caposaldi di coordinate note.

Per notizie e dimostrazioni  
contatta il distributore italiano:

**Guido Veronesi s.r.l.**

Via Caselle, 46  
40068 San Lazzaro di Savena

Bologna

Tel. 051 454733

Fax 051 453181

E-mail: [info@veronesi.org](mailto:info@veronesi.org)

**WWW.VERONESI.ORG**

guendo i metodi più consolidati del rilievo, la fotogrammetria e la topografia (fig. 7 e fig. 8).

Un problema riscontrato è legato alla qualità delle immagini digitali: anche se effettuate con una Nikon D100 con sensore da 6.1 milioni di pixel effettivi, utilizzando la fo-

cale da 20 mm, la risoluzione dell'immagine è insufficiente (= pochi pixel) e si deve ricorrere a un ricampionamento verso l'alto nella generazione dell'ortofoto in scala 1:50 (fig. 8). La soluzione è naturalmente nella scelta dell'ottica da utilizzare.

La digitalizzazione dell'ortofoto 3D, ef-

fettuata con Scandig3D, si può ritenere alla scala nominale 1:50 e nel confronto con la restituzione fotogrammetrica si è riscontrato uno scostamento medio di 2.5 cm. Tale scostamento è imputabile, nella gran parte, alla difficoltà di riconoscere, sia in fotogrammetria che con il Laser scanner, gli elementi ar-

### Modalità operative per il rilievo dei tre arcovoli

Si descrivono schematicamente nella seguente tabella le principali differenze operative delle due modalità utilizzate per il rilievo.

	Topografia-Fotogrammetria	Laser-scanning
La segnalizzazione	Per il rilievo dell'area del test sono necessari 6 modelli stereoscopici e la segnalizzazione deve essere eseguita così da ricoprire tutto l'oggetto. Serve piattaforma aerea.	Per orientare le scansioni è sufficiente segnalizzare pochi punti nella parte inferiore ed è sufficiente una sola scansione per coprire l'area del test. Si opera dal livello stradale.
Le mire	Le mire utilizzate per la topografia e fotogrammetria sono dei target collimabili e riconoscibili nelle immagini.	Le mire per il laser scanner sono le stesse della topografia e fotogrammetria ma vengono fornite di una parte catari-frangente per permettere l'estrazione automatica delle coordinate dei target dalla nuvola di punti.
La messa in stazione dello strumento	Caratteristica principale è la verticalità dell'asse primario resa possibile dalla livella torica presente nello strumento.	Per la messa in stazione dello strumento si utilizza unicamente la livella sferica della bassetta.
Appoggio topografico	La rete di inquadramento è comune. I punti di appoggio sono 32, posizionati su tutta l'area di rilievo. I punti sono distribuiti in modo uniforme su tutta l'area di sovrapposizione stereoscopica di ogni modello. Nel caso di modelli concatenati i punti si mettono nella zona di sovrapposizione dei modelli. Ugualmente nel caso di triangolazione a modelli indipendenti è necessario mettere i punti di passaggio sempre nella zona di sovrapposizione di modelli.	La rete di inquadramento è comune. I target catari-frangenti sono 8 di coordinate note e 4 di coordinate incognite posizionati al solo livello del piano di campagna. I target vengono posizionati non solo sull'oggetto ma anche nell'area circostante, e visibili nelle varie scansioni, grazie alla velocità di acquisizione e alla possibilità di rilevare con un ampissimo campo angolare (360° in orizzontale). Questo ci permette di non segnalizzare zone inaccessibili. Invece che irrigidire il sistema dei modelli-scansioni con punti messi su un piano verticale lo si irrigidisce con punti su un piano orizzontale.
Prese stereoscopiche	Per ricoprire l'area sono necessari 12 fotogrammi che formano 6 modelli: 3 alti da effettuare con piattaforma aerea e 3 bassi da effettuare dal livello stradale. Le prese sono di tipo definito "normale"	Scansioni da terra
Scansioni	Corrisponde alle prese stereoscopiche.	Viene effettuata in tre fasi: a) scansione panoramica per accertarsi della posizione e dell'esatta copertura dell'oggetto, b) la scansione vera e propria, c) le scansioni ad altissima definizione dei singoli markers.
Prese digitali con fotocamera Nikon D100 calibrata e montata sul Laser scanner		La camera è montata in modo solidale al laser scanner e ne segue i movimenti. E' noto l'orientamento interno ed è noto l' esterno nel sistema del Laser scanner. Le prese sono assunte a intervalli regolari in modo automatico registrando i parametri angolari del laser scanner. Di conseguenza sono noti i parametri dell'orientamento esterno dei fotogrammi.
Gestione dati acquisiti	Software di gestione file topografici: Starnet	Software di gestione file topografici e dati laser scanner : Starnet RiscanPro Ricube
Orientamento Allineamento	Apex, software per la fotogrammetria digitale permette l'orientamento delle prese in singoli modelli o in strisciate.	RiscanPro, programma di acquisizione e gestione dati da laser-scanner, ci permette di allineare due o più nuvole di punti tra loro. Si può allineare una nuvola su di un'altra e orientare una nuvola o più sui punti di controllo (definiti nel sistema di riferimento generale dato dalla topografia).
Restituzione ed editing	Apex, Autocad2002.	RiscanPro, Scandig3D (restituzione da ortofoto) e Point-cloud (restituzione da nuvola di punti), Autocad2002.

## Tabella comparativa dei tempi

FOTOGRAMMETRIA		ASER SCANNING	
Segnalizzazione	1 h	Segnalizzazione	30 min
Appoggio topografico	20 min	Appoggio topografico	10 min
Prese stereo per 6 modelli	1 h	Scansione laser (3 stazioni)	45 min
Calcolo coordinate punti di appoggio e preparazione file	1 h	Acquisizione immagini	15 min
		Calcolo coordinate punti di appoggio e preparazione file	1 h
		Selezione, filtraggio e decimazione	15 min
Orientamento di 6 modelli	3 h	Orientamento delle 3 nuvole nel sistema assoluto	10 min
Restituzione di 6 modello	30 h	Restituzione da orthofoto 3D	20 h
Estrazione di 6 profili (manuale)	1 h	Estrazione di 6 profili in modo semi automatico	10 min
Produzione di DEM automatico con passo 1 cm	2 h	Il DEM è la nuvola di punti	
Orthofoto da singolo modello	1 h	Orthofoto da singola scansione	1 h



Fig. 8 - Comparazione tra ortofoto: a sinistra la fotogrammetria a destra il laser scanner

chitettonici. Lo stato attuale di conservazione della materia dell'Arena ha reso l'oggetto privo di spigoli: da ciò ne deriva che l'identificazione dei contorni su superfici curve è influenzata dall'interpretazione del restituitista. In conclusione le differenze riscontrate sono state imputate a una diversa interpretazione da parte degli operatori.

Quindi l'integrazione del laser scanner, come strumento per il rilievo terrestre, alla fotocamera digitale calibrata permette di ottenere non solo restituzioni vettoriali e raster in modo più agevole ma anche la produzione di rappresentazioni più sofisticate come l'ortofoto 3d o l'immagine solida. Questi ultimi rappresentano dei nuovi prodotti che possono essere impiegati, direttamente dall'utente finale, come strumenti estremamente utili nel settore dei Beni Architettonici, in particolare nei progetti di conoscenza, documentazione, conservazione delle architetture.

Il sistema proposto inoltre ha dimostrato

di ridurre notevolmente i tempi di acquisizione in campagna, oltre che aver semplificato alcune fasi della restituzione dei dati (digitalizzazione da un'unica immagine) minimizzando di conseguenza i costi della "parte specialistica" del rilievo (personale specializzato).

L'introduzione del laser scanner e lo svi-

- fasi di campagna:  
(ad opera di tecnico specialista di rilievo topografico, fotogrammetrico, laser scanner)
  - rilievo topografico (rete di inquadramento e appoggio);
  - scansioni laser (da più stazioni);
  - acquisizione foto;
- fasi processamento:  
(ad opera di tecnico specialista di rilievo laser scanner)
  - filtratura dati laser;
  - decimazione dati (in funzione della scala nominale del rilievo);
  - Registrazione, allineamento, georeferenziazione scansioni;
- produzione elaborati:  
(ad opera di tecnico specialista di rilievo topografico, fotogrammetrico, laser scanner)
  - immagine solida;
  - ortofoto 3D;
- fasi restituzione:  
(ad opera di tecnico specialista di restauro, strutture, ecc.)
  - utilizzo software per estrazione di profili orizzontali e verticali;
  - interrogazione immagine solida e ortofoto 3D (coordinate, distanze) per restituzione di piante e prospetti.

luppo di questi nuovi prodotti assolutamente innovativi portano a pensare ad un nuovo ruolo per gli operatori nel settore del rilievo.

Si potrebbe considerare un servizio specializzato di scansione - elaborazione dei dati laser al fine di fornire solo immagini solide o ortofoto 3D e lasciare la restituzione non al tecnico restituitista bensì al tecnico specialista del restauro o strutture o storia ecc.

L'organizzazione di questo service, che verrà sperimentata presso il laboratorio di fotogrammetria del CIRCE avendo come utenti finali i laureandi, deve essere studiata pensando ad una suddivisione in fasi eseguite da operatori con diverse conoscenze specifiche. Una prima ipotesi organizzativa potrebbe essere:

### Autori

A. Ullrich, N. Studnicka, J. Riegl, C. Balletti, F. Guerra, P. Vernier, S. Orlandini