

Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner

Volume 1 – Introduzione generale

INTRODUZIONE

- 1. LASER SCANNER TERRESTRE: CONCETTI BASE**
 - 1.1. TIPOLOGIE DI STRUMENTI**
 - 1.2. SCELTA DELLO STRUMENTO IN BASE ALLE ESIGENZE DI RILEVAMENTO**

- 2. L'ACQUISIZIONE DELLA MISURA:**
 - 2.1. LA PROGETTAZIONE DEI PUNTI DI PRESA: SCANSIONI LASER 3D**
 - 2.2. L'ACQUISIZIONE DI IMMAGINI**
 - 2.3. IL POSIZIONAMENTO DEI TARGET E LA MONOGRAFIA DEI PUNTI D'INTERESSE**
 - 2.4. LA PROGETTAZIONE DELLO SCHEMA DI ACQUISIZIONE (SCANSIONE E FOTO)**
 - 2.5. ALCUNI ESEMPI**

- 3. ELABORAZIONE E RESTITUZIONE DEI DATI**
 - 3.1. FASE DI ORGANIZZAZIONE ED IMPORTAZIONE DEI DATI**
 - 3.2. FASE DI PRE-PROCESSAMENTO (FILTRAGGIO DATI, CALCOLI PRELIMINARI)**
 - 3.3. FASE DI ALLINEAMENTO**
 - 3.4. FASE DI MAPPATURA DELLE FOTO**
 - 3.5. EDITING DEI PUNTI**
 - 3.6. FASE DI TRIANGOLAZIONE**
 - 3.7. MONITORAGGIO E CONFRONTO TRA SCANSIONI: INSPECTION**
 - 3.8. FASE DI ESTRAZIONE DATI (SEZIONI, ORTOFOTO, DTM)**

- 4. INTEGRAZIONE CON TECNICHE DI RILEVAMENTO CLASSICHE E SISTEMI DI GESTIONE DATI TRADIZIONALI**
 - 4.1. TECNICHE DI RILEVAMENTO CLASSICHE A SUPPORTO DELLA GEO-REFERENZIAMENTO**
 - 4.2. COMBINAZIONE LASER SCANNING E DI VERSE METODOLOGIE DI RILEVAMENTO**

- 5. L'APPROCCIO VIRTUAL SCAN**
 - 5.1. RIASSUNTO**
 - 5.2. INTRODUZIONE**
 - 5.3. LA TECNICA DI SCANSIONE VIRTUALE**
 - 5.4. VIRTUAL SCAN PER LA GESTIONE DI IMMAGINE 2D**
 - 5.5. RESTITUZIONE CAD PER APPLICAZIONI ARCHITETTONICHE**
 - 5.6. CREAZIONE DI ARCHIVI DI IMMAGINI MISURABILI IN AMBITO PERITALE**
 - 5.7. INTEGRAZIONE DI MODELLI TRIDIMENSIONALI TERRITORIALI**
 - 5.8. CONCLUSIONI**

- 6. L'IMPIEGO DI STRUMENTAZIONE LASER SCANNER PER IL RILEVAMENTO TRIDIMENSIONALE DI EDIFICI STORICI (IN LINGUA INGLESE)**

- 6.1 CULTURAL HERITAGE 3D RECONSTRUCTION BY LASER SCANNER. AN INTRODUCTION**
- 6.2 INTRODUCTION**
- 6.3 HIGH DENSITY LASER ACQUISITION**
- 6.4 STUDY EXAMPLES**
- 6.5 RESULTS**
- 6.6 CONCLUSIONS**

- 7. IL RILEVAMENTO DELL'INVASO DI UN BACINO IDROELETTRICO**
 - 7.1 INTRODUZIONE**
 - 7.2 LA STRUMENTAZIONE**
 - 7.3 LA ACQUISIZIONE E GEOREFERENZIAZIONE DELLE SCANSIONI**
 - 7.4 IL TRATTAMENTO DATI E LA REALIZZAZIONE DEL MODELLO TRIDIMENSIONALE**
 - 7.5 IL CALCOLO DEI VOLUMI**

BIBLIOGRAFIA

SITI DI RIFERIMENTO: www.rilevamento.it www.reconstructor.it

Introduzione

Questo volume è la prima uscita della collana Topografia e Geomatica, curata dal gruppo di ricerca della Cattedra di Topografia e Cartografia dell'Università degli Studi di Brescia in collaborazione con la Spin Off universitaria di questo ateneo, Gexcel (www.gexcel.it), acronimo di "centro per la geomatica di eccellenza".

Vengono qui riportati alcuni risultati relativi ad una ricerca cofinanziata dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica per gli anni 2004-2006, di cui l'Università di Brescia ha usufruito.

Il testo, che trae spunto dalle ricerche in oggetto, intende dettagliare l'esperienza e i risultati delle ricerche svolte con una impostazione di tipo didattico/formativo. Se infatti il laser a scansione è oramai largamente diffuso, è anche vero che sono ancora da realizzare degli strumenti didattici, e contemporaneamente rigorosi che permettano di avvicinarsi in modo corretto al mondo del rilevamento tridimensionale tramite le tecnologie laser non a contatto. Indispensabile per la stesura del testo è stata l'esperienza e competenza di Matteo Sgrenzaroli, amico e grande esperto della tecnologia laser scanner, che conosce tutti gli aspetti sia teorici che applicativi di questa tecnica.

Il primo capitolo introduce il lettore alla tecnologia laser scanner, descrivendo in modo dettagliato e preciso sia le modalità di funzionamento dei sistemi laser sia le caratteristiche tecniche e in termini di accuratezza e precisione. Ancora una certa distanza separa infatti il modo degli specialisti del laser scanner a quello degli esperti di topografia tradizionale, e la conoscenza delle caratteristiche metriche e funzionali dei laser a scansione ancora troppo spesso risulta alquanto poco certa e fumosa.

Il secondo capitolo affronta il problema della pianificazione e progettazione dei rilevamenti con laser scanner. La progettazione del rilevamento è infatti la condizione indispensabile al fine di ottenere il risultato ricercato dal rilevatore. Il concetto diffuso che tutto possa essere risolto con un buon trattamento dei dati è infatti erroneo; da una buona campagna di rilevamento segue un buon rilievo. L'attenzione alla uniformità di risoluzione dell'oggetto scansionato, un opportuno ricoprimento tra scansioni adiacenti, la scelta corretta dello strumento sono questioni non di poco conto. La descrizione teorica viene comunque sempre affiancata da esempi tratti da studi ed esperienze realizzate durante le ricerche descritte, il che rende, almeno così spero, di facile lettura e comprensione il testo. Viene anche descritta l'acquisizione, contestuale alla scansione, delle fotografie dell'oggetto rilevato. Vale la pena qui ricordare che la recente introduzione di scanner con sovrimposta una camera fotografica ha decisamente facilitato la acquisizione e gestione unitaria del dato tridimensionale e della immagine fotografica. A tale riguardo è questa l'occasione di rimarcare come ancora troppa confidenza venga data dal rilevatore al dato acquisito in campagna. Se infatti dal punto di vista visivo spesso già dalla scansione con immagine sovrimposta acquisita dallo strumento tramite il software di gestione del laser scanner, si ottengono risultati assai gradevoli, l'analisi accurata del dato rileva spesso degli

scostamenti e disallineamenti anche marcati. E' dunque evidente che per una gestione tridimensionale di un rilevamento con laser scanner non sia possibile limitarsi ai software di acquisizione del dato in campagna, ma sia necessario, anche per acquisizioni di singole scansioni, il passaggio a software di trattamento dati avanzati, in grado di recuperare gli scarti di calibrazione e di allineare con accuratezza le scansioni all'immagine fotografica. Viene affrontata anche la problematica del collegamento del rilevamento ad un sistema di riferimento esterno e alle modalità di unione delle diverse scansioni. Anche in questo caso non esiste un approccio univoco e vengono proposte alcune modalità operative verificate e validate sul campo grazie alle diverse .

Il terzo capitolo affronta l'articolata fase di elaborazione dei dati. Essendo questo volume frutto e risultato di una ricerca teorica e applicata, si è preferito piuttosto che ricorrere ad un discorso prettamente teorico, ricorrere alla descrizione di come realizzare le operazioni descritte con il software JRC 3DReconstructor®. Lo sviluppo di tale applicativo è realizzato dal centro comune di ricerca di Ispra ed in particolare dal Dipartimento per la sicurezza dei cittadini con cui l'Università di Brescia è convenzionata. Dunque la ricerca ha visto un impiego diffuso di tale applicativo, sia al fine di fornire suggerimenti allo sviluppo sia in quanto tale software risulta estremamente flessibile e dunque permette al ricercatore di realizzare e testare in modo personale le procedure sviluppare in proprio. Inoltre il contatto diretto con il CCR (Centro Comune di Ricerca o JRC – Joint Research Center) ha permesso di vedere i suggerimenti forniti, immediatamente applicati all'interno del software medesimo.

Di particolare importanza il modulo *Inspection*, che permette di evidenziare le differenze e variazioni tra scansioni del medesimo elemento, effettuate in tempi differenti.

Il quarto capitolo descrive in modo succinto la problematica della georeferenziazione delle scansioni in sistemi di riferimento globale e l'integrazione con strumentazione topografica classica (Stazioni totali, GPS, dati da rilevamenti fotogrammetrici e aereofotogrammetrici, modelli digitali del terreno). Rimandiamo al secondo volume per la definizione più nel particolare di tali temi.

Il quinto capitolo introduce il lettore e descrive alcuni risultati delle ricerche, che consistono nello sviluppo e ideazione di una tecnologia innovativa, il *Virtual Scan*, che permette di ricampionare e trattare i rilevamenti tridimensionali in modo da rendere le informazioni tridimensionali maggiormente fruibili e più integrabili con fonti di dati di diversa natura.

Il sesto e settimo capitolo, infine, introducono il lettore ad alcune esperienze realizzate.

Spero che gli autori trovino questo primo volume della collana di facile lettura e soprattutto utile. Per mantenere il contatto con i lettori consiglio di

interrogare e consultare il sito internet gestito dal gruppo di topografia e cartografica del DICATA, www.rilevamento.it, dove vengono tenute attive informazioni e aggiornamenti sulle tecnologie qui introdotte. Consiglio inoltre l'accesso al sito www.reconstructor.it, dove è possibile acquisire maggiori informazioni relative al software JRC 3DReconstructor di seguito introdotto e impiegato nelle nostre ricerche.

Buona lettura

Giorgio Vassena

CAPITOLO 1 LASER SCANNER TERRESTRE: CONCETTI BASE

1 LASER SCANNER TERRESTRE: CONCETTI BASE

Sono considerati scanner 3D tutti quegli strumenti in grado di acquisire le coordinate spaziali di una data regione o della superficie di un oggetto, in modo automatico, sistematico, e con un'alta velocità. Il principio base su cui si basano le differenti tipologie di laser scanner può essere così riassunto: la proiezione di un raggio, di un fascio di luce o di un pattern sull'oggetto e l'analisi del segnale di ritorno.

In generale è in questa seconda fase che si differenziano i diversi principi operativi dei vari scanner laser: in alcuni modelli la distanza tra oggetto e trasmettitore è calcolata basandosi sul TOF ("tempo di volo") cioè il tempo che impiega il segnale emesso a ritornare allo strumento:

$$\text{Distanza} = (\text{tempo di volo} \times \text{velocità della luce}) / 2$$

in altri è calcolata per comparazione della fase del segnale emesso rispetto a quello ricevuto. Altre tipologie di scanner invece si basano sul principio della triangolazione del segnale.



Figura 1.1: Immagine di riflettanza

Definizione di scanner:

Lo strumento viene definito scanner poiché l'acquisizione avviene secondo specifici criteri di organizzazione dei dati raccolti analoghi a quelli degli strumenti di scansione tradizionali, come ad esempio uno scanner piano. Questi criteri possono essere riassunti nella capacità di operare in modo automatico e sistematico, nella velocità d'acquisizione (si arriva a migliaia di punti al secondo) e nella possibilità di avere accesso ai dati in tempo reale.

Oltre alle coordinate spaziali, alcuni scanner integrano i dati con il valore della riflettanza. La riflettanza indica la proporzione di luce incidente che una data superficie è in grado di riflettere. Ha quindi un significato fisico ben preciso, ed il suo valore è legato alle caratteristiche del materiale di cui è costituita la superficie scandita.

Definizione di Range Scan:

Con "range scan" si intende un nuvola di punti (ordinata nello spazio) acquisiti da una singola posizione di scansione. La misura di tempo o la differenza di fase vengono convertite in misure di distanza tra il punto di emissione del segnale laser (posizione dello strumento laser) e gli oggetti colpiti dal raggio laser. Noti inoltre gli angoli azimutali e zenitali del sensore

laser al momento dell'emissione del raggio, è possibile rappresentare i punti misurati nello spazio secondo una griglia ordinata di punti. La griglia è determinata dal regolare spostamento del raggio laser (grazie alla rotazione di specchi interni allo strumento o alla rotazione dello strumento stesso) che scansiona in modo regolare l'oggetto da rilevare (figura 1.2). Grazie alla griglia regolare d'acquisizione è possibile organizzare i dati di riflettanza in una immagine 2D (Immagine di riflettanza) di cui è noto il punto di acquisizione (posizione dello strumento laser). Per ogni pixel dell'immagine 2D di riflettanza è nota la posizione x,y,z in 3D del punto relativo. Nella figura 1.3 sono visualizzate contemporaneamente la nuvola di punti 3D e la corrispondente immagine 2D di riflettanza. Un range scan viene distinto da una generica nuvola di punti in cui non è noto il punto di acquisizione e in cui viene persa l'informazione relativa alla griglia regolare di acquisizione.

1.1 TIPOLOGIE DI STRUMENTI

Ricezione ed elaborazione del segnale

In generale la tecnologia si basa sempre sull'emissione e la ricezione di un raggio, di un fascio di luce oppure di un pattern luminoso; i vari laser scanner si differenziano in base a principi operativi di funzionamento.

Innanzitutto si distinguono due principali famiglie di scanner: i *ranging scanners* (**scanner a misura diretta dalle distanza**) ed i *triangulation scanners* (**scanner a triangolazione**). Nei *ranging scanner* la posizione dell'emettitore laser e del ricevitore coincidono.

Nei *triangulation scanners* emettitore e ricevitore sono separati da una distanza nota a priori (*base line*), sulla quale si basa il principio della triangolazione. All'interno delle due famiglie troviamo poi altre differenziazioni sul sistema di ricezione ed elaborazione del segnale.

Ranging scanner

Il principio di funzionamento maggiormente utilizzato è quello del **T.O.F.** ovvero "**time of flight**" (tempo di volo). Un impulso laser viene emesso verso l'oggetto e la distanza tra trasmettitore e superficie riflettente è calcolata in base al tempo impiegato dal segnale tra l'emissione e la ricezione. Questo principio è ben noto poiché è lo stesso utilizzato dalle stazioni totali topografiche ad impulsi. Anche le stazioni totali di ultima generazione possono essere programmate per lavorare in modalità "scanner" ma la velocità d'acquisizione (e quindi la densità di punti rilevabili nel tempo e nello spazio) è generalmente più bassa di uno laser scanner.

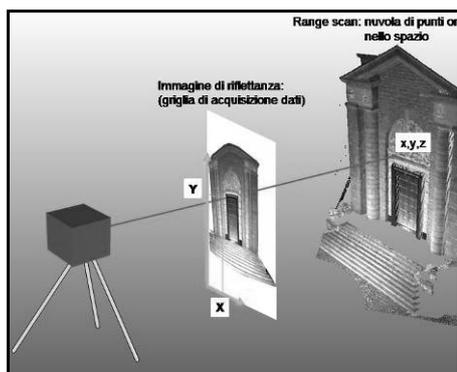


Figura 1.2 Schema di formazione di un range di punti e della relativa immagine di riflettanza

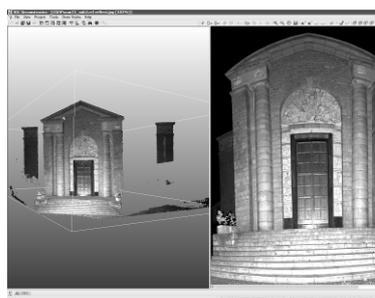


Figura 1.3 Nuvola di punti 3D (a ds) e immagine di riflettanza (a sin.)

Nelle stazioni totali il calcolo della distanza avviene effettuando misurazioni ripetute, che permettono di ottenere accuratissime misurazioni ed eliminare gli errori di tipo grossolano. Gli scanner laser, invece, utilizzano sistemi per la deflessione del segnale che permettono piccolissime rotazioni ed utilizzano algoritmi semplificati per l'elaborazione del segnale di ritorno. Questo implica una minore accuratezza rispetto ai distanziometri topografici, gli scanner basati su TOF sono caratterizzati da una deviazione standard sulla misura delle distanze che è sempre maggiore di alcuni

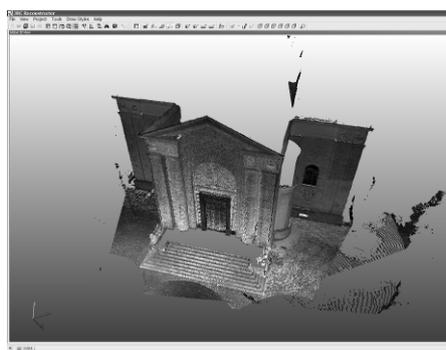


Figura 1.4: nuvola di punti 3D costituita da 3 range scan allineati

millimetri rispetto alle stazioni totali.

Il metodo di **comparazione della fase** opera grazie ad un raggio trasmesso che viene modulato da un'onda armonica; tale tecnologia è utilizzata sia in numerosi distanziometri elettronici, che in alcuni scanner laser. La distanza viene calcolata comparando la differenza di fase tra l'onda trasmessa e quella ricevuta. Questo sistema, utilizzando particolari algoritmi di elaborazione del segnale, può permettere di ottenere risultati di elevata accuratezza. La necessità di risolvere eventuali ambiguità di fase generalmente limita la portata in distanza di tali strumenti.

1.2. SCELTA DELLO STRUMENTO IN BASE ALLE ESIGENZE DI RILEVAMENTO

Le diverse tipologie di laser scanner implicano differenze nelle accuratissime misurazioni, nella distanza nelle modalità di acquisizione, nella risoluzione della nuvola di punti.

Allo stato attuale non esiste alcuno strumento in grado di soddisfare contemporaneamente a tutte queste esigenze.

La scelta dello strumento deve essere effettuata in base alle esigenze specifiche di utilizzo sulla base di molteplici caratteristiche:

- accuratezza
- velocità di acquisizione
- range di misura
- lunghezza d'onda del segnale in base alle possibili sorgenti di rumore esterno (luce solare, umidità) e delle caratteristiche di riflettività delle superfici esterne
- campo visivo dello strumento
- dotazione di camere digitali interne od esterne
- facilità di trasporto
- tipo di alimentazione
- qualità del software d'acquisizione

Accuratezza

Aspetto fondamentale di cui tener conto nell'utilizzo di uno scanner laser è la sua accuratezza. Essa si presenta come fattore determinante nel caso ad esempio del rilievo architettonico o industriale, ove è necessario visualizzare anche piccoli dettagli. Importante, ma non fondamentale, nel caso di rilevamenti ambientali.

La qualità globale nell'acquisizione della nuvola di punti deriva dalla combinazione delle accuratezze ottenute nella misura delle singole caratteristiche fisico-geometriche, ed è influenzata inoltre da caratteristiche intrinseche all'oggetto rilevato e dalle condizioni ambientali.

I dati tecnici forniti dai diversi costruttori di laser scanner non sono sempre facilmente comparabili tra loro poiché basati su criteri differenti. Inoltre, essendo prodotti in serie piuttosto limitate, la stessa accuratezza può variare da strumento a strumento, a causa di differenze nell'eseguire la calibrazione iniziale in fase di produzione.

Le caratteristiche fisico-meccaniche che concorrono al raggiungimento delle accuratezze finali possono essere riassunte nelle seguenti:

- **Accuratezza angolare**

L'impulso laser viene direzionato sull'oggetto mediante la rotazione di specchi deflettori o di prismi, la conoscenza degli angoli di rotazione nelle due direzioni, orizzontale e verticale, associata alla misura di range, permette di risalire alla posizione del punto nello spazio. Ogni deviazione angolare corrisponderà ad un errore di posizionamento: il punto, nel caso dei ranging scanner, risulterà essere appartenente alla sfera di raggio pari alla distanza oggetto-ricevitore, ma si troverà in un punto della superficie non corrispondente a quello reale

- **Accuratezza nella misura delle distanze**

I ranging scanner misurano la distanza oggetto-ricevitore mediante il principio del T.O.F. (Tempo di Volo) oppure mediante le differenze di fase. In questo tipo di scanner l'accuratezza varia in modo lineare rispetto alla distanza e con valori che dipendono dalla tipologia di laser e si rimanda per queste alle accuratezze fornite dai costruttori in base al range di acquisizione di ciascun laser scanner. Per i triangulation scanner l'accuratezza diminuisce, invece, con il quadrato della distanza scanner-oggetto. Si ha quindi un andamento di tipo parabolico, con il quale è possibile esprimere l'andamento accuratezza – distanza. E' utile osservare inoltre che la curvatura della parabola risulta crescere al diminuire della

base di triangolazione. Base che, per ragioni pratico-costruttive deve comunque restare contenuta in poche decine di centimetri.

Risoluzione

La risoluzione di uno scanner può essere definita come la sua capacità di rilevare e rappresentare oggetti di dimensioni minime, ovvero la densità massima della nuvola di punti. Tecnicamente sono due le caratteristiche che concorrono alla determinazione della risoluzione:

- il minimo incremento angolare possibile degli organi di direzionamento (specchi, prismi, parti meccaniche);
- le dimensioni dello spot laser.

Un ridotto passo angolare permette di contenere le distanze tra i punti della nuvola e le dimensioni contenute dello spot permettono di determinarne con minore ambiguità il suo centro. La risoluzione ottenibile è uno dei fattori principali che determinano la scelta di utilizzo di uno strumento piuttosto di un altro. In funzione della finalità del rilevamento potremo avere la necessità di raggiungere elevate risoluzioni da brevi distanze, come nel caso di particolari architettonici, o meglio ancora opere d'arte come statue, in altri casi, come nel rilevamento di cave la risoluzione non è il fattore predominante, ma va cercato il giusto compromesso con la portata.

Influenza della riflettività della superficie

Il segnale laser di ritorno dalla superficie deve essere rilevato dal sensore dello strumento, nel caso dei ranging scanner da una unità di ricezione per determinare la distanza, mentre nel caso dei triangulation scanner da un sensore CCD che rileva l'angolo di incidenza.

In entrambe i casi, oltre che da fattori esterni, l'intensità del segnale di ritorno dipende dalle caratteristiche fisiche dell'oggetto colpito, in particolare dalla riflettività della sua superficie.

Si è osservato che alcuni valori di riflettività inducono ad errori sistematici nelle misure di range, inoltre variazioni considerevoli di riflettività durante la singola scansione portano ad errori nell'intorno delle zone di transizione.

Condizioni ambientali

Temperatura, condizioni atmosferiche ed interferenze di radiazioni luminose o altri campi elettromagnetici, possono in differenti quantità, influenzare l'accuratezza delle misure. In fase di acquisizione e per la successiva interpretazione dei dati sarà utile raccogliere queste informazioni al momento dell'acquisizione.

Velocità di acquisizione

Fattore decisamente rilevante per quanto riguarda la produttività del rilevamento è la velocità di acquisizione. La durata di ogni singola scansione infatti può durare da alcuni secondi ad alcune decine di minuti. Ciò dipende dal campo visivo di acquisizione, dal passo angolare, dal principio di misura del range (tempo di volo, differenza di fase, triangolazione), dalla distanza dell'oggetto, dalla velocità dei sistemi meccanico-ottici di puntamento e deflessione.

Supponendo di operare la scansione dello stesso oggetto con diversi strumenti, noteremmo comunque che, a parità di campo di acquisizione e di passo angolare, il sistema di misurazione del range incide moltissimo sulla velocità di acquisizione del singolo punto. Le velocità di acquisizioni di

vari modelli di laser scanner in commercio sono comparati in tabella 1.1.

Range di misura

La distanza massima a cui il sensore può effettuare la misura di distanza gioca un ruolo fondamentale nella scelta del tipo di strumento da utilizzare. Le portate dei laser scanner in commercio vanno attualmente da alcune decine di centimetri ad alcune centinaia di metri. In tutti i casi, all'aumentare della portata corrisponde una diminuzione della risoluzione d'acquisizione, quindi per scansioni a lunga distanza (oltre il centinaio di metri), potremo avere in generale, risoluzioni centimetriche o decimetriche. Il valore massimo di portata raggiungibile dipende dalle caratteristiche del segnale emesso, dalla direzione con cui il raggio laser colpisce la superficie dell'oggetto, ma soprattutto dalle caratteristiche di riflettività della superficie. Materiali con elevato potere radio-assorbente e superfici molto inclinate, riducono l'intensità del segnale di ritorno allo strumento, limitandone la portata.

Caratteristiche del segnale laser

Le caratteristiche del segnale emesso dallo strumento (generalmente laser nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso vicino, o del colore verde) possono subire disturbi ed interferenza in presenza di sorgenti luminose artificiali, la luce solare ed altre radiazioni luminose prodotte dal riflesso di oggetti vicini, condizioni particolari della superficie colpita. Generalmente i laser utilizzati fanno sì che la misura del range non sia invece influenzata da sorgenti radio di alcuna frequenza. Le principali condizioni che possono influire possono essere così riassunte:

Caratteristiche di riflettività del materiale: materiali con elevate capacità radio-assorbenti, o materiali che vengono attraversati dal segnale luminoso (si vedano ad esempio le superfici vetrate nella scansioni sottostanti) limitano le misure di range. Condizioni d'umidità della superficie, condizioni ambientali: un elevato grado d'umidità nell'atmosfera causa una forte dispersione del segnale ed la sua conseguente riduzione d'intensità.

Costante dielettrica del materiale. Materiali con caratteristiche di assorbimento in alcune lunghezze d'onda possono risultare di difficile misurabilità con strumenti laser che lavorino in tali lunghezze d'onda.

Campo visivo

In commercio esistono tipologie di scanner, che dal punto di vista del campo visivo di acquisizione, possono essere raggruppati in tre categorie principali: i *Camera Scanner*, i *Panorama Scanner* e gli scanner che adottano una soluzione intermedia.

I *Camera Scanner* hanno un limitato campo visivo, paragonabile a quanto accade in una foto camera, l'intervallo angolare di scansione è limitato, sia sul piano orizzontale che verticale. Questo tipo di scanner è pratico per utilizzi legati al rilevamento ambientale, e quindi per scansioni di superfici situate a lunga distanza.

I *Panorama Scanner* hanno invece un campo visivo quasi sferico, limitato unicamente dalla base dello strumento. La quasi totale copertura del campo visivo fa sì che questo tipo di strumento si presti molto bene alla scansioni di interni di edifici, di gallerie.

Un terzo tipo di scanner è rappresentato da sistemi che possono compiere rotazioni complete solamente attorno ad uno degli assi. La rotazione attorno al secondo asse è invece limitata entro i 60° ÷ 70°.

Produttore	Modello	Tipo	Range	Velocità max	Campo visivo
			[m]	[punti/sec]	[gradi]
Zoller+ Fröhlich GmbH	3D IMAGER 5006	Diff. fase	79	500000	360° x 310°
	3D IMAGER 5003	Diff. fase	25.2/53.5	625000/500000	360° x 310°
Leica Geosystems	HDS 6000	Diff. fase	79	500000	360° x 310°
	HDS 4500	Diff. fase	25	500000	360° x 310°
	Scan Station	Impulsi	134/300	50000	360° x 270°
	HDS 3000	Impulsi	100	1800	360° x 270°
	HDS 2500 (Cyrax)	Impulsi	100	1000	40° x 40°
Riegler LMS	LPM-321	Impulsi	500/6000	10/1000	150° x 360°
	LMS-Z210ii	Impulsi	200/650	8000/10000	360° x 80°
	LMS-Z390i	Impulsi	140/400	8000/11000	360° x 80°
	LMS-Z420i	Impulsi	350/1000	8000/11000	360° x 80°
Mensi (Trimble)	S25	Triangolazione	25	100	320° x 46°
	S10	Triangolazione	10	100	320° x 46°
	GS 200	Impulsi	350	5000	360° x 60°
	GS 100	Impulsi	150	3000	360° x 60°
Trimble	GX-3D	Impulsi	350	5000	360° x 60°
	GS 200 3D	Impulsi	350	5000	360° x 60°
Optech	ILRIS-3D	Impulsi	350/1500	2500	40° x 40°
Faro	LS 420	Diff. fase	20	120000	360° x 320°
	LS 840	Diff. fase	40	120000	360° x 320°
	LS 880	Diff. fase	80	120000	360° x 320°

Tabella 1.1

Possibilità di integrare fotocamere digitali

L'acquisizione delle prese fotografiche, necessarie per la realizzazione del modello triangolato mappato con la texture, può avvenire in tre modi differenti. La fotocamera infatti può essere interna allo scanner, esterna ma integrata al sistema laser scanner, oppure può essere una fotocamera

esterna utilizzata direttamente dall'operatore. Nel caso l'apparecchiatura possieda una fotocamera interna l'immagine digitale viene acquisita dal CCD interno allo strumento, contemporaneamente alla scansione. Generalmente, in questi casi, l'immagine acquisita presenta una qualità piuttosto bassa, a causa della limitatezza dell'apparecchiatura fotografica.



Figura 1.5: Camera Scanner



Figura 1.6: Panorama Scanner

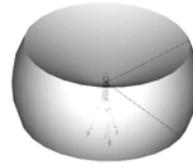


Figura 1.7: Scanner di tipo ibrido

Un'ottima soluzione adottata da alcuni produttori è invece quella di montare solidalmente una fotocamera alla testa dello scanner. Di questa fotocamera sono noti i parametri interni, la posizione, e distanza focale e puntamento vengono controllati dallo stesso software di interfaccia dello strumento. L'utilizzo di camere esterne necessita di software adatti alla riproiezione delle foto, ma permette di effettuare acquisizioni laser e fotografiche indigenti.

Facilità di trasporto

La praticità e la semplicità di trasporto dello strumento risultano essere fattori determinanti nel caso si debbano realizzare scansioni di zone difficilmente raggiungibili con adeguati mezzi di trasporto. Le principali caratteristiche di cui tener conto sono:

- peso e dimensioni dello strumento,
- resistenza ad urti e vibrazioni che possono verificarsi durante il trasporto.
- qualità della custodia fornita a corredo dell'apparecchiatura.

possibilità di utilizzare dispositivi di protezione dello strumento quando posto in stazione nella posizione di presa.

Software di acquisizione ed archiviazione dati

L'utilizzo dello strumento necessita di un'interfaccia software installata su PC. La sua qualità si può valutare considerandone le caratteristiche d'intuitività dell'interfaccia grafica e della scelta delle funzioni, nonché dalla serie di controlli che permette di effettuare sull'hardware:

- possibilità di avere una preview delle scansioni;
- possibilità di avere una stima del tempo di scansione;
- possibilità di lavorare contemporaneamente su finestre di presa a differente risoluzione;
- possibilità di acquisizione automatica dei target.



Figura 1.8: Fotocamera montata su laser a tempo di volo . Riegl 420i



Figura 1.9: Trimble GX 3D Scanner



Figura 1.10: Faro – LS 420



Figura 1.11: Z + F Imageg 5006



Figura 1.12: Leica Scan Station 2



Figura 1.13: Topcon GLS 1000



Figura 1.14: Optech ILRIS-3D

CAPITOLO 2 L'ACQUISIZIONE DELLA MISURA

2. L'ACQUISIZIONE DELLA MISURA

Il laser scanner (terrestre) è uno strumento topografico che permette di acquisire una grande quantità di coordinate spaziali in breve tempo. E' possibile quindi rilevare completamente le geometrie di un oggetto, rimandando la fase di elaborazione dei dati in ufficio, l'estrazione degli elementi caratteristici (i.e. spigoli) e la riduzione del rilievo laser ad elementi classificabili e rappresentabili attraverso un disegno CAD 2D o 3D (nel caso ad esempio di un edificio: porte, finestre). Tale approccio è sostanzialmente opposto al tradizionale metodo di rilevare, in cui viene fatta in campagna la scelta degli elementi essenziali del rilievo. L'approccio di rilevamento con laser scanner semplifica e velocizza le operazioni di rilevamento. Riduce, infatti, notevolmente i tempi d'acquisizione in campagna, rende possibile il rilevamento di geometrie complesse (elementi architettonici, strutture industriali, fronti rocciosi con geometrie distribuite) e riduce la possibilità di errori o dimenticanze durante l'acquisizione. La semplicità e velocità d'acquisizione non devono però far trascurare: i) la fase di progettazione delle **prese con laser scanner**, ii) un'adeguata **acquisizione d'immagini fotografiche** qualora si richieda la mappatura delle foto sul modello 3D, e iii) la corretta disposizione degli eventuali **target**.

In primo luogo vanno stabilite:

- 1) **tipologia di oggetto da rilevare**; dimensione dell'oggetto, luoghi per posizionare lo strumento, complessità geometrica dell'oggetto stesso vincolano la scelta dello strumento da utilizzare (per il rilevamento di una zona di frana si dovrà ad esempio valutare non solo la dimensione dell'oggetto da rilevare, ma anche dove posizionare lo strumento laser e quindi la portata necessaria, od ancora la necessità di stazionare per tempi brevi in luoghi pericolosi – impianti industriali, o edifici architettonici danneggiabili – vincoleranno i tempi d'acquisizione dello strumento).
- 2) **tipologia di risultato finale da ottenere**: è bene stabilire a priori qual è il risultato che si vuole ottenere dal rilevamento con laser scanner. Se ad esempio si intende ottenere una vista ortografica di una facciata di un edificio sarà opportuno acquisire la geometria della facciata stessa con prese il più nadirali possibili ed effettuare un'acquisizione fotografica posizionandosi circa nella posizione del laser scanner; questo per limitare le distorsioni delle immagini spalmate sul modello 3D ed aver un modello 3D della facciata con prese laser poco scorciate [si veda per dettagli il par.: 3.6 fase di estrazione dati (sezioni, ortofoto, DTM)].

Stabiliti e decisi i precedenti punti si può procedere alle specifiche fasi di progettazione del lavoro di scansione. In generale gli accorgimenti che si dovranno tenere per rilevare correttamente un oggetto sono i seguenti:

- 1) scansioni laser da più posizioni;
- 2) coordinate dei target posizionati all'interno dell'area rilevata o sull'oggetto da rilevare per garantire la geo-referenziazione dei dati laser o permettere la loro unione;

immagini digitali (o digitalizzate) da camere digitali (o analogiche) calibrate o non calibrate, dove sia necessario avere informazione di colore sulla geometria 3D.

2.1. PROGETTAZIONE DEI PUNTI DI PRESA: SCANSIONI LASER 3D

La fase di progettazione delle scansioni è determinata da 2 fattori principali:

- 1) L'oggetto da rilevare: la tipologia d'oggetto da rilevare vincola non solo la tipologia di scanner laser da utilizzare ma anche la strategia di acquisizione. Volendo schematizzare le tipologie d'oggetti rilevabili si possono distinguere:
 - a. Oggetto convesso chiuso: rilevato dall'esterno (edificio, statua, ciminiera); richiede di muoversi attorno all'oggetto per vederne ogni sua porzione.
 - b. Oggetto concavo chiuso: rilevato dall'interno (interno di una stanza, galleria, interno di una fabbrica); richiede di muoversi all'interno dell'oggetto garantendo di acquisire tutte le zone d'ombra. Un laser a vista a 360° può in questo caso ridurre notevolmente il numero di scansioni da rilevare.
 - c. Oggetto concavo o convesso aperto: si vuole schematizzare il caso d'oggetti quali cave, frane, linee viarie o facciate di edifici. E' in questo modo necessario muoversi "parallelamente" all'oggetto garantendo di sovrapporre tra loro una vista e la successiva per rilevare il completo andamento dell'oggetto stesso.
- 2) Angolo di vista dello strumento laser: la scelta del numero di scansioni è innanzitutto vincolata dall'angolo di vista dello scanner. Uno scanner con angolo di vista fisso (es. 40° x 40°) determinerà ad esempio un tipo d'acquisizione laser simile a quello di un fotografo che si muove in una stanza e che con un obiettivo grand-angolare (1/28) cerca di riprendere tutti gli elementi. Con un laser rotante il paragone fotografico si avvicina a quello di realizzare una foto panoramica (vedi figura cap1). Nella figura 2.1 vengono schematizzate alcune tipologie di oggetto e le possibili viste con lo scanner. Per semplicità si è adottato un tipo di vista laser ad angolo fisso, più vicina alla modalità che l'occhio umano ha di osservare un oggetto.

Nella figura 2.1 vengono schematizzate alcune tipologie di oggetto e le possibili viste con lo scanner. Per semplicità si è adottato un tipo di vista laser ad angolo fisso, più vicina alla modalità che l'occhio umano ha di osservare un oggetto. La fase di progettazione deve quindi generalmente prevedere un sopralluogo dell'area da rilevare. Solo un'accurata raccolta fotografica, che simuli ad esempio i punti di presa dello scanner, può aiutare a capire come progettare le scansioni, in caso non sia possibile un sopralluogo preventivo. Sulla base del tipo di oggetto e della modalità di unione e georeferenziazione delle scansioni, si sceglie normalmente il tipo di laser o la modalità di acquisizione. Ogni tipologia di rilevamento avrà aspetti particolari, da risolvere caso per caso, ma è possibile fornire dei criteri generali per progettare le fasi di scansione:

1. Riduzione di ombre e occlusioni: la posizione dello scanner va scelta in modo da garantire la maggior visibilità dell'area da rilevare riducendo i fenomeni d'ombra dovuti alla presenza di oggetti, sotto squadri, ecc.. In questo senso è opportuno ridurre al minimo la presenza di ostacoli che creino ombre sull'oggetto. Per essere sicuri di aver ridotto al minimo le zone d'ombra è particolarmente utile utilizzare la strategia di "preregistrare" le scansioni in loco. Come si vedrà nel capitolo 3, è possibile unire le scansioni tra loro senza l'utilizzo di target. La prima parte di tale procedura consiste "nell'avvicinare manualmente" una scansione all'altra utilizzando dei punti comuni nelle zone di sovrapposizione delle scansioni. Questo veloce sistema se svolto in campagna permette già di verificare con buona approssimazione dove rimangono zone d'ombra ed eventualmente realizzare nuove scansioni per garantire la completezza dell'acquisizione.

2. Angolo d'acquisizione: la qualità di punti 3D rilevati dal laser scanner è in funzione anche dell'angolo con cui il raggio laser incide sulla superficie da rilevare. Se l'angolo di incidenza è troppo elevato può accadere che il segnale di ritorno non sia corretto o addirittura non venga effettuata la misura (Nella figura 2.4 si possono osservare alcuni punti affetti da rumore rilevati con un elevato angolo di incidenza). Una vista "nadirale" (frontale) dell'oggetto migliora la qualità del modello finale sia per quanto riguarda la fase di creazione del modello triangolato che la fase di "mappatura" di immagini 2D sul modello.

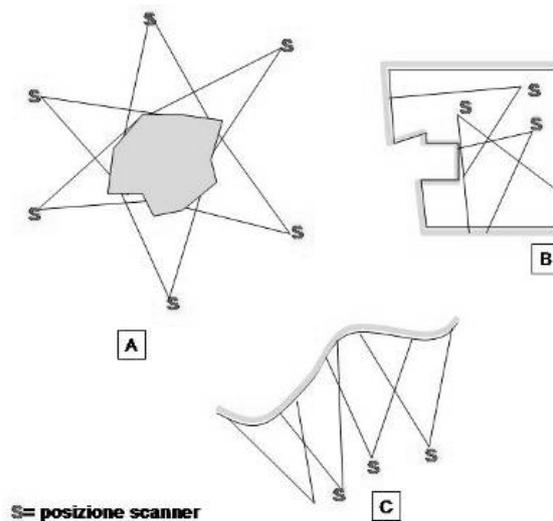


Figura 2.1

3. Buona sovrapposizione tra le scansioni: questo criterio risponde essenzialmente a 2 esigenze: i) garantire completezza del rilevamento (evitare ombre, occlusioni), ii) garantire una buona unione delle scansioni nel caso in cui si utilizzi una metodologia di unione senza l'uso di target (si veda capitolo 3).

4. Risoluzione omogenea delle scansioni: questo per garantire un'omogeneità geometrica del rilievo laser scanner sia in termini di accuratezza nella misura della distanza, che di "densità" della nuvola di punti 3D.

Per garantire un'omogeneità in termini d'accuratezza è opportuno posizionare lo scanner ad una distanza mediamente costante rispetto alla parte di interesse da rilevare. L'accuratezza geometrica della misura con laser varia, infatti, al variare della distanza del sensore dall'oggetto. Il passo di scansione permette di decidere la densità di punti 3D con cui voglio descrivere l'oggetto da rilevare. Generalmente gli scanner permettono di gestire questa quantità che comunque varia al variare della distanza dell'oggetto dal laser scanner. In altre parole, fissato il passo di scansione, un oggetto più lontano dal punto di presa sarà descritto con un numero di punti minore rispetto ad un oggetto vicino. Questo implica che la scelta del passo di scansione andrà decisa sulla base della distanza media dell'oggetto dallo scanner, in modo da ottenere un rilievo costituito da una serie di scansioni con precisioni omogenee.

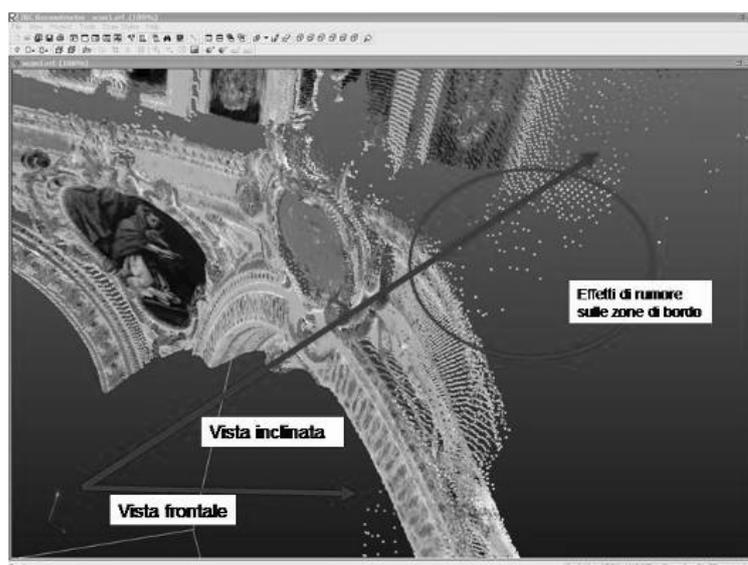


Figura 2.4 si possono osservare alcuni punti affetti da rumore rilevati con un levato angolo di incidenza

I software d'acquisizione dati collegati ai laser scanner (si veda capitolo 1) generalmente prevedono una interfaccia che permette di:

- calcolare e fissare una distanza media dal punto di scansione dell'oggetto da rilevare
- fissare il passo di scansione (densità della maglia di punti da rilevare). Questo valore è espresso generalmente in mgon (milligon), cioè in porzioni di angolo tra un spot laser ed il successivo.

Noti questi 2 valori (distanza, passo angolare), attraverso semplici calcoli trigonometrici è possibile risalire al passo di scansione in metri (PS) e, nota la velocità di scansione in punti (VS) al secondo, stimare il tempo di scansione (TS) in minuti. PaS sta per passo angolare

$$PS = [PaS \text{ mgon}] / 200 \times (\pi) \times (\text{distanza in metri})$$

Supponendo di dover scansionare una sfera di 360° x 360°:

$$TS = [400 / PaS \text{ in mgon}] * [200 / PaS \text{ in mgon}] * (\text{punti per secondo}) / 60$$

5. Visibilità dei target

Un criterio importante per la scelta delle posizioni di scansione è la visibilità dei target da utilizzare per la geo-referenziazione delle scansioni o la loro unione. Come illustrato nel capitolo 3(paragrafo 3.2 fase di allineamento e geo-referenziazione) le modalità per procedere ad unire le scansioni sono molteplici. Se si decide di riferire ogni scansione ad un sistema di riferimento univoco, da ogni punto di scansione dovranno essere visibili almeno 3 target ben posizionati (per la posizione dei target si rimanda al par. 3.2). Se si procede unendo le scansioni senza l'uso dei target e a posteriori si utilizzano per la geo-referenziazione le coordinate di target o punti di controllo sull'oggetto, si dovrà comunque garantire la visibilità dei almeno 3 target (o punti di controllo) dall'insieme delle varie viste. In altre parole, se la buona sovrapposizione delle scansioni garantisce l'unione di tutte le scansioni senza l'uso di target, almeno 3 target (o punti di controllo) ben posizionati dovranno essere visibili all'interno del modello generato. Come si vedrà nel par. 3.2 alcuni sistemi d'unione delle scansioni, proposti dai produttori di laser scanner, permettono di valutare a priori se il punto di scansione è ottimale rispetto alla posizione di una rete di target. In questo caso si può procedere creando a priori una rete topografica sui vertici della quale posizionare i target, quindi fissare lo scanner nel punto che minimizza l'errore di allineamento rispetto ai punti fissati.

Una metodologia che automaticamente cerca di combinare tutti questi fattori minimizzando il numero di passaggi è stata sperimentalmente testata per sistemi robotizzati. Ma risulta sicuramente di difficile generalizzazione e richiede spesso una approssimata conoscenza a priori della geometria dell'oggetto, per veicolare il processo di minimizzazione del

numero di prese laser da effettuare per rilevare completamente l'oggetto. Queste metodologie suggeriscono comunque che può risultare molto utile, in fase di progettazione delle prese, avere una mappa approssimativa dell'oggetto stesso, in particolare per oggetti complessi quali edifici con molti vani o gruppi di edifici o impianti industriali.

2.2. L'ACQUISIZIONE DI IMMAGINI

Lo scanner laser acquisisce 2 tipi d'informazione: la posizione nello spazio del punto rilevato (punti 3D) e un valore di riflettanza, perciò la risposta in intensità dell'oggetto colpito dal raggio laser. Questa informazione di riflettanza può essere vista come un'immagine 2D (generalmente in toni di grigio), automaticamente "mappata" sulla nuvola di punti (o sul relativo modello triangolato) (Si veda la definizione di range scan nel capitolo 1). La possibilità di applicare con un processo fotogrammetrico altre immagini 2D sulla geometria 3D rilevata con scanner laser, permette di aumentare ulteriormente il contenuto informativo del rilevamento laser scanner poiché:

- i. Semplifica la visualizzazione del rilievo laser scanner rendendo le scansioni più vicine alla sensibilità dell'occhio umano nell'osservare un oggetto. La nuvola di punti 3D o il modello triangolato da essa estratto risultano infatti di più facile interpretazione se viene sovrapposta ("spalmata") una immagine fotografica a colori.
- ii. Permette di aggiungere informazioni tematiche che semplificano le operazioni di misura e l'estrazione di elementi geometrici sul modello 3D. L'individuazione di dettagli geometrici, l'analisi di superfici pittoriche, o l'analisi e la quantificazione di lesioni superficiali sono solo alcuni esempi delle informazioni che si possono ricavare grazie all'associazione di foto e geometria.
- iii. Permette di estrarre viste ortografiche 2D dal modello 3D. Noto il modello 3D dell'oggetto e associato ad esso l'informazione fotografica, è possibile fissare un punto di vista ortografico all'oggetto stesso ed estrarne l'ortofoto.
- iv. Permette di combinare tra loro informazioni spettrali (Visibile, Infrarosso, Infrarosso termico) posizionandole correttamente nello spazio. Al modello geometrico 3D possono essere riferite più informazioni di colore: l'informazione di riflettanza è normalmente assimilabile ad una ripresa nell'infrarosso vicino, perciò sensibile alle variazioni di umidità o alle differenze tra materiali; la sovrapposizione di immagini digitali garantisce una analisi delle superfici nel visibile; l'utilizzo di camere termiche può aggiungere ulteriori informazioni sulla localizzazione di dispersioni termiche.
- v. Permette di modificare le immagini 2D ed effettuare simulazioni sulle caratteristiche superficiali di un oggetto. E' ad esempio possibile creare un modello 3D di un edificio simulandone l'aspetto prima e dopo le fasi di restauro.
- vi. Permette di creare modelli 3D foto-realistici per prodotti multimediali, visite virtuali o animazioni 3D.

Per ulteriori dettagli circa le modalità di "spalmatura" di immagini 2D sulla geometria 3D, la risoluzione delle immagini consigliata e i vari esempi

applicativi si veda il paragrafo 3.2 fase di mappatura delle foto. Per garantire un buon risultato nella fase di mappatura delle immagini 2D sul modello 3D e ridurre i tempi di questa fase del processo d'elaborazione, si riportano di seguito alcuni suggerimenti pratici. Si tenga in generale presente che questa fase è basata su principi di fotogrammetria, valgono quindi le indicazioni generali per un rilievo fotogrammetrico. Nel caso in cui parte di acquisizione fotografica sia di fondamentale importanza (restauro di affreschi, analisi stratigrafiche) è conveniente appoggiarsi a fotografi professionisti specializzati in foto per documentazione e attrezzati con apparecchiatura professionale.

1. Buona qualità delle immagini: in generale la buona qualità delle foto acquisite è la miglior garanzia di un buon risultato finale nel processo di mappatura delle foto. Le immagini che riprendono l'oggetto rilevato devono avere caratteristiche di luminosità e contrasto omogenee tra loro e adeguate ad individuare i particolari d'interesse. Il software di elaborazione delle immagini prevede un processo di mosaicatura di più immagini, di bilanciamento automatico delle immagini e di riduzione delle differenze nelle zone di sovrapposizione. Tale processo necessita comunque di una buona omogeneità tra le varie immagini 2D in modo che i processi di bilanciamento e fusione possano convergere. Di seguito cercheremo di fornire alcune indicazioni generali sulla modalità di acquisizione delle immagini per ottenere più facilmente immagini di buona qualità.

Se si opera in interni, durante le fasi d'acquisizione delle foto, è necessario evitare problemi di sovraesposizione e sottoesposizione. Particolare attenzione va posta alla presenza di finestre o vetrate che possono creare riflessi o sovra/sottoesposizioni. In particolare se si opera con camere digitali è possibile che un'intensa fonte luminosa saturi i CCD della camera (si vedano i 2 esempi sotto riportati).

La presenza di finestre che provochino effetti di ombre e riflessi non desiderati può rendere vantaggiosa una acquisizione fotografica in ore notturne utilizzando un'illuminazione artificiale, oppure acquisire durante le fasi della giornata in cui minore sia l'effetto di luce diretta da aperture verso l'esterno, od ancora sfruttare giornate con copertura nuvolosa e luce diffusa. In interni è conveniente operare senza l'utilizzo di flash che possono provocare ombre non controllabili. In questo senso è conveniente operare con camera su cavalletto e lampade artificiali che illuminino in modo uniforme e diffuso il cono visivo della foto-camera, in modo da ridurre le ombre rispetto al punto d'acquisizione della foto. L'uso del cavalletto risulta particolarmente importante se si utilizzano camere digitali; l'instabilità della presa genera immagini di cattiva qualità che spesso si evidenziano solo visualizzando le immagini a schermo. Si veda ad esempio l'effetto dovuto alla scarsa illuminazione e alla mancanza di cavalletto nell'immagine di sinistra, rispetto alle stesse condizioni di presa ma adottando un cavalletto (destra).

Se si opera in esterno la fonte di luce principale è generalmente quella solare. Vanno quindi controllati gli effetti d'ombre generate dal sole che interagisce con l'oggetto da rilevare al passare del tempo. In questo senso può essere utile acquisire immagini 2D in giornate di cielo nuvoloso, con luce solare diffusa.

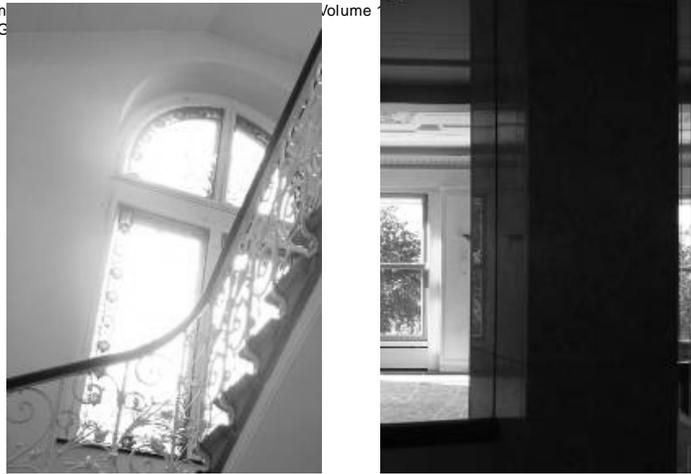


Figura 2.6: Effetti di saturazione per sovraesposizione e effetti di sotto esposizione in zone di finestre

Attenzione va posta in modo particolare nelle tempistiche di acquisizione delle foto. In esterni può essere conveniente effettuare tutte le acquisizioni fotografiche nella medesima condizione di luce sull'oggetto. Per questo motivo è bene fissare a priori dove effettuare le scansioni e quindi dalla posizione approssimata di scansione (si veda l'indicazione numero 3, successivamente descritta) acquisire le foto in un lasso di tempo che garantisca le stesse condizioni luce. Si ricorda a questo proposito che i tempi di scansioni e quelli di acquisizione fotografica possono essere non coincidenti se si utilizzano foto-camere indipendenti dal laser scanner. Nel caso ad esempio di una facciata di edificio estesa e ben illuminata dal sole durante una fase della giornata è bene acquisire le foto che coprono la facciata nello stesso periodo di tempo senza attendere di spostare il laser da una posizione alla successiva. Nel caso ad esempio di un oggetto cilindrico (torre, colonna) se la luce del sole è diretta, conviene fotografare ogni settore dell'oggetto girando attorno ad esso al variare dell'angolazione del sole e controllando i parametri di esposizione durante le fasi della giornata.

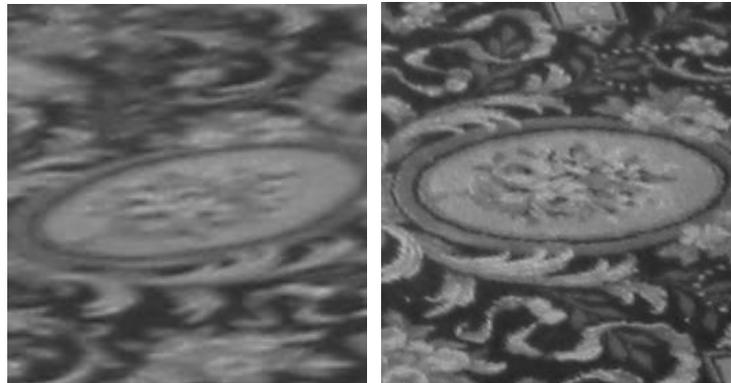


Figure 2.7: Due immagini acquisite con le stesse condizioni senza (a sin.) e con (destra) l'uso del cavalletto.

Le immagini 2D possono essere elaborate dal punto di vista radiometrico (luminosità, contrasto, saturazione) prima di effettuare la riproiezione su modello 3D; è importante non modificare le dimensioni delle immagini e, nel caso di scansione da foto analogiche, fare attenzione alla planarità dello scanner per non introdurre deformazioni delle immagini che non possono essere recuperate durante il processo di calibrazione e riproiezione delle immagini.

2. Lunghezza focale (autofocus): il processo che permetta di “spalmare” l’informazione fotografica sul modello 3D, comporta 2 fasi: calcolo di parametri di calibrazione interni ed esterni, fase di riproiezione della immagine sulla geometria 3D (si veda per dettagli capitolo 3). Il processo di calcolo dei parametri interni richiede di conoscere le coordinate 3D (derivate dalle scansioni stesse) di punti visibili sulle foto. E’ possibile utilizzare camere fotografiche pre-calibrate o calibrare personalmente la propria camera (vedi Cap. 3). Questa opzione permette un risparmio di tempo durante le fasi di elaborazione dei dati e generalmente risultati migliori. Tra i parametri di calibrazione interna va fissata la lunghezza focale della camera. Se pertanto si pre-calibra la camera per una certa lunghezza focale è necessario acquisire le foto con la medesima lunghezza focale. Se è necessario acquisire foto con diverse lunghezze focali (foto di dettaglio, ecc) si potrà eventualmente avere diversi parametri di calibrazione per le diverse lunghezze focali. In questo senso per le camere digitali va ricordato di escludere (se possibile) la funzione di autofocus che modifica per ogni fotogramma la lunghezza focale.



Figura 2.8: facciata di edificio con luce diffusa e ridotti effetti di ombra



Range scan 3D



Riflettanza



Immagine 2D (corretta)



Figura 2.10: Immagine 2D (non corretta)

3. Campo di vista dell'inquadratura fotografica: nell'acquisizione fotografica va tenuto conto che il processo di calibrazione e riproiezione delle immagini 2D sul modello 3D richiede la selezione di un numero sufficiente di punti 3D riconoscibili sulle immagini 2D. Tali punti devono essere distribuiti in modo adeguato su geometrie non complanari all'interno dell'immagine. Questa osservazione indica che può risultare difficile (se non fotogrammetricamente impossibile) ri-proiettare immagini di dettaglio in cui vi siano pochi elementi geometrici riconoscibili o localizzati su un unico piano. Nella figura 2.11 la complanarità tra rilievo 3D e foto costringe alla scelta di una grande quantità di punti che devono il più possibile essere distribuiti sulla geometria 3D.

2.3. IL POSIZIONAMENTO DEI TARGET E LA MONOGRAFIA DEI PUNTI D'INTERESSE:

Durante la fase di acquisizione dei dati laser può essere necessario posizionare dei target "visibili" dal sensore. I target possono essere di diverse tipologie, i costruttori generalmente suggeriscono alcune tipologie di target artificiali (specificando forma, dimensione, e materiale con cui sono realizzati) tali caratteristiche garantiscono che i target possono essere individuati in modo automatico dai software d'acquisizione dati forniti con lo strumento laser. Nelle figure 2.12 a, b, c sono visualizzati alcuni target forniti dai produttori di laser scanner (figura 2.12 a mostra come il target viene rilevato dallo scanner, la b un cilindro retro-riflettente) o costruiti appositamente (figura 2.12 c) in base alle caratteristiche del laser (portata, lunghezza d'onda).

Se non è possibile posizionare target artificiali è possibile utilizzare elementi riconoscibili sull'oggetto scansionato (figura 2.15).

Sia nel caso di target artificiali che di elementi riconoscibili, è necessario che si possa determinare la posizione di centro target con precisione, attraverso strumentazione topografica tradizionale. In alcuni casi è possibile misurare direttamente il centro del target fornito dal costruttore attraverso una stazione totale, in altri casi si può sostituire il target con un

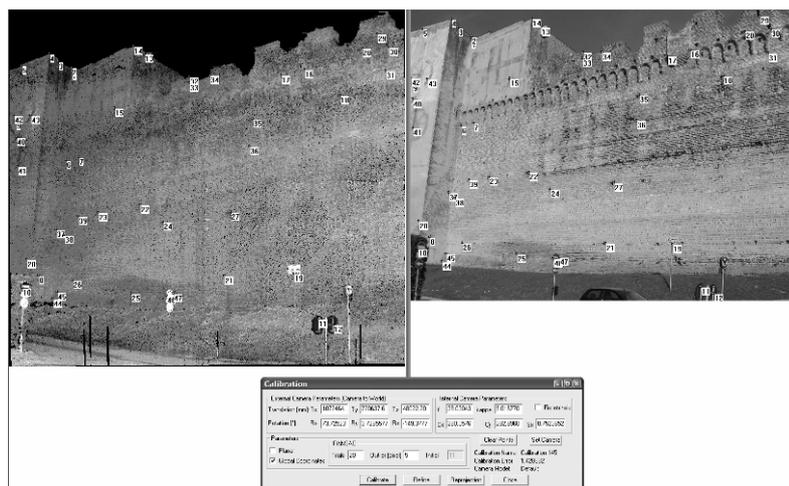
prisma misurabile da una stazione totale o con un'antenna GPS (figura 2.12). Se con la strumentazione topografica non si misura direttamente il target laser, va calcolato l'off-set tra centro target e centro di misura (prisma o antenna GPS).

Generalmente è possibile effettuare delle scansioni locali ad alta risoluzione in corrispondenza di target in modo che risultino descritti da un numero molto elevato di punti e la posizione del centro (a cui viene associata la coordinata nota) sia ben individuabile.

Nella scelta di elementi riconoscibili nella scansione è utile visualizzare il dato di riflettanza acquisito dal laser e sulla base di questa immagine 2D scegliere quali elementi siano visibili e misurabili anche con strumentazione topografica. La scelta d'elementi piani (macchie, dipinti, cambi d'intonaco) per individuare punti di riferimenti é migliore della scelta di discontinuità spaziali (spigoli, fori) dove il laser scanner può avere problemi di rumore e l'accuratezza nella determinazione di tali punti è fortemente dipendente dal passo di scansione utilizzato.

L'utilizzo dei target risponde alle seguenti esigenze:

- unire le scansioni tra di loro sulla base di target visibili tra una scansione e l'altra;
- geo-riferire una o più scansioni rispetto ad un sistema di riferimento esterno e quindi poter roto-traslare ciascuna scansione in un unico sistema di riferimento;
- qualora la sovrapposizione tra scansioni sia adeguata si può procedere anche senza l'uso di target ed utilizzare i target per geo-riferire l'intero modello ottenuto con l'allineamento automatico delle scansioni.



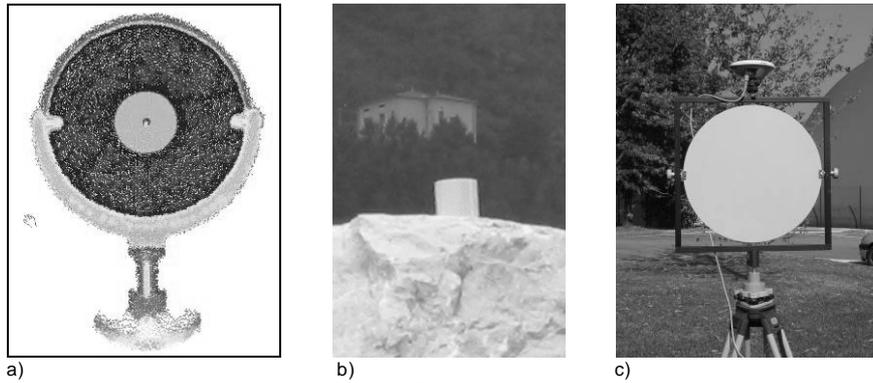


Figura 2.12

La modalità a) implica che almeno 3 target siano visibili all'interno di ciascuna scansione e che gli stessi siano visibili contemporaneamente tra le due scansioni; nei caso b), se si opera roto-traslando ciascuna scansione, da ogni punto di scansione devono essere visibili almeno 3 target a coordinate note. Se (caso c) i target servono solo a posteriori per georiferire l'intero modello ottenuto allineando le scansioni senza l'uso di target, sarà sufficiente che almeno tre target siano visibili all'interno dell'intero modello 3D (per dettagli si veda anche il Capitolo 3.2 – fase di allineamento e geo-referenziazione).

Queste tre modalità sono state schematizzate nella figura 2.14 e come si vede le diverse modalità implicano una differente organizzazione del lavoro in campagna.

Nel caso a) il numero di target da posizionare è maggiore ma non è necessario che gli stessi target siano contemporaneamente visibili da più scansioni, condizione necessaria del caso b) in cui i target vengono usati come punti comuni tra 2 scansioni per effettuare l'allineamento. Nel caso c) non vengono posizionati target per unire le varie scansioni; l'unione tra una scansione e l'altra avviene "avvicinando" le 2 in base da elementi visibili nelle zone comuni e attraverso un processo iterativo che migliora questo allineamento approssimato. In questo caso i target servono solo a posteriori per portare l'intero modello da un sistema di riferimento locale ad un sistema georiferito.

Comunque si decida di procedere è fondamentale studiare il corretto posizionamento dei target per garantire:

- la visibilità dai punti di scansione;
- una distribuzione spaziale adeguata; 3 target allineati rispetto al punto di scansione non permettono di effettuare correttamente la roto-traslazione della nuvola di punti;

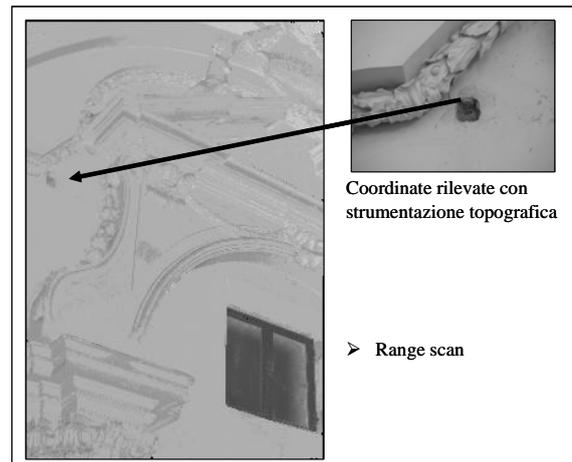


Figura 2.13

- una distanza dal punto di scansione che permetta da un lato di scansionare i target ad una medesima risoluzione e dall'altro che rispetti una adeguata distribuzione spaziale dei target stessi. Un target posizionato molto lontano dallo scanner può non essere scansionato con un numero sufficiente di punti che permettano di determinarne il centro con precisione. Un target molto ravvicinato non risponde all'esigenza di una corretta distribuzione. Un errore minimo nell'individuazione di tale target potrà causare errori di posizionamento elevati a grande distanza;
- misurabilità con strumentazione topografica classica, quindi visibilità dai punti di misurazione con strumentazione classica o, nel caso si utilizzi il GPS, attenzione a possibili zone d'ombra.

La fase di progettazione e realizzazione del rilievo in campagna deve perciò prevedere:

- il corretto posizionamento dei target in base alla visibilità dalle posizioni di scansione e di misurazione con strumentazione topografica. Nel caso si operi in ambito territoriale ed i target siano posti a grande distanza può essere utile garantire la visibilità a distanza dei target segnalizzandoli con elementi visibili. In questi casi è utile dotarsi di un binocolo esterno che aiuti la ricerca del target (questo in particolare per scanner in cui la scansione del target avviene selezionando l'area da scansionare grazie a binocoli posti sulla testa degli scanner stessi);
- creazione di una rete topografica o collegamento ad una rete pre-esistente. Questa operazione richiede come indicato in precedenza la misurabilità dei target con strumentazione topografica classica e la possibilità di collegare i target alla rete topografica;
- creazione della monografia della posizione dei target per facilitare le operazioni successive di elaborazione.

2.4. La progettazione dello schema di acquisizione (scansione e foto)

Durante la fase di rilevamento i campagna è molto importante creare lo schema di acquisizione, sia delle scansioni che delle relative immagini 2D, e la posizione dei target rispetto ai punti di scansione. Se si possiede già una mappa schematica dell'area in cui vengono effettuate le scansioni è molto utile segnare su di essa le varie informazioni, altrimenti è opportuno crearsi un schema dell'area prima di iniziare i lavori.

Si suggerisce di segnare su tale mappa schematica:

- Posizione dello scanner durante le varie scansioni, adottando un numero progressivo per ogni punto di scansione (es. 100, 200, ecc)
- Posizione dei target, adottando un numero progressivo ed eventualmente un codice che distingua i target da punti di scansione e che indichi a quale (o quali scansioni) sono associati (t_101 per indicare che si tratta del target 1 visibile dalla scansione 1). Molto utile è posizionarsi in prossimità del punto di scansione e fotografare i target; questa documentazione fotografica faciliterà l'associazione del target alla propria coordinata, tanto più se si utilizzano elementi riconoscibili sull'oggetto (vedi figura 2.13).
- Codice delle immagini acquisite da ciascuna posizione. Se per esempio per una scansione sono state acquisite 10 immagini 2D, si può pensare di ordinarle secondo un codice che indichi a quale scansione si fa riferimento (cioè su quale scansione verranno "spalmate le foto") e un numero progressivo che distingua le vari immagini (F100_1 per indicare foto 1 riferita alla scansione 100). Se per ogni punto di scansione si effettuano fotografie a 360° nell'ottica di "colorare" l'intera scansione 3D, può risultare utile fissare univocamente il punto di partenza e direzione di ogni sequenza di foto rispetto al punto di scansione. Questa scelta semplificherà le fasi di mappatura di scansione perché risulterà più semplice trovare la corrispondenza tra il range scan e le immagini ad esso associate. Molto utile può risultare l'utilizzo dello strumento software di annotazione (in Figura 2.15 si illustra l'utilizzo dello strumento al fine di associare un range scan alle immagine 2D da mappare) per indicare direttamente sulla scansione sia la posizione dei target che quelli delle zone coperte da una determinata immagine. Questo metodo è particolarmente utile se si effettuano le acquisizioni fotografiche in tempi diversi da quelli della scansione e facilita la scelta dell'associazione target-coordinate e scansione-immagine (si veda esempio architettonico a fine capitolo). Può essere inoltre utile annotare l'orario della scansione, il passo adottato, le dimensioni della scansione (espresso in numero di righe e colonne, oppure in variazione di angolo di vista), le condizioni atmosferiche. Queste informazioni possono essere utilizzate per conoscere dati ancillari quali temperatura, umidità, ecc. al momento della scansione ed aiutare l'operatore nell'interpretazione del segnale rilevato o rilevare le cause d'anomalia del segnale. Nel caso ad esempio di rilevamenti territoriali d'aree glaciali, in cui interessi valutare la copertura nevosa delle superfici, i valori di riflettanza sono notevolmente influenzati dalle condizioni ambientali.

Analogamente per le foto è importante la conoscenza dei dati al momento della presa: lunghezza focale adottata, tempi e apertura del diaframma (se si opere manualmente), orario dell'acquisizione. Annotare il tipo di

lunghezza focale che si utilizza è molto importante per la fase di calibrazione della camera (capitolo 3). L'orario di acquisizione permette di valutare se le condizioni di luce sono quelle ideali ed eventualmente programmare nuove acquisizioni in tempi diversi.

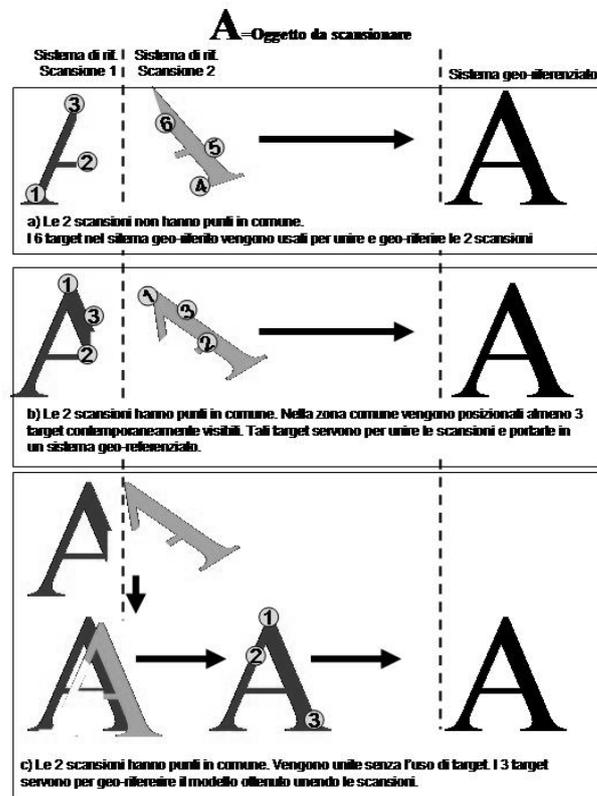


Figura 2.14

2.5. Alcuni esempi

Vengono successivamente illustrati 3 schemi di acquisizione laser scanner relativi a 3 applicazioni in ambiti diversi:

- Architettura
- Ingegneria (rilevamento tunnel)
- Ambito territoriale (rilevamento di un ghiacciaio)



Figura 2.15 l'utilizzo dello strumento annotation permette di associare un range scan alle immagine 2D da mappare ed organizzare in modo efficiente le successive operazioni di scansione.

Ambito architettonico: viene riportato lo schema di acquisizione di una architettura complessa (presenza di colonne, scale, soffitti complessi e decorati, rilevamento su più piani) che è stata rilevata con tecnologia laser scanner ai fini di ricostruire il modello tridimensionale completo con applicazione di immagini fotografiche. Lo scopo di tale rilevamento è duplice: i) documentazione dello stato di fatto prima della fase di restauro, ii) simulazione per la valutazione dei risultati attesi dopo il restauro. Tale architettura si sviluppa su 4 piani, la stanza visibile nella foto di figura 2.16 e nella relativa planimetria 2D di figura 2.17 costituisce il primo dei 4 piani. Nella planimetria 2D in blu sono indicati i punti di scansione scelti in modo da limitare le zone d'ombra. La scelta dei punti di acquisizione sono pensati per uno scanner con campo visivo a 360° (panorama scanner; si veda capitolo 1). In ambienti complessi come questo sarebbe comunque consigliabile selezionare i punti di scansione in modo iterativo. E' conveniente cioè effettuare alcune scansioni, quindi pre-allineare in loco le scansioni e verificare le zone d'ombra, quindi effettuare successive scansioni per completare il rilevamento. Tale approccio richiede una permanenza maggiore in situ ma garantisce una migliore completezza del risultato finale. Per ogni punto di scansione sono state acquisite mediamente 30 immagini 2D con camera digitale posizionata con cavalletto approssimativamente nella posizione di scansione. Le foto sono state acquisite sempre in senso orario partendo da una direzione costante e dal basso verso l'alto come schematizzato in figura 2.18. Nello schema di acquisizione (fig. 2.16) sono inoltre indicati in verde i target realizzati con fogli numerati e griglia bianca e nera. I target sono stati posizionati essenzialmente per permettere di riferire in un unico sistema di riferimento il modello realizzato unendo le scansioni di ciascun piano. La sovrapposizione tra scansioni all'interno di ciascun piano è sufficiente per unire le scansioni tra loro senza l'uso di target esterni, che si rende invece necessario per garantire l'unione tra modelli realizzati per ciascuno dei 4 piani.



Figura 2.16

Ingegneria (rilevamento tunnel): in figura 2.19 viene riportato lo schema di acquisizione per una galleria di diametro 8 metri. Lo schema è pensato per uno scanner rotante con campo di vista 360° (panorama scanner: si veda capitolo 1), con un range di acquisizione minimo di 25 m.

Le posizioni di scansione sono spaziate lungo l'asse della galleria di c.a. 25 metri. In tal modo l'angolo d'acquisizione per ogni punto di acquisizione non risulta essere troppo inclinato rispetto alle superfici della galleria. In rosso è evidenziata la zona utile per ciascuna scansione. In verde sono indicati le posizioni dei target posizionati su treppiede topografico e vincolati ad una rete topografica interna alla galleria. In questo caso è opportuno adottare target consigliati dalla ditta costruttrice di laser scanner che garantiscano la miglior individuazione del target da parte del sensore laser. Ogni scansione deve "vedere" almeno 6 target, che vengono utilizzati sia per la giunzione, sia per la geo-referenziazione delle vari scansioni. In strutture con sviluppo lineare considerevole (tunnel, strade, linee ferroviarie) è opportuno prevenire la propagazione d'errori unendo tra loro le scansioni. Per questo è necessario vincolare le scansioni rispetto ad una rete topografica realizzata all'interno della galleria.

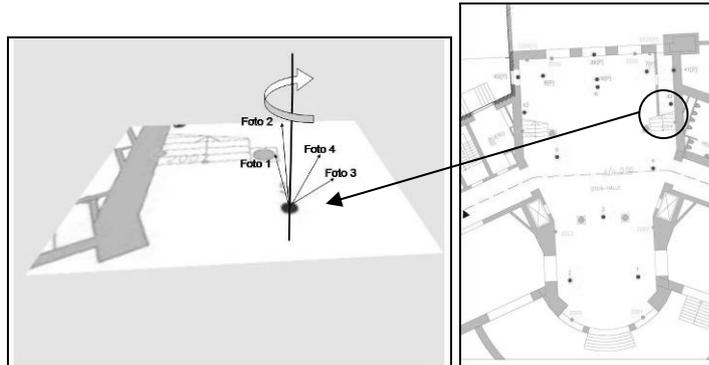


Figura 2.18

Figura 2.17

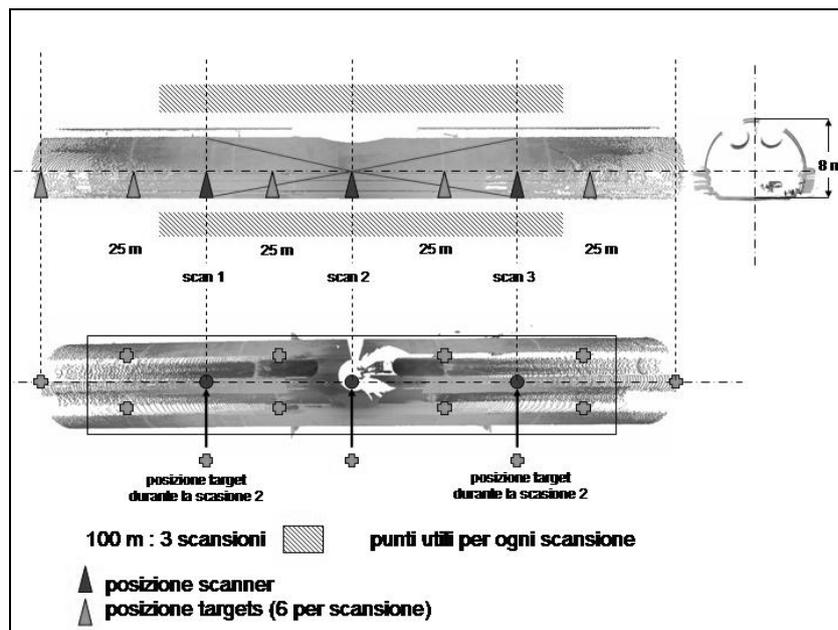


Figura 2.19

Ambito territoriale: in figura 2.20 viene riportata la foto relativa ad una zona di cava. La foto è stata acquisita da uno dei due punti di scansioni posti ad una distanza media dal punto rilevato di circa 500 m secondo lo schema di acquisizione riportato in figura 2.21 e 2.22.

Il rilevamento di questa zona di cava è finalizzato a:

- 1) creare un modello digitale del terreno (DTM) e la relativa rappresentazione cartografica aggiornata,
- 2) monitorare nel tempo le variazioni nella zona di cava.

I target di geo-referenziazione servono dunque per:

- 1) unire tra loro le scansioni ad una precisione maggiore di quella che può garantire la procedura senza target. Si ricorda infatti che la procedura di unione senza target può garantire una precisione di unione delle scansioni circa pari al passo di scansione adottato (per dettagli veder capitolo 3) e che in acquisizioni territoriali la densità di punti adottata è generalmente più bassa di quella utilizzata in ambito architettonico o ingegneristico.
- 2) geo-riferire le scansioni rispetto ad un sistema di riferimento univoco che garantisca il confronto nel tempo tra scansioni.

La posizione dei target è stata stabilita su base di 2 criteri:

- 1) minor interferenza con le aree di scavo. Per questo motivo sono stati posizionati al di fuori della zona principale di scavo e la loro posizione è stata rilevata con strumentazione GPS che garantisce maggior velocità di acquisizione delle coordinate e minor interferenza con il lavoro di scavo
- 2) posizionamento in zone stabili. Questo per garantire che successive scansioni dell'area possano essere confrontate correttamente con le precedenti.



Figura 2.20: La cava di Botticino in provincia di Brescia

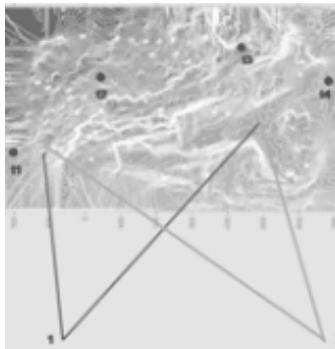


Figura 2.21

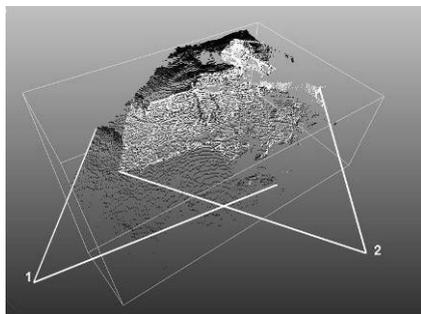


Figura 2.22

CAPITOLO 3 Elaborazione e restituzione dei dati

3. Elaborazione e restituzione dei dati

1. una singola posizione di scansione (vedi capitolo 1). Per ogni range scan sono generalmente note le dimensioni della matrice di acquisizione (cioè il numero di righe e di colonne impostati durante l'acquisizione), le coordinate x,y,z di ciascun punto battuto, le coordinate R, C (riga, colonna) che indicano la posizione di ciascun punto rilevato all'interno della matrice di acquisizione, il valore di riflettanza (generalmente tra 0 e 255) relativo a ciascun punto. Il formato dei file può essere binario (come ad esempio il formato .3dd per i software di gestione dati degli scanner Riegl) oppure ASCII (come ad esempio il formato .ptx degli scanner Leica Geosystem). A titolo d'esempio si riporta la struttura di un file di tipo ASCII. Il numero di righe e colonne viene normalmente definito quando si impostano i parametri di acquisizione dati. La matrice di punti finali conterrà sia i punti a coordinata misurata sia punti nulli in cui lo scanner non ha rilevato nulla. La posizione di riga e colonna è un dato ridondante solo se nel file ASCII sono presenti tutti i punti battuti anche quelli con coordinate nulle.

Se invece i punti a coordinate nulle non vengono esportati, per posizionare ciascun punto 3D nella corretta posizione all'interno della matrice di acquisizione è necessario conoscere le dimensioni della matrice ed i valori di Righe e Colonne. Il range scan rispetto alla nuvola di punti non strutturata consentirà nelle successive fasi di elaborazione di velocizzare molte operazioni di elaborazione e garantirà di avere sempre una vista 2D dei punti tridimensionali. Tra i rangescan acquisiti potranno essere incluse anche le scansioni di dettaglio dei target utilizzati per l'eventuale unione delle scansioni e la loro geo-referenziazione.

Numero righe	1342					
Numero colonne	1500					
	Righe	Colonne	x	y	z	Riflettanza
Dati	1	1	1.500	2.001	3.215	16
	1	2	3.100	1.265	2.509	120

2. Coordinate dei target: per l'eventuale unione delle scansioni e la loro geo-referenziazione viene determinata la posizione di alcuni target o punti ben riconoscibili dal laser scanner e viene creata una lista di coordinate 3D in un sistema di riferimento univoco.

3. Foto o immagini digitali: se si intende "mappare" le informazioni fotografiche sui modelli 3D rilevati con laser scanner è necessario acquisire e catalogare un numero sufficiente di immagini 2D

4. Schema d'acquisizione dati: la modalità di acquisizione dei dati laser, dei target e delle immagini, va documentata attraverso uno schema che descriva le fasi di campagna (vedi Capitolo 2).

Stima dei tempi di elaborazione:

Alla fase d'acquisizione dati seguono la fase d'elaborazione dei dati, la creazione del modello 3D, l'estrazione degli elementi caratteristici e la riduzione del rilievo laser ad elementi classificabili e rappresentabili attraverso un disegno CAD 2D o 3D. La procedura di restituzione dei dati rilevati con laser scanner segue un processo sostanzialmente opposto al tradizionale metodo di rilievo. Nei rilevamenti con strumentazione topografica tradizionale la scelta degli elementi essenziali da rilevare viene attuata in campagna, mentre con il laser scanner vengono rilevate tutte le caratteristiche geometriche dell'oggetto in tempi molto rapidi. Solo in fase di elaborazione si effettua la scelta degli elementi di interesse. Questo approccio semplifica le operazioni di rilevamento, riducendo notevolmente i tempi d'acquisizione dati in particolare per il rilevamento di geometrie complesse (elementi architettonici, strutture industriali, fronti rocciosi con geometrie distribuite). I tempi di elaborazione dipendono invece dal tipo di risultato che si vuole ottenere e vengono generalmente stimati da 5 a 10 volte superiori alla fase di acquisizione. La peculiare caratteristica degli scanner 3D di rilevare "completamente" l'oggetto abbinata ad un'opportuna fase di progettazione del lavoro in campagna garantisce però di poter svolgere tutte le successive operazioni senza dover tornare sul punto d'acquisizione.

Software d'elaborazione dati:

Generalmente ogni laser scanner è dotato di un software di acquisizione dati che permette di pilotare lo scanner, scegliendo i vari parametri dell'acquisizione, ed effettuare alcune operazioni di elaborazione che verranno trattate successivamente.

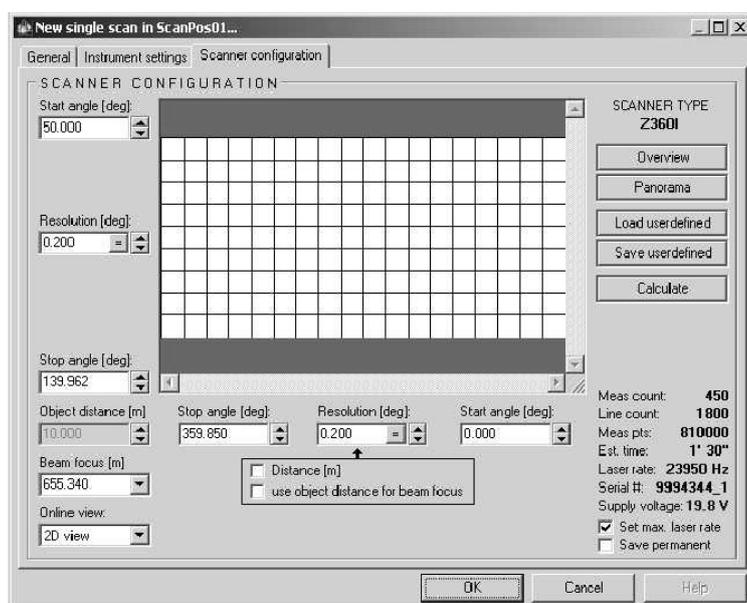


Figura 3.1: schermata per l'inserimento di parametri di acquisizione dei data laser

I software d'acquisizione dati collegati ai laser scanner (si veda capitolo 2) generalmente prevedono una interfaccia che permette di: i) calcolare e fissare una distanza media dal punto di scansione dell'oggetto da rilevare, ii) fissare il passo di scansione (densità della maglia di punti da rilevare). In figura 3.1 viene riportata a titolo d'esempio la schermata per l'inserimento di parametri di acquisizione dei dati per uno scanner Riegl.

Il software JRC 3DReconstructor® è stato scelto come base per descrivere i vari passaggi di elaborazione dei dati, per ogni fase di elaborazioni verranno indicate anche opzioni alternativa o complementari.

Tipologia di computer

Generalmente per la fase d'acquisizione dati viene utilizzato un computer portatile. Per questo computer la configurazione minima può essere: 256MB di RAM, lo spazio su hard disk disponibile deve invece essere dimensionato in base al numero di scansioni da rilevare e comunque non inferiore ad 1 GB. Per l'archiviazione dei dati raccolti si può optare per la masterizzazione di CD o DVD (in questo caso sarà probabilmente necessario prevedere dei momenti di standby nell'acquisizione) o ricorrere a dischi esterni di archiviazione, meglio se collegati con USB 2.0 (480 Mb/sec) o firewire (400 Mb/sec). Uno dei fattori limitanti per il computer utilizzato per l'acquisizione è l'autonomia. Generalmente per alimentare il PC in mancanza di corrente si può ricorrere a batterie esterne e collegare il portatile tramite trasformatore e stabilizzatore a 12-16 V (tipo con presa per accendisigari). E' consigliabile adottare i sistemi forniti dalle case produttrici che adottano regolatori opportunamente tarati. Si può anche utilizzare il normale trasformatore in dotazione per il collegamento alla rete, in questo caso si dovrà utilizzare un inverter per collegarsi ad una batteria esterna. La tipologia di computer necessaria per effettuare l'elaborazione dati deve poter garantire una adeguata gestibilità di grandi moli di dati con un configurazione minima consigliata è:

Sistema operativo richiesto:

Windows NT, 2000, XP

Caratteristiche hardware consigliate:

Scheda grafica OpenGL (raccomandato)

Mouse 3 tasti (obbligatorio)

Minimo 256MB di RAM, (1 GB raccomandato)

1 GB di HD libero e 1 GB di swap space.

La qualità della scheda video è importante per poter maneggiare facilmente modelli tridimensionali con informazione fotografica.

Per quanto riguarda la RAM è importante osservare che il sistema operativo Windows lavora 32 quindi la dimensione massima della RAM utilizzabile è $2^{32} = 4\text{GB}$. Questa quantità viene divisa dal sistema operativo in 2 parti: 2 GB per il kernel e 2 GB per i processi. Ciò significa che per ogni processo possono essere utilizzati al massimo 2GB di memoria virtuale (=memoria fisica se il computer ha sufficiente RAM). Nel caso del software JRC 3DReconstructor® – di seguito descritto- viene indicato un identificatore numerico nella barra di stato in basso (figura 3.2) che indica la memoria virtuale rimanente. Il valore iniziale è generalmente attorno ai 1.8 - 1.9 GB. Se il computer è dotato di minore memoria (per esempio 1 GB),

esistono ancora 1.8 GB di memoria virtuale ma il processo potrà non ricevere una risposta positiva alla richiesta di ulteriore memoria virtuale a causa di una insufficiente memoria fisica. Quindi un PC con 4 GB di RAM potrà essere solo parzialmente più performante perché la RAM effettivamente utilizzabile da software sarà al massimo di 2 GB.



Figura 3.2: indicatore della memoria virtuale rimanente per il software JRC 3DReconstructor

3.1. Fase di organizzazione ed importazione dei dati

Prima di importare i dati rilevati in campagna, all'interno del software JRC 3DReconstructor®, si richiede di definire e strutturare un progetto che sarà costituito da tutti i dati importati (range scan, foto, coordinate target) e da tutti i dati successivamente elaborati o estratti. Nell'ottica di organizzare in modo efficiente più modelli 3D, il software permette di gestire i vari modelli in un database.

Immaginando che il rilevamento laser sia rivolto ad una zona edificata composta da vari edifici, a loro volta suddivisi in stanze, il software permette di organizzare un "super project" che raggrupperà tutti gli edifici rilevati. All'interno del "super project" vengono inseriti i vari edifici "building". Dopo aver suddiviso il "super project" in edifici ("building"), ogni edificio può essere suddiviso in varie stanze ("room"), all'interno di ciascuna stanza viene definito il progetto (file con estensione *.3dv, in cui si può procedere con l'elaborazione dati laser e fotografici).

La struttura del database così organizzato viene archiviata in un file di testo tipo .xml come riportato sotto. In questo file vengono inseriti tutti i percorsi di archiviazione del "super project": edifici - stanze - progetto JRC 3DReconstructor®.

```
< DATABASE name= "C:\">  
< BUILDING name= "Reconstructor">  
< ROOM name= "stanza1">  
< PATH> .Reconstructor\stanza1\stanza1.3dv< /PATH>  
< DATE> 28/9/2004< /DATE>  
< AUTHOR> JRC< /AUTHOR>  
< NOTES />  
< /ROOM>  
< /BUILDING>  
< BUILDING name= "JrcSoft" />  
< /DATABASE>
```

Durante la creazione del progetto *.3DV ("room.3D") è possibile scegliere una configurazione di Default che suggerisce all'utente alcuni parametri che verranno successivamente adottati, sulla base del tipo di scanner che si sta utilizzando. Tali valori (per esempio range di misura, griglia tipica di scansione, etc.) potranno essere successivamente modificati dall'utente. Le configurazioni di Default possono essere caricate dalla directory

d'installazione del software (per esempio in: C:\Programmi\EC- JRC\JRC JRC 3DReconstructor®\DefaultCFG) entrando nella finestra Default Configuration e attraverso il tasto Browse, caricando il file di tipo *.3dv relativo allo scanner in uso).

Importazione dati:

Come già introdotto nel capitolo 2, alcune fasi di “elaborazione dei dati” possono iniziare durante la fase di acquisizione in situ (fase di pre-registrazione delle scansioni per verificare la completezza del rilevamento), riprenderemo ora le varie fasi di elaborazione dai primi passaggi.

Il progetto creato ad inizio lavori è suddiviso in cartelle:

nella cartella range vanno inseriti (tasto ds del mouse: Insert) i range acquisiti (formati: *.ptx, *.3dd, *.zfc, *.xyz, ASCII); nella cartella texture vanno inserite le immagini 2D (*.jpg, *, tiff, ecc.). Per i file molto grandi (per esempio *.zfc) in fase di importazione viene richiesto se si vuole generare subito LOD (Level of Detail: la generazione di questo tipo di file verrà successivamente illustrata nella fase di preprocessamento). Si tratta comunque di un metodo per riscrivere il file di range in modo che la sua visualizzazione risulti molto più rapida. Questa operazione può essere utile quando si hanno molti file di range da gestire ed in fase iniziale sia necessario visualizzarli contemporaneamente per capire come procedere.

Viene quindi richiesto di applicare un sub-sampling della scansione ad un passo regolare (cioè selezionando con passo regolare – ogni 16-8-4-2- i punti acquisiti, in base alla risoluzione richiesta per il modello finale e alla dimensione del range da importare).

Viene data inoltre l'opzione di caricare solo la riflettanza, cioè solo l'immagine 2D associata ai punti 3D. Ad esempio, per scansioni molto grandi (360° x 300°) si può procedere importando la sola riflettanza e da questa selezionare poi le zone di interesse da importare completamente alla risoluzione desiderata. Oppure procedere con scansioni importate ad una risoluzione media (sub-sampling di 8), su cui effettuare le operazioni di pre-processamento e registrazione. Quindi importare solo alcune porzioni di tali scansioni dove sia richiesta una risoluzione più elevata. Il

software potrà garantire che le porzioni importate ad alta risoluzione siano nello stesso sistema di riferimento di quelle a media (/bassa) risoluzione.

In questa fase è importante inserire nel progetto le scansioni complete suddivise per punto di acquisizione. Per garantire un miglior svolgimento delle operazioni di allineamento automatico delle scansioni e di mappatura delle immagini 2D è infatti opportuno avere a disposizione tutti i punti rilevati. Nel caso dell'allineamento la mancanza di punti potrebbe non garantire una ottimale unione tra le scansioni poiché potrebbero mancare punti che vincolino i gradi di libertà delle scansioni, per la mappatura della foto la ridondanza di punti può facilitare la fase di selezione dei punti comuni tra foto e scansioni per il processo fotogrammetrico di calibrazione e riproiezione delle immagini. Eventuali eliminazioni di punti a priori dai range acquisiti deve tenere conto di queste 2 necessità (per dettagli vedere paragrafi 3.3, 3.4, 3.5). Qualora l'unione delle scansioni sia già avvenuta con altri software si veda il paragrafo 3.3.

3.2. Fase di pre-processamento (filtraggio dati, calcoli preliminari)

La fase di pre-processamento (Preprocessing), deve essere effettuata subito dopo l'importazione. In questa fase preliminare vengono calcolati, per ciascuna scansione, alcuni parametri fondamentali per le successive fasi di elaborazioni.

Calcolo delle normali locali: per ogni punto 3D rilevato è possibile calcolare la giacitura del piano locale centrato su ciascun punto battuto dal laser scanner e che interpola i punti limitrofi nella griglia di acquisizione dei dati (si ricorda infatti che i principali laser scanner acquisiscono la nuvola di punti secondo una griglia regolare- si veda definizione di range scan nel capitolo 1). La dimensioni del piano locale che viene "aperto" attorno a ciascun pixel può essere deciso dall'utente selezionando il numero di pixel (corrispondenti ai punti 3D) da interpolare con il piano locale (Gradient). Nella figura 3.3 è indicato dove inserire tale valore che corrisponde al numero di pixel attorno al pixel centrale. Per esempio il valore 2 indica una finestra di 25 pixel.

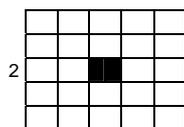


Figura 3.3

3.3. La conoscenza della direzione delle normali locali, costituisce di per se un'utile informazione. Ad esempio in applicazioni geologiche questa informazione è di fondamentale importanza per le analisi stratigrafiche o geomeccaniche.

3.4. Risulta inoltre importante per:

- i) la valutazione dei valori di confidenza per ciascuna scansione,
- ii) per la fase di integrazione, per la visualizzazione (il valore nella normale locale permette di conoscere come una determinata superficie viene vista dal punto di acquisizione dei dati)
- iii) per eventuali segmentazioni delle nuvole di punti 3D cioè per l'estrazioni di elementi caratterizzati da analoga disposizione geometrica nello spazio, iv) per la visualizzazione dei dati fissando la direzione da cui sono stati acquisiti (backface culling).

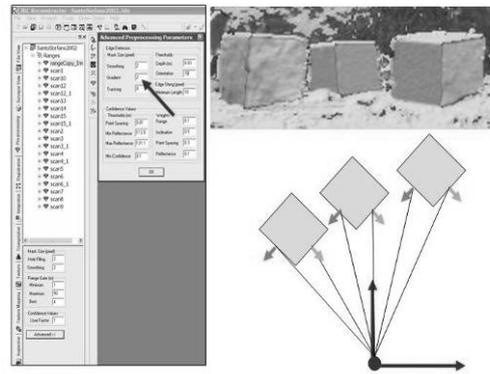


Figura 3.4 calcolo delle normali locali: parametri della finestra di calcolo e rappresentazione del risultato finale.

Calcolo dei valori di confidenza:

Per le successive fasi di elaborazione (unione delle scansioni, integrazione di varie scansioni) è importante conoscere l'affidabilità e la qualità dei dati raccolti. Il software permette di assegnare un peso ai vari fattori che influenzano la qualità dei dati laser rilevati e scartare punti che non superano le rispettive soglie impostate.

Distanza dell'oggetto d'interesse dal punto di scansione (Range Gate), passo di scansione (Pixel Spacing), dipendono soprattutto del tipo di laser utilizzato. La soglia legata al range (Range Gate) permette di escludere i punti troppo vicini o troppo lontani (Minimum, Maximum) e di decidere quali siano i punti acquisiti a distanza ottimale rispetto alle caratteristiche di precisione dello scanner e della distanza dello strumento dall'oggetto scansionato.

I valori di riflettanza (Min Reflectance, Max Reflectance) e angolo di inclinazione dell'oggetto rispetto al punto di scansione (Inclination), sono legati maggiormente alla tipologia di oggetto scansionato.

L'utente ha la possibilità di assegnare un peso diverso ad ogni singolo fattore e un peso generale che consenta di assegnare un valore complessivo maggiore ad una o più scansioni rispetto alle altre. Se ad esempio un scansione è troppo ravvicinata all'oggetto d'interesse e questo provoca rumore a causa del tipo di laser utilizzato, è possibile fare in modo che acquisti un valore più alto una scansione acquisita da più lontano (quindi idealmente con minor "punteggio") ma con minori effetti di rumore.

Nota bene1: i valori pre-assegnati dal software dipendono dal tipo di laser che si è scelto come configurazione di default nell'iniziare il progetto.

Nota bene2: i punti esclusi dalle scansioni (in rosso) non vengono cancellati ma viene assegnata loro la caratteristica di punti da non utilizzare nelle successive fasi. Per ripristinarne l'utilizzo sarà sufficiente ripetere il pre-processamento parziale (Compute Confidence Values)

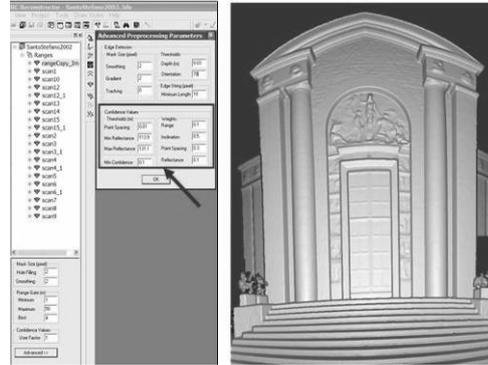


Figura 3.5 calcolo dei valori di confidenza, ai punti con “maggiore qualità” vengono assegnati valori di grigio più chiari

Estrazione delle linee di discontinuità: Le linee di discontinuità angolari indicano dove l'oggetto è caratterizzato da variazioni d'angolazione (i.e. spigoli). Il valore delle tipologie di angoli da rilevare va indicata in Orientation; il valore da inserire indica il valore minimo di angolo che viene cercato in automatico tra le normali locali di due punti adiacenti (vedi figura 3.6).

Se il valore è piccolo (2-3 deg) verranno individuate automaticamente tutte le minime variazioni superficiali dell'oggetto rilevato, scegliendo il valore massimo di 90 deg si estraggono in modo automatico solo “gli spigoli” a 90 gradi sulle superfici dell'oggetto.

Le discontinuità di distanza descrivono dove l'oggetto rilevato è caratterizzato da elementi lontani tra di loro (che giacciono su superfici diverse). Il valore (Depth) in metri indica lo spazio minimo tra 2 oggetti separati e dipende dalla tipologia di oggetto che si sta rilevando.

Le discontinuità angolari costituiscono di per se una prima vettorializzazione dell'oggetto rilevato in 3D e possono essere esportate come polilinee in AutoCAD (dxf); in fase di triangolazione serviranno per decidere dove mantenere le mesh alla massima risoluzione per non semplificare il modello dove la geometria varia molto (si veda paragrafo 3.6). Le discontinuità di distanza eviteranno l'unione di punti molto lontani tra loro (appartenenti ad oggetti diversi) in fase di triangolazione.

I valori Tracking e Minimum Length decidono rispettivamente in numero minimo di pixel (punti) contigui da controllare, e la lunghezza minima in pixel (punti) delle linee di discontinuità individuate accettabili. Anche questa fase del pre-processamento può essere effettuata più volte rilevando Edges rilevati con parametri diversi (costituendo ad es. Layer diversi in autoCAD).

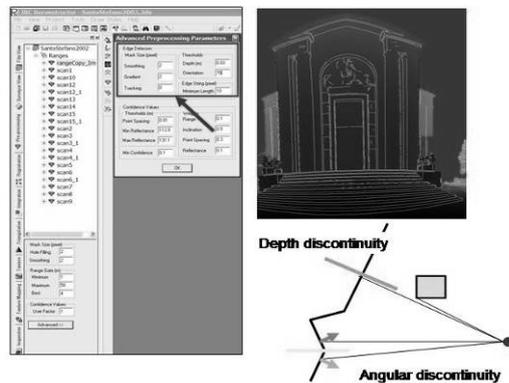


Figura 3.6: trazione automatica delle linee di continuità, angolari in colore giallo, di distanza in verde

Riduzione del rumore dei dati: i dati acquisiti con scanner laser sono affetti da rumore, che può dipendere da vari fattori (si veda Capitolo 1) e varia tra i diversi laser scanner. Generalmente sono affette da rumore scansioni d'oggetti molto vicini al punto di scansione o superfici coperte di polvere. Il software consente un semplice filtro lineare di cui l'utente può definire la dimensione della finestra (Smoothing) come il calcolo delle normali precedentemente descritto. Per i dati laser scanner un filtro non lineare potrebbe distinguere tra rumore in alta e bassa frequenza. Va messo in evidenza che filtraggio dei dati deve evitare che vengano modificate le misure rilevate senza un controllo adeguato.

Visualizzazione di grandi mole di dati (data clustering): La visualizzazione di grandi moli di dati tridimensionali è il maggior problema della tecnologia di rilevamento con laser scanner. I PC tradizionali attualmente in commercio sono in grado di visualizzare dinamicamente in tempo reale circa 1,5 milioni di punti 3D; ma nel caso di grandi moli di dati come per esempio in applicazioni di City Modelling, dove i modelli sono costituiti da decine di milioni di punti (figura 3.7, il software permette di riorganizzare i dati in modo gerarchico (e.g. Octrees or Binary trees) creando un nuovo file *.LOD (level of details) che risulta di rapida visualizzazione. 80 milioni di punti possono essere visualizzati su un computer portatile. Nella generazione del file LOD viene chiesto all'utente se "colorare" i punti 3D attraverso i valori di riflettanza, o valore di RGB, se sono già state mappate informazioni fotografiche sulla range scan.

La generazione del file di LOD può essere utile sia in fase iniziale di elaborazione dei dati, qualora sia necessario visualizzare molti dati per decidere la successiva strategia di elaborazione, oppure come prodotto finale quando, effettuate tutte le elaborazioni, si vuole fornire una nuvola di punti completa e facilmente "navigabile".

3.3. Fase di allineamento

Il processo di acquisizione dei dati laser (si veda Capitolo 2) richiede di rilevare gli oggetti da più posizioni in modo da ricostruire la completa tridimensionalità attraverso più scansioni.

Dopo l'acquisizione, le diverse viste devono essere roto-traslate in un unico sistema di riferimento: questo processo è detto allineamento delle scansioni o registrazione dalla traduzione del termine inglese Scan Registration. Esistono diversi metodi per allineare un set di scansioni ciascuno con vantaggi e svantaggi a seconda del tipo di rilevamento che si sta effettuando e dello scopo finale del risultato da raggiungere. Verranno analizzate principalmente 2 metodologie: i) registrazione con uso di target, ii) registrazione attraverso l'individuazione semi-automatica di punti comuni; mentre si darà un breve accenno al metodo basato sulla estrazione ed utilizzo di geometrie primitive (Feature-based registration).

Registrazione con uso di target

La registrazione con uso di target prevede il riconoscimento degli stessi inclusi nella scena scansionata. Esistono diverse tipologie di target: individuati in modo automatico, semi-automatico, o manuale all'interno delle varie scansioni, permettono di unirle tra loro e/o di geo-riferirle (si veda anche capitolo 2).

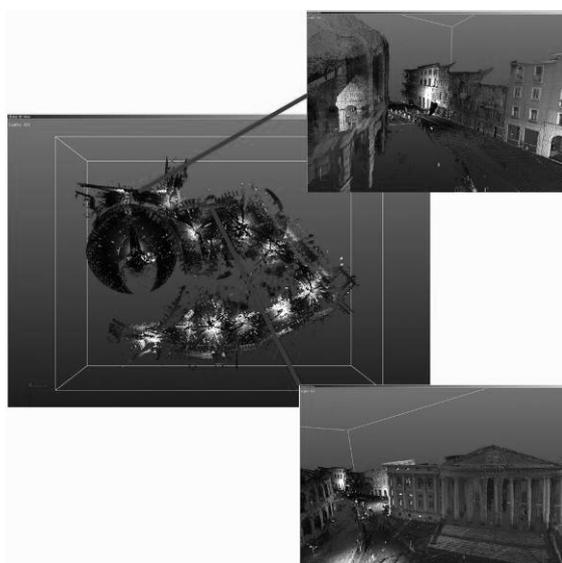


Figura 3.6: Lo strumento LOD permette di visualizzare ed interrogare i dati 3D di una intera piazza (c.a. 15 scansioni ad alta risoluzione) e di interrogare i dati fino all massimo dettaglio dei punti acquisiti

I target possono essere essenzialmente utilizzati in 2 modalità:

1) per unire tra loro 2 o più scansioni che abbiano in comune almeno 3 target (in questo caso non è necessario conoscere le coordinate dei target

in un sistema di riferimento univoco, i target vengono usati unicamente come punti di unione, ed una scansione viene utilizzata come sistema di riferimento per le successive);

2) geo-riferire una o più scansioni in un sistema di riferimento univoco (in questo caso è necessario conoscere le coordinate geo-riferite dei target ed ogni scansione - o gruppo di scansioni – deve contenere almeno 3 target a coordinate note.

A titolo d'esempio si descrivono 2 procedure di allineamento e geo-referenziazione di scansioni relativamente ai sistemi di scansione A) Cyrax-Leica, e B) Riegl

Sistema A)

Questo sistema di allineamento e geo-referenziazione funziona in 2 passi: i) allineamento tra scansioni attraverso almeno 3 target comuni, ii) geo-referenziazione di più scansioni allineate attraverso almeno 3 target a coordinate note visibili all'interno del gruppo di scansioni.

La procedura può essere riassunta nei seguenti passi:

fase di scansione dei target visibili nella scena con un passo di scansione elevato (1,25mm orizzontali e verticali)

individuazione della posizione

individuazione di 3 target comuni tra 2 scansioni limitrofe

assegnazione al target della stessa nomenclatura per ciascuno dei 2 range scan

processo di unione dei 2 scan che hanno 3 target in comune con la stessa nomenclatura

ripetizione del processo per tra gruppi di 2 o più scansioni con 3 o più target comuni.

Creazione di un gruppo di scansioni allineate tra loro.

Geo-referenziazione delle scansioni rispetto ad almeno tre target a coordinate note in un sistema di riferimento geo-riferito, visibili dal gruppo di scansioni allineate.

Verifica della qualità della registrazione

L'accuratezza di tale metodologia dipende dall'accuratezza con cui vengono individuati i target che può essere superiore a quella del passo di scansione utilizzato per l'intera scena.

Registrazione con uso di target

Sistema B)

Questo sistema di allineamento e geo-referenziazione può essere riassunto nei seguenti passi:

1) Posizionamento dei target nella scena e misura della loro posizione con strumentazione topografica (stazione totale GPS)

2) Scansione preliminare (preview) ed individuazione (semi automatica) dei target nella scena (almeno 3 target per scansione). Se la posizione dello scanner o dei target non permette una ottimale visibilità reciproca ed una ottimale distribuzione- un preventivo processo di roto traslazione può essere effettuato per verificare l'errore- questa operazione può essere ripetuta fino a trovare la configurazione ideale.

3) Scansione di dettaglio nella zona dei target individuati.

4) Assegnazione delle coordinate assolute ai target

5) Rototraslazione di ciascuna scansione nel sistema di riferimento geo-riferito.

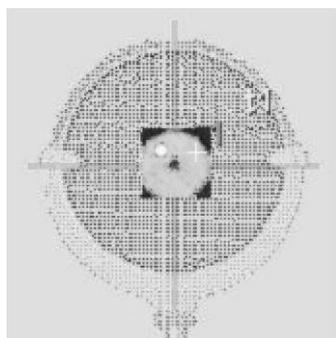


Figura 3.7 Individuazione centro target

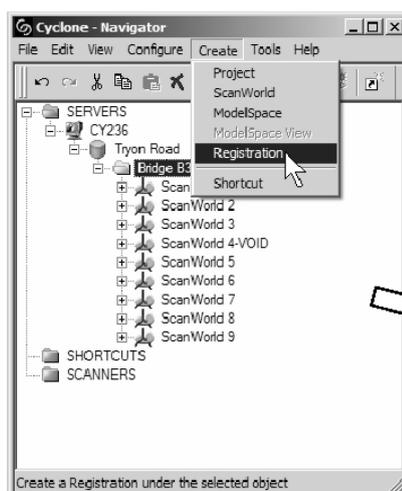


Figura 3.8 Fase di allineamento tra scansioni

L'accuratezza di tale metodologia dipende dall'accuratezza con cui vengono individuati i target, che può essere superiore alla risoluzione del passo di scansione utilizzato per l'intera scena.

Registrazione attraverso l'individuazione semi-automatica di punti comuni (Point-based registration)

Il metodo standard utilizzato per allineare tra loro 2 scansioni senza l'utilizzo di target è bastato su un algoritmo iterativo detto appunto Iterative Closest Point (ICP) (Besl, 92).

Questa metodologia richiede di conoscere la posizione relativa tra 2 scansioni in modo approssimato per poi iterativamente affinare la registrazione delle scansioni. La fase di geo-referenziazione può essere effettuata a posteriori noti almeno 3 punti a coordinate note per il gruppo di scansioni allineate.



Figura 3.9: Scansione preliminare e l'individuazione

Il processo può essere schematizzato nei seguenti passi:

- 1) Fase di pre-registrazione in cui è sufficiente individuare 3 punti comuni a 2 scansioni (target naturali), che permettano di “avvicinare” tra loro le scansioni
- 2) Fase di registrazione automatica in cui un processo iterativo trova in automatico punti comuni tra le 2 scansioni
- 3) La procedura va ripetuta tra le varie scansioni con zone comuni
- 4) Geo-referenziazione attraverso punti a coordinate note

Note generali:

i. Tale metodologia si rivela particolarmente utile dove non sia possibile posizionare target.

ii. Questa metodologia richiede che le scansioni siano sovrapposte tra loro per una porzione che contenga elementi geometrici disposti nello spazio nelle 3 direzioni X,Y,

Z in modo da vincolare tutti i gradi di libertà. In altre parole il sistema non è in grado di allineare tra di loro oggetti posti su superfici piane assolutamente complanari

iii. Se si devono allineare scansioni di stanze diverse all'interno di edifici (tra diversi piani) è bene ricorrere all'uso di target poiché difficilmente si può garantire una sovrapposizione adeguata tra le scansioni.

L'accuratezza di tale metodologia è in generale pari a quella del passo di scansione utilizzato per l'intera scena

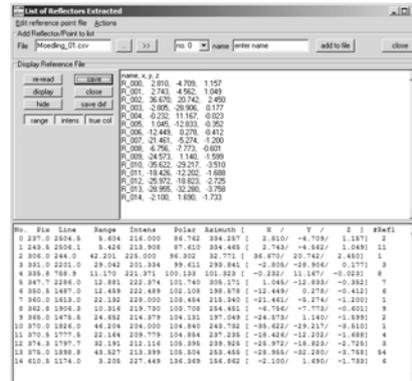


Figura 3.10: Assegnazione delle coordinate assolute ai target

Metodo basato sull'estrazione ed utilizzo di geometrie primitive (Feature-based registration)

Un metodo utilizzato per allineare tra loro scansioni laser è basata sull'estrazione di superfici parametriche dalla nuvola di punti (per es. piani, cilindri, sfere). Questi elementi geometrici, individuati dalle diverse posizioni in cui vengono effettuate le scansioni, vengono utilizzati per collegare tra loro le diverse viste. Questa metodologia si rivela particolarmente utile in ambiti industriali dove è levata la presenza di elementi geometrici facilmente modellabili (tubi, superfici planari, ecc).

L'accuratezza di tale metodologia dipende dall'accuratezza con cui vengono individuate le geometrie primitive e da quanto queste siano corrispondenti all'oggetto reale.

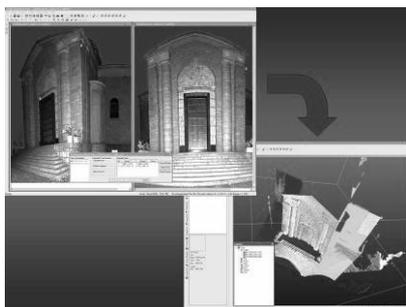


Figura 3.11 allineamento automatico tra scansioni senza l'uso di target



Figura 3.12 Geo-referenziazione attraverso punti a coordinate note

3.4. Fase di mappatura delle foto

Il processo di mappatura delle foto (texture mapping) permette di applicare una o più foto 2D sulla geometria 3D acquisita con laser scanner. I principali scopi di tale procedimento sono: i) l'aumento delle informazioni geometriche rilevate dallo scanner laser con quelle provenienti da un sensore 2D (può essere una camera digitale tradizionale, un sensore termico, ecc), ii) una maggiore e più intuitiva manipolazione dei dati 3D che con immagini RGB risultano di più facile interpretazione, iii) la possibilità di analizzare le caratteristiche superficiali degli oggetti scansionati, che con la sola informazione geometrica non vengono rilevati (ammaloramenti di superfici, affreschi, analisi superficiali di rocce o ghiaccio), iv) creazione dei modelli virtuali geometricamente corretti per visualizzazione ed animazione, v) aumento della risoluzione di dati 3D ai fini di analisi (sul modello triangolato le immagini possono essere caricate ad una risoluzione maggiore rispetto ai punti acquisiti con strumentazione laser), vi) generazione di viste ortografiche per realizzare tavole CAD 2D e 3D.

Questo processo viene inserito in questa fase del procedimento perché le immagini 2D (Images) vengono ri-proiettate (Texture) sul modello 3D utilizzando le informazioni geometriche dei range scan (singole scansioni). Il calcolo dei parametri di calibrazione per effettuare questo processo fotogrammetrico richiede spesso ridondanza di dati geometrici 3D per una buona selezione di punti visibili sia sui range scan che sulle foto; pertanto opportuno svolgere questa operazione prima di aver modificato i range originali (vedi par. 3.5 Editing dei punti) per ottenere un modello a triangoli (vedi par. 3.6 Fase di Triangolazione) senza dati ridondanti. Il risultato di questo processo permetterà di "colorare" ciascun range scan con immagini RGB e di "deformare" le immagini 2D acquisite con camere non metriche, importate inizialmente nella cartella Images, in Texture cioè immagini 2D di cui è nota la posizione 3D di ogni pixel. Dopo che a ciascun range è stata

assegnata la propria Texture, il processo di Triangolazione permette di ottenere modelli 3D foto-realistici.

Il processo di mappatura delle foto può essere suddiviso in 4 fasi:

- i) calcolo dei parametri di calibrazione interna ed esterna della camera,
- ii) ri-proiezione della immagine 2D sul modello 3D,
- iii) mosaicatura con bilanciamento (balancing) delle immagini e riduzione delle differenze tra immagini contigue (blending) per ciascun range scan,
- iv) bilanciamento (balancing) delle immagini e riduzione delle differenze tra immagini contigue (blendig) tra range scan contigui.

Alcuni laser scanner dispongono di camere interne o esterne solidali con lo scanner. Il grande vantaggio di tale opzione è di evitare il processo di calcolo dei parametri di calibrazione interna ed esterna della camera che generalmente vengono predefiniti per ogni strumento (laser + camera). Tale opzione presenta però lo svantaggio che i punti di presa delle immagini sono vincolati alla posizione del laser, quindi più difficilmente si possono effettuare foto di dettaglio da posizioni diverse, o acquisire le foto in tempi diversi da quelli della scansione (per esempio attendendo le condizioni di illuminazione adeguate, o pensando di effettuare acquisizioni fotografiche nel tempo ai fini di monitorare ammaloramenti superficiali poco rilevabili dal laser). La possibilità di combinare entrambe le cose sembra essere la soluzione migliore, poiché la calibrazione automatica permette di avere velocemente una nuvola di punti 3D con colore su cui è più semplice selezionare i punti per effettuare calibrazioni manuali con foto di dettaglio o con sensori diversi (i.e. camere termiche).

Calcolo dei parametri di calibrazione interna ed esterna della camera (Camera calibration)

Per posizionare correttamente una immagine 2D sui punti 3D misurati con scanner laser, il software deve calcolare i parametri di calibrazione interni ed esterni. I parametri esterni sono traslazioni e rotazioni della camera rispetto al sistema di riferimento dell'oggetto rilevato, i parametri di calibrazione interna variano al variare del modello matematico utilizzato per descriver la camera utilizzata. Nel caso del software JRC 3DReconstructor® il modello utilizzato è quello di Tsai (Tsai, 87) che prevede il calcolo di 5 parametri (lunghezza focale, centro di proiezione, distorsione tangenziale dei pixel, distorsione tangenziale).

Non si entra nei dettagli del procedimento fotogrammetrico ma sulla base delle modalità di utilizzo del software di calibrazione, si forniscono suggerimenti operativi per calibrazione e mappatura delle immagini digitali. Innanzitutto le immagini 2D in formato *.jpg devono essere importate nella cartella Images (tasto ds del mouse Insert). E' importante ricordare che le immagini inserite non devono aver subito modifiche (distorsioni, taglio di porzioni) se non a livello di toni di colore e luminosità rispetto alle originali acquisite. Se le immagini sono di tipo analogico e vengono scansionate, va fatta attenzione che la scansione non introduca distorsioni grossolane.

Nella sessione Texture del software JRC 3DReconstructor® vanno scelti contemporaneamente il range scan e una delle immagini che serviranno per "colorare" la scansione e attivato il tasto C Image calibration. Se più immagini sono necessarie per coprire l'area della scansione questa

operazione andrà ripetuta per ogni immagine. Il range scan e la relativa immagine vengono aperte a video come illustrato nella figura 3.20, assieme ad una finestra che fornisce i parametri di calibrazione della camera.

Si deve quindi procedere alla selezione di almeno 11 punti omologhi riconoscibili sia sulla foto che sul range scan. Generalmente è più semplice effettuare la scelta dei punti sull'immagine di riflettanza del range scan soprattutto se questa è di buona qualità e la foto 2D ha una posizione di vista simile a quella dello scanner. Se i valori della riflettanza non permettono una facile distinzione di punti riconoscibili sulle foto, può essere utile sovrapporre al range la Normal Inclination map (selezionando con il tasto ds mouse sulla finestra 2D del range Option-> Background Bitmap-> Inclination Shading, o tasto rapido F12 sulla finestra 3D)

La scelta dei punti deve essere fatta in modo accurato e in generale secondo tali criteri: i) punti omologhi distribuiti su tutta l'immagine 2D, e non concentrati su una sola porzione, ii) punti omologhi scelti su piani diversi sia in profondità che in angolazione (per questo motivo è bene non eliminare dalle scansioni punti non utili al rilievo ma fondamentali per la calibrazione delle immagini), iii) scelta di punti omologhi preferibilmente in zone piane (macchie sui muri, zone dipinte) in questo modo si riduce l'errore di selezione delle coordinate dei punti 3D che in corrispondenza di discontinuità spaziali e angolari (i.e. spigoli) può essere elevato.

Quando almeno 11 punti sono stati scelti il software rende attivo il tasto Calibrate; la procedura è iterativa e per ogni iterazione viene fornito l'errore medio. Se la scelta dei punti non è stata fatta in modo corretto o i punti non sono sufficientemente ben distribuiti viene dato un segnale d'errore e si deve ritornare al passo precedente di scelta dei punti. Se la calibrazione va a buon fine viene attivato il tasto Reprojection e si può procedere con la fase successiva: ri-proiezione della immagine 2D sul modello 3D.

Se la camera digitale viene pre-calibrata il numero di punti da scegliere può essere ridotto ad un minimo di 7. Per pre-calibrare la camera vengono date 2 possibilità: 1) utilizzare un foglio di calibrazione per il calcolo dei parametri interni, 2) sfruttare i parametri di calibrazione calcolati per un'altra foto per la quale: a) non sia variata la lunghezza focale (no zoom), b) la calibrazione sia avvenuta in modo corretto.

Nel caso in cui si utilizzi un foglio di calibrazione per il calcolo dei parametri interni valgono le seguenti istruzioni:

- lasciare asciugare la stampa in modo che i bordi siano ben definiti
- stendere il foglio di calibrazione su un supporto rigido ed incollare il foglio in modo che risulti ben steso
- misurare con un righello il quadrato della griglia
- acquisire 10 foto che includano ciascuna tutto il foglio di calibrazione fotografando da posizioni come indicate in figura
- inserire le immagini di calibrazione nel menu accessibile da Tool-> Camera-> Calibrate

Anche con questo caso la calibrazione vale solo se viene mantenuta costante la lunghezza focale e facendo attenzione a disattivare l'autofocus (se possibile) della camera digitale.

Per estrarre i parametri di calibrazione di una camera da un'immagine già calibrata si deve andare nel menù Tool-> Camera-> Extract From Image e selezionare l'immagine e la relativa calibrazione. JRC 3DReconstructor® conserva infatti i parametri di calibrazione di ogni immagine elaborata.

Ri-proiezione della immagine 2D sul modello 3D (Reprojection)

Noti i parametri di calibrazione si può procedere con la ri-proiezione di ciascuna immagine 2D sul relativo range scan. Con il tasto Reprojection che appare attivo dopo la calibrazione nella relativa finestra di comandi, si accede al Reprojection Manager dove selezionare l'immagine che si intende trasformare affinché ogni suo pixel corrisponda con una coordinata geometrica nello spazio.

Il parametro più importante che è necessario scegliere in questa fase è il fattore di riproiezione (Reprojection factor). Questo valore corrisponde al rapporto tra le dimensioni dell'immagine acquisita e quella del range scan, per la parte coperta dall'immagine 2D, e indica a quale risoluzione è possibile mappare la foto. Se per esempio la scansione copre la zona fotografata con 1000*1000 punti (pixel sull'immagine di riflettanza) e l'immagine sulla stessa area è di 4000*4000 pixel, il fattore di riproiezione ideale è 4 ($=4000/1000$). Ciò significa che se si utilizza un fattore di riproiezione troppo piccolo (1, 2) non si "sfrutta" tutta la risoluzione dell'immagine acquisita, se invece si adotta un fattore troppo elevato (5,7, ecc), si produce una immagine inutilmente "grande" (in termini di pixel e quindi di spazio in memoria).

Per calcolare approssimativamente i punti che la scansione copre nella zona fotografata è utile utilizzare lo strumento di misura lineare (vedi paragrafo 3.8) sull'immagine di riflettanza. Tre note importanti: 1) se un range scan richiede più foto perché tutti i suoi punti abbiano un valore RGB, è necessario che tutte le immagini vengano riproiettate su tale range scan con lo stesso fattore di riproiezione, altrimenti non è possibile effettuare la mosaicatura attraverso i processi di balancing e di blendig; 2) le attuali schede grafiche permettono al massimo una risoluzione di 4096 x 4096 a video per ciascuna delle immagini legate al modello 3D;

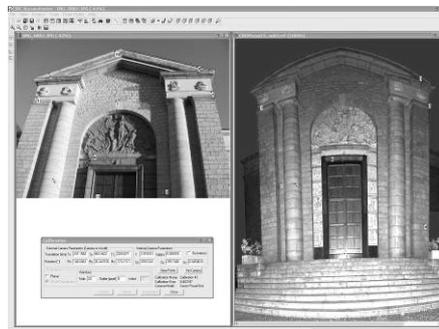
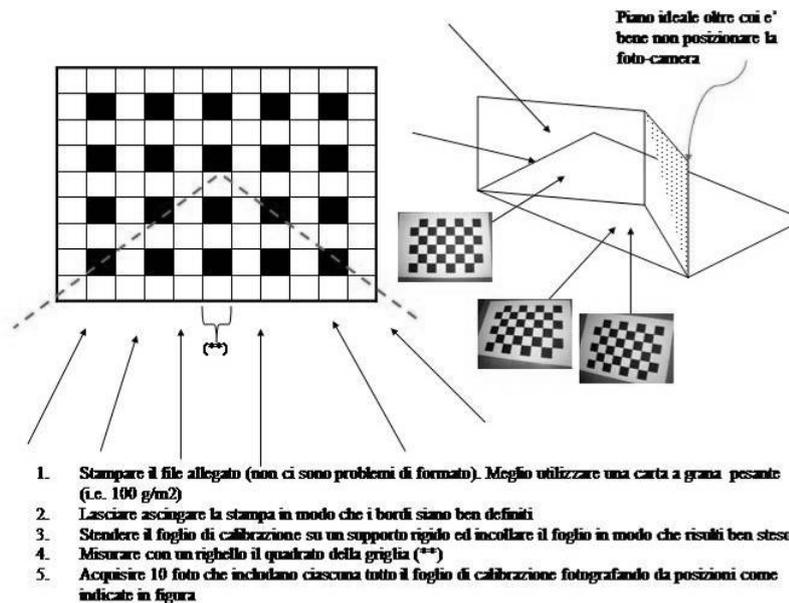


Figura 3.13

ciò implica che per immagini molto grandi si hanno comunque limitazioni di risoluzione a video (può essere utile in tal senso mappare porzioni più

piccole del modello 3D in modo da ridurre la dimensione dell'immagine riproiettata); 3) per produrre immagini ortografiche (ortofoto) del modello ad una determinata scala si deve tenere conto che in generale in fattore di proiezione non dovrebbe superare il valore di 5 e che in fase di proiezione ortografica si utilizza la risoluzione massima garantita dalle schede video (4096x4096).



In fase di riproiezione conviene comunque fare una prima prova con fattore di riproiezione 1 in modo che si possa poi testare (Testing) se c'è corrispondenza tra immagini di riflettanza e immagini riproiettate con lo stesso fattore di scala 1 (per facilitare tale operazioni di confronto si può variare la trasparenza tra riflettanza e RGB e sovrapporre gli edges).

Mosaicatura con bilanciamento (balancing) delle immagini e riduzione delle differenze tra immagini contigue (blending) per ciascun range scan (Balancing Bleding Single Range)

Quando un numero sufficiente di immagini 2D sono state riproiettate sul singolo range scan si può avviare l'operazione di Balancing Bleding Single Range (tasto S- Blending single range) selezionando le immagini da utilizzare. E' utile spesso elaborare le immagini con software esterni (per es. Coral Draw, Photo Paint) per eliminare eventuali porzioni di immagini a bassa qualità che si presentano in immagini limitrofe. In questo caso è importante che la parte da eliminare sia sostituita con valor R,G,B pari 0,0,0 in tal modo in fase di balancing e blendig tutto ciò che ha valore 0,0,0 non viene considerato. Si ricorda nuovamente che questa operazione è possibile solo tra immagini con lo stesso fattore di riproiezione.

Bilanciamento (balancing) delle immagini e riduzione delle differenze tra immagini contigue (blendig) tra range scan contigui (Balancing Bleding

Single Range). Al termine della fase precedente di Balancing Bleding Single Range ad ogni range scan viene associata una ed una sola immagine (texture) attraverso il texture manager accessibile con il tasto ds del mouse cliccando sul nome di ciascun range scan nella lista del menu verticale di sinistra. Effettuata tale assegnazione con il tasto M Blendig Multiple Range si lancia l'operazione che trasforma ciascuna Texture legata al singolo range in modo da ridurre gli effetti di sbilanciamento tra i vari range e filtrando gli effetti di bordo tra le texture dei vari scan.

3.5. Editing dei punti

La fase di editing dei punti comporta la selezione dei punti utili per rappresentare l'oggetto rilevato e l'eliminazione dei punti inutili. Si ricorda che è generalmente meglio effettuare le operazioni di allineamento delle scansioni e di mappatura delle foto prima di eliminare possibili punti utili per queste fasi in cui servono molte informazioni geometriche anche esterne al vero e proprio oggetto del rilevamento.

Esistono metodologie d'eliminazione dei punti in modo automatico in base, per esempio, distanza tra 2 piani paralleli o alla distanza radiale dal punto di acquisizione. Questi metodi automatici vanno utilizzati con cautela per non eliminare punti necessari, e sono utili per una prima grossolana pulizia dei punti.

Il software JRC 3DReconstructor® prevede un set di strumenti manuali per la selezione dei punti utili dalle scansioni. La selezione può essere effettuata aprendo ciascun range, sia sulla nuvola 3D (selezionando i punti da eliminare attraverso una poli-linea o un rettangolo: select region- tasto centrale del mouse) che sulla immagine 2D attraverso una selezione rettangolare (select area tasto sinistro del mouse). Con il tasto Canc (o Delete) della tastiera i punti vengono cancellati. Non vengono però definitivamente eliminati ma viene solamente assegnato loro un attributo di non validità che ne eviterà l'utilizzo nelle fasi successive. Per ripristinare i dati cancellati è sufficiente ripetere l'operazione di selezione rettangolare sulla finestra 3D (select area) e schiacciare il tasto Ins (Insert) sulla tastiera. L'operazione di cancellazione (non definitiva dei punti) dei punti 3D contemporaneamente su più scansioni, può avvenire aprendo i diversi range allineati della Global 3D, selezionando i punti da eliminare attraverso una poli-linea (tasto centrale del mouse) e cancellando con il tasto Canc (o Delete) della tastiera.

E possibile inoltre estrarre una porzione più piccola dell'intera scansione scegliendo di tasto Copy, dopo aver scelto la porzione da replicare sul finestra 2D; verrà creato un nuovo range con dimensioni ridotte rispetto all'originale.

3.6. Fase di triangolazione

Integrazione

La fase d'integrazione consiste nell'individuazione dei punti ridondanti nelle zone di sovrapposizione tra le varie scansioni e l'esclusione di tali punti dal seguente processo di triangolazione. Nel software JRC 3DReconstructor® questo processo avviene confrontando tra loro i diversi range scan dopo che questi sono stati allineati in un unico sistema di riferimento. Dopo la procedura di registrazione delle scansioni, è infatti nota la posizione

relativa di ciascuna scansione e quindi anche le zone di sovrapposizione tra una scansione e l'altra. Per ciascuna scansione è inoltre nota l'affidabilità e la qualità dei dati raccolti grazie alla valutazione dei valori di confidenza nella fase di pre-processamento dei range scan. Il software è quindi in grado di selezionare quali sono i punti da utilizzare dell'una o dell'altra scansione nelle zone comuni.

Il risultato della fase di integrazione evidenzia in colore ciano i punti che non verranno utilizzati nella successiva fase di meshing (tale visualizzazione è possibile aprendo i range scan e con il tasto di ds del mouse sulla finestra 2D selezionando Overlap point). Il processo di integrazione non elimina i punti ridondanti ma assegna loro un attributo che consentirà nella fase di triangolazione successiva di escluderli dal processo di triangolazione.

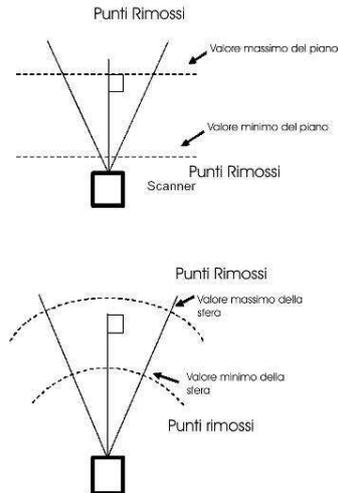


Figura 3.14 a,b Eliminazione automatica di punti 3D in base alla distanza tra 2 piani paralleli (a, in alto) e alla distanza radiale (b, in basso)

Triangolazione (Meshing)

Il processo di meshing trasforma un insieme di punti 3D in una superficie costituita da triangoli che connettono tra loro i vari punti, secondo parametri che l'utente può modificare. Nel caso specifico il tipo di rappresentazione a superfici disponibile nel software JRC 3DReconstructor® è a triangoli (triangolazione). Gli scopi principali del processo di triangolazione possono essere così riassunti: i) riduzione del numero di punti, ii) riduzione di un nuvola di punti non connessi ad elementi connessi e continui (superfici), iii) misurazioni di superfici degli elementi connessi e continui, iv) mappatura su superfici delle informazioni 2D di colore (immagini) a risoluzione superiore rispetto a quella possibile su un nuvola di punti.

Esistono 2 principali metodologie di triangolazione dei punti e alcune combinazioni di questi 2 approcci principali: i) triangolazione scansione per

scansione basata sulla griglia 2D di acquisizione; ii) triangolazione di una nuvola non strutturata di punti 3D.

Il metodo successivamente illustrato è il primo, che presenta vantaggi in termini di rapidità della triangolazione, e buoni risultati con una forte dinamica spaziale; cioè oggetti posti su piani diversi e a distanze diverse, come tipicamente accade per scansioni terrestri di oggetti di grandi dimensioni. Questo primo metodo presenta però lo svantaggio di richiedere una fase di editing delle mesh per unire tra loro le vari scansioni ed eliminare eventualmente triangoli sovrapposti provenienti da più scansioni. Nel descrivere i parametri per effettuare la triangolazione, va ricordato che il processo di meshing comporta quasi sempre una “scelta” dei punti originamente misurati ed una loro semplificazione.

I parametri per effettuare la triangolazione (Meshing Parameters nella sessione Triangulation) sono successivamente descritti. Risoluzione iniziale (Initial Resolution): l'utente può scegliere quanti punti rilevati possono essere “saltati” (non utilizzati) tra il vertice di un triangolo ed il successivo. Nelle zone dove pochi punti sono necessari per rappresentare l'oggetto rilevato (zone piane) il software automaticamente diminuirà il numero di punti da connettere e quindi il numero di triangoli, verificando tre cose: i) l'accuratezza scelta (successivamente descritta), ii) la presenza di discontinuità angolari (dove ho discontinuità angolari - variazioni significativa della geometria – il numero di triangoli viene mantenuto elevato, cioè tutti i punti vengono connessi), iii) la presenza di discontinuità di distanza (nella figura i punti A e B non verranno uniti da triangoli perché la discontinuità di distanza indica che i punti sono su 2 oggetti separati). Il valore da inserire nella casella Initial Resolution è l'esponente da dare alla base 2; se si sceglie cioè il valore 2 ($2^2 = 4$) il software può “saltare” fino a 4 punti dove accuratezza e discontinuità lo permettono. Ponendo il valore uguale a zero tutti i punti vengono uniti da triangoli senza alcuna semplificazione dei dati.

Accuratezza (Mesh accuracy): il valore (in mm) indica quale distanza può al massimo intercorrere tra i punti misurati e il triangolo che li approssima. Se la risoluzione iniziale consente di “saltare” un certo numero di punti, ma l'approssimazione così introdotta supera l'accuratezza prescelta, la triangolazione adotterà un numero maggiore di triangoli.

Forma dei triangoli (Aspect ratio): l'utente può scegliere la forma dei triangoli da utilizzare. Il parametro di Aspect ratio indica il rapporto tra il raggio del cerchio inscritto e circoscritto ad un triangolo. Se il triangolo è equilatero il valore è pari a 0,5, minore è questo valore (0,01- 0,001) più allungati potranno essere i triangoli al fine di connettere anche punti lontani tra loro ma non divisi da una linea di discontinuità di distanza.

E' infine possibile scegliere se utilizzare o meno i valori di integrazione (Use integration values). Se si decide di non utilizzare il risultato dell'integrazione tutti i punti (tranne quelli eliminati manualmente –editing dei punti-) verranno usati per generare il modello triangolato, altrimenti nelle zone di sovrapposizioni si utilizzeranno solo i punti “migliori” scelti con l'integrazione tra le diverse scansioni.

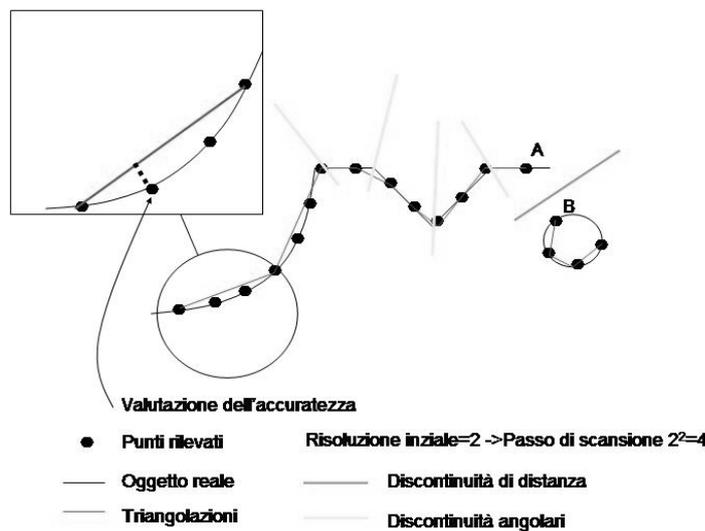
Si fa inoltre notare che l'utente ha la possibilità di giocare anche sulla definizione dei parametri per l'individuazione delle discontinuità spaziali (Edge detection). Se per esempio si stanno triangolando dei dati relativi ad

una cava in cui è importante semplificare i punti ed unire tra loro punti molto lontani sarà opportuno fissare dei valori di discontinuità di distanza elevati ($> 2\text{m}$), una risoluzione iniziale elevata (i.e. 4 cioè possono essere saltati fino a $24=16$ punti) ed un aspect ratio piccolo (i.e. 0,001) per ottenere un modello più continuo e “leggero”.

Se si opera in ambito architettonico sarà opportuno estrarre molte discontinuità angolari (i.e. Orientation=5 deg), stabilire sulla nuvola di punti quanto distano mediamente tra loro oggetti separati nella scena scansionata (in modo da fissare correttamente i parametri di discontinuità di distanza), e fissare l'accuratezza non superiore a quella che lo scanner può garantire (i.e. 0,007 m). Le numerose discontinuità angolari individuate garantiranno una costruzione del modello fedele alle variazioni geometriche dell'oggetto.

Il processo di triangolazione può essere lanciato per ogni singolo range, oppure per più range ottenendo una mesh composta da un numero di sub-mesh pari al numero di range scelti.

Nel caso si sia operata la prima soluzione è successivamente possibile unire le singole mesh in una unica mesh, sarà sufficiente andare nella sezione Surveyor del software e selezionando più mesh con il tasto destro del mouse selezionare Build mesh.



3.15: rappresentazione schematica del processo di triangolazione

Figura

Mesh Editing

Il software è dotato di alcuni strumenti per la successiva elaborazione del modello triangolato. Tali strumenti permettono di lavorare sulla singola mesh generata a partire da unico range file, o su mesh multiple generate dall'insieme di più range scan triangolati. In questo secondo caso è possibile utilizzare gli strumenti di editing successivamente descritti

decidendo quale delle sub-mesh si considera attiva. Si lavora così su una mesh e sub mesh alla volta riuscendo per esempio ad eliminare triangoli ridondati nelle zone di sovrapposizione.

Una volta aperta una mesh, attraverso l'icona  è possibile attivare il tasto di selezione  che permette di selezionare triangoli attraverso le modalità previste nella barra . La selezione dei triangoli può avvenire cioè: i) con selezione poligonale, ii) con selezione rettangolare, iii) con selezione sia dei triangoli rivolti verso il punto di vista dell'utente che verso altre direzioni, iv) con selezione lineare, v) con selezione dei triangoli completamente contenuti nella zona selezionata, o di tutti i triangoli interni e intersecati nella selezione, vi) invertendo la selezione.

Una volta effettuata la selezione per eliminare i triangoli schiacciare il tasto Canc (o Delete) della tastiera.

Attraverso il tasto  si accede ai seguenti strumenti di editing

 che permettono di: i) aggiungere o cancellare singoli triangoli, ii) di unire mesh o sub-mesh provenienti da diversi range, iii) chiudere piccoli buchi nel modello (va fatta attenzione che in tal modo si aggiungono informazioni geometriche non misurate realmente), iv) tagliare il modello triangolato

Due note operative: 1) è conveniente svolgere molto del lavoro di editing direttamente sui punti 3D (una volta che siano stati effettuati allineamento delle scansioni e mappatura delle foto) in modo da lavorare su modelli triangolati "più puliti"; 2) la creazione di nuovi triangoli e la chiusura dei buchi implica la creazione di geometrie non misurate e la creazione di artefatti. Pertanto per il completamento di zone d'ombra geometrie mancanti si consiglia di ricorrere a metodologie di integrazione con tecniche tradizionali di rilevamento con cui procedere in modo rigoroso.

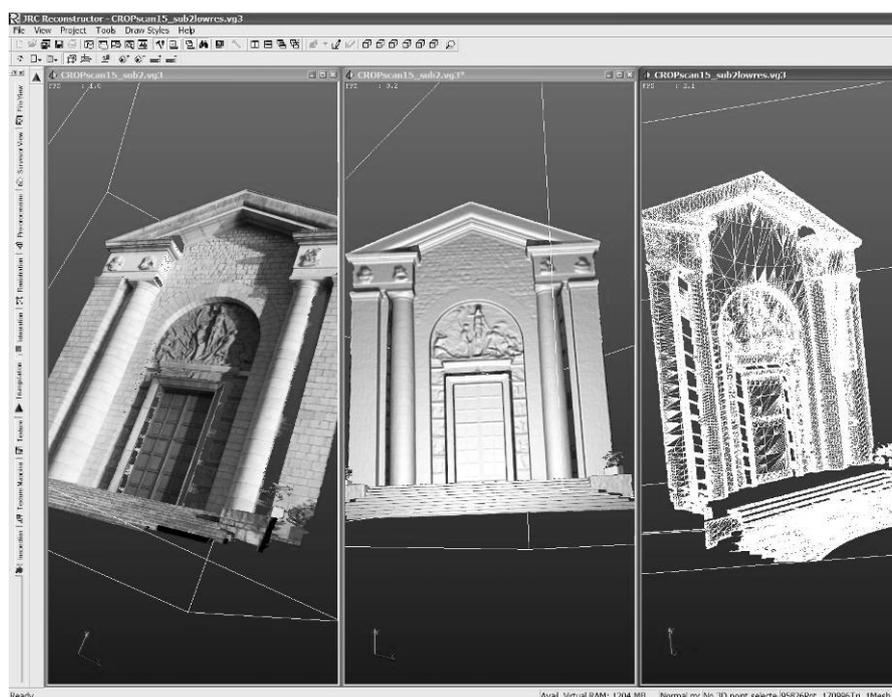


Figura 3.16: modello triangolato finale da destra: con immagine ri-proiettata, con *normal shading*, e *wireframe*.

3.7. Monitoraggio e confronto tra scansioni: Inspection

Il software è dotato di uno strumento che consente il confronto automatico di scansioni allineate tra di loro al fine di: i) rilevare cambiamenti accorsi tra scansioni avvenute in tempi diversi (movimenti, asportazione o accumulo di materiale), ii) verificare gli eventuali errori di allineamento se il confronto avviene nella zona di sovrapposizione di due scansioni contemporanee.

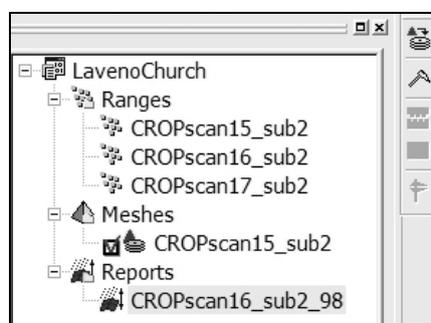


Figura 3.17: Comandi relativi allo strumento Inspection

Lo strumento Inspector prevede di scegliere una scansione di riferimento. Per la scansione di riferimento viene creato un modello di riferimento "TriangleSoup" (nella figura 3.30:

CROPscan15_sub).

Rispetto a al modello di riferimento è quindi possibile misurare le differenze rispetto ad altre scansioni purché allineate

con la scansione di riferimento. Il risultato del confronto permette di visualizzare in 2D e in 3D dove si trovano le differenze con una legenda di

colore associate alla misura di tali differenze. Viene inoltre generato un report con le coordinate 3D dei punti nella scansione di riferimento e quella confrontata e la loro distanza nello spazio.

Nelle figure seguenti vengo illustrati 3 esempi di utilizzo dello strumento Inspector:

- A) controllo di manipolazioni di strutture industriali dove sono avvenute modifiche delle strutture
- B) misure delle variazioni in una zona di escavazione a cielo aperto
verifica della qualità della registrazione nella zona di sovrapposizione tra 2 scansioni allineate

3.8 Fase di estrazione dati (sezioni, ortofoto, DTM)

Al termine del processo di elaborazione dei dati all'interno del progetto laser si hanno a disposizione:

Ranges: range scan con i) dati di pre-processamento (mappa della giacitura spaziale dell'oggetto scansionato, edges angolari e di distanza), ii) matrice di roto-traslazione nello spazio assegnata (cioè allineati tra loro), iii) texture associata (attraverso il texture manager ad ogni range scan è associato una o più immagini frutto del processo di calibrazione e riproiezione di immagini 2D)

Images: immagini 2D originali acquisite con camere esterne o solidali con lo scanner

Textures: immagini 2D trasformate in modo che siano applicabili sia sui dati 3D dei range scan o sulle Mesh da esso create. Le Texture possono essere sia risultato delle calibrazione e riproiezione che della balancing e blendig per immagini di un singolo scan o balancing e blendig tra scan diversi.

Meshes: modelli triangolati con informazione di colore (RGB) , riflettanza, shading.

I dati così organizzati costituiscono un archivio d'informazioni geometriche e colorimetriche dell'oggetto che "fotografano" lo stato di fatto di un oggetto sia dal punto di vista geometrico che delle caratteristiche superficiali

A partire da questi dati d'elaborazione si possono estrarre ulteriori informazioni ed esportarle in formati di interfaccia con l'ambiente CAD o con software di modellazione 3D. Gli strumenti di analisi ed estrazioni delle informazioni del progetto sono contenuti nel modulo di elaborazione

Surveyor View. Gli strumenti forniti sono): 1) Definizione di piani (Create plane), 2) Estrazione di sezioni (Create Cross Section), 3) Estrazione automatica delle linee principali (Extract edges), 4) Creazione di viste ortografiche (Create Orthophoto),

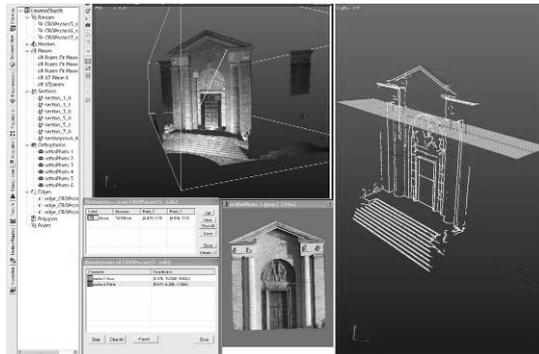


Figura 3.18: Attraverso Surveyor vengono effettuate misure lineari, aggiunte annotazioni relative ai punti 3D, definiti piani di sezione ed astratte sezioni e linee di discontinuità principali.

5) Misuratore lineare (Compute Distances), 6) Misuratore di superfici (Surface Area), 7) Inserimento di annotazioni referenziate sui range scan 3D, 8) Visualizzazione 2D del modello e disegno sul piano 2D (Thickness planes, Drawing Plane, Constrain to Plane, Draw Polyline, New Polyline, Save Polyline).

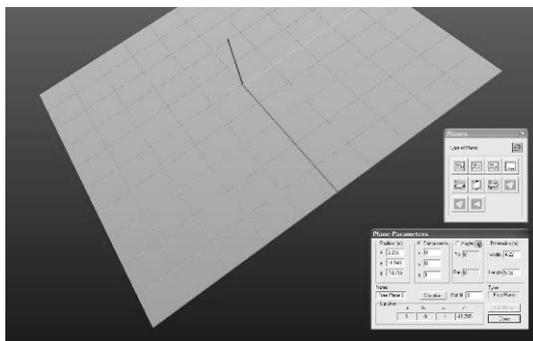


Figura 3.20: Attraverso Surveyor vengono definiti piani di sezione

Definizione di piani (Create plane)

La definizione di un piano è funzionale alle successive operazioni di: i) estrazione di sezioni, ii) creazione di viste ortografiche, iii) visualizzazione 2D del modello e disegno sul piano 2D. Possono essere definite diverse tipologie di piano: vincolati ad un'asse, parallele ad un piano, interpolante punti o mesh, per tre punti o libero. Il piano ha una dimensione (Length, Width) che può essere modificata numericamente o con il tasto sn. del mouse e contemporaneamente i tasti L o W di riferimento locale. Il piano ha un sistema di riferimento il cui centro può essere fissato premendo il tasto sn. del mouse e contemporaneamente il tasto C, le rotazioni attorno agli assi (Tilt, Pan) vengono modificate numericamente o con il tasto sn. i tasti T o P. Analogamente gli spostamenti lungo i tra assi x,y,z vengono modificati numericamente o con il tasto sn. del mouse e contemporaneamente i tasti X,Y o Z. I piani definiti vengono conservati nel progetto.

Estrazione di sezioni (Create Cross Section)

Attraverso i piani definiti è possibile estrarre sezioni singole o multiple e salvarle all'interno del progetto. Le sezioni possono essere estratte sia da punti 3D che a mesh, da singoli range o selezionando più range allineati tra loro.

Estrazione automatica delle linee principali (Extract edges)

Gli Edges calcolati durante la fase di pre-processamento possono essere estratti e salvati nel progetto come poli-linee 3D. Si può effettuare il calcolo degli Edges utilizzando l'Edge Detection nella fase di Pre-processing con parametri diversi e salvare nel processo i diversi risultati.

Creazione di viste ortografiche (Create Orthophoto)

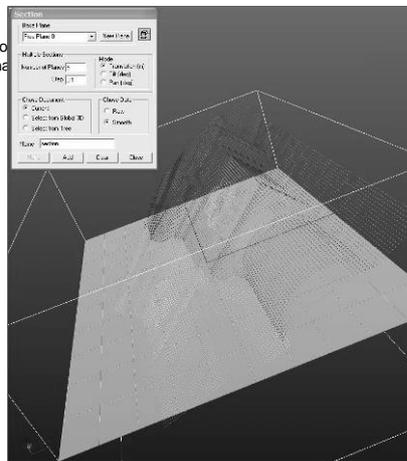


Figura 3.20: Attraverso Surveyor estratte sezioni attraverso i piani definiti

Definito un piano di vista dell'oggetto (con asse Z rivolto verso l'oggetto stesso) rilevato è possibile estrarne la vista ortografica. Per ottenere una migliore qualità della vista ortografica è opportuno estrarla da una Mesh in cui i parametri delle Texture siano settati alla risoluzione massima consentita di 4096*4096. Dopo aver prodotto una preview è possibile stabilire la risoluzione in pixel/centimetro. La qualità della vista ortografica dipende da molteplici fattori, si indicano di seguito le considerazioni più operative a riguardo: 1) nell'acquisizione delle foto si deve fare in modo che ricoprano ogni singolo scan ed evitare che siano a cavallo di due scan diversi (in caso una foto ricada fuori dall'area di scansione solo la parte inclusa nella scansione può essere riproiettata sulla scansione); 2) è opportuno che vadano acquisite foto il più nadirali (ortogonali alla superficie da mappare) possibili alla zone da riproiettare ortograficamente in modo da migliorare la qualità dell'ortofoto finale, 3) per ottenere una ortofoto in scala 1:20 indicativamente una foto di 2000 X 2000 pixel deve coprire 4 m X 4 m, (si veda paragrafo 3); 4) Se sono necessarie più foto per coprire una scansione e' opportuna una zona di sovrapposizione e una illuminazione il più possibile uniforme in modo da ottimizzare le operazioni di balancing e blending.

Misuratore lineare (Compute Distances)

La misura di distanze tra punti può essere fatta sia sui range scan, direttamente sui punti o sull'immagine di riflettanza (la misura è comunque in 3D, oppure sulle mesh. Le misure effettuate (Coordinate punti, Delta X, Y, Z, e distanza) possono essere esportate come file di testo.

Misuratore di superfici (Surface Area)

La misura di superficie avviene selezionando l'area da investigare sul modello triangolato ed attivando il comando Surface Area.

Inserimento d'annotazioni referenziate sui range scan 3D

E' possibile aggiungere annotazioni sulla nuvola di punti associando ai singoli punti informazioni contenute in un file di testo. Questo strumento si

rivela particolarmente utile per definire punti sensibili di interesse sulle scansioni (ad esempio posizione di target, zone di ammaloramento di affreschi, zone dove si conoscono informazioni storiche). Questo strumento di raccolta coordinante si rivela inoltre un valido supporto per la fase di integrazione di con tecniche fotogrammetriche laddove si utilizzino i punti 3D da laser scanner come punti di appoggio per la fotogrammetria.

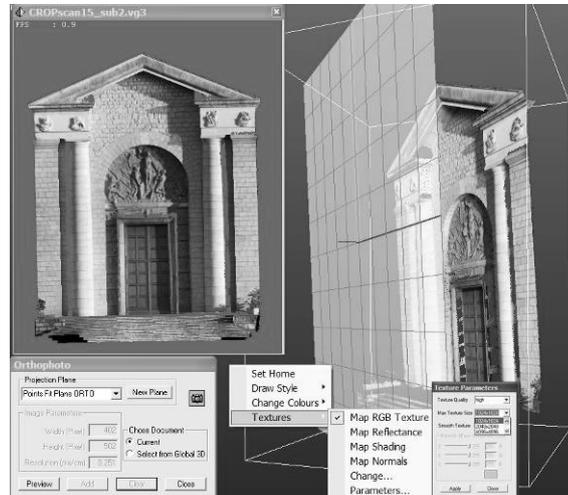


Figura 3.21: Attraverso Surveyor estratte viste ortografiche dell'oggetto

Visualizzazione 2D del modello e disegno sul piano 2D (Thickness planes, Drawing Plane, Constrain to Plane, Draw Polyline, New Polyline, Save Polyline)

Visualizzazione 2D del piano di disegno

Per passare alla visualizzazione 2D del piano, su cui procedere con il disegno, utilizzare il tasto di comando . La nuvola di punti 3D (o la mesh) viene in questo modo visualizzata in 2D. Il piano generato costituirà il piano di riferimento sui cui effettuare il disegno nella Global3D.

Premendo il tasto maiuscolo  della tastiera e il tasto sinistro (1) del mouse è possibile traslare piano e modello 2D nello spazio. Premendo il tasto Ctrl della tastiera ed il tasto sinistro (1) del mouse è possibile zoomare nella vista 2D. Premendo il tasto Z della tastiera ed il tasto sinistro (1) del mouse è possibile spostare il piano rispetto alla direzione di vista modificando la zona di selezione dei punti per il disegno. Premendo il tasto Z della tastiera ed utilizzando la rotella (3) del mouse è possibile variare lo spessore del piano selezionato. Nella visualizzazione 2D, i punti selezionabili compresi nello spessore del piano vengono visualizzati con il loro colore originale (Reflectance, RGB, ecc.), i punti esterni allo spessore, dietro il piano (rispetto alla posizione di vista), sono mascherati in blu, i punti esterni allo spessore, davanti al piano, non vengono visualizzati.



Nota bene: le proporzioni della visualizzazione in 2D dipendono dalle dimensioni della Global3D a video, la geometria del modello non subisce alcuna modifica, i punti selezionati conservano la loro posizione geometrica corretta

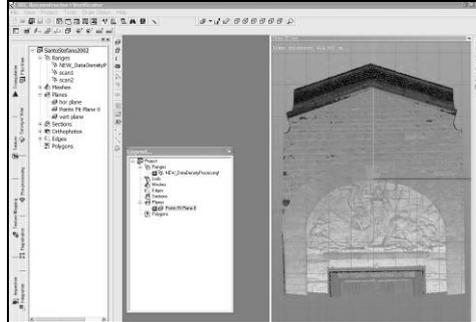


Figura 3.22: Visualizzazione sul piano 2D di disegno della nuvola di punti

Disegno di poli-linee

Per disegnare una poli-linea premere il comando , premendo velocemente 2 volte il tasto **sn** del mouse si seleziona l'inizio della poli-linea e i successivi nodi, per interrompere il disegno premere **Esc** a tastiera. Per riprendere a disegnare dal nodo iniziale o finale di una poli-linea, utilizzare il comando . Il nodo di collegamento viene visualizzato da un a finestrella gialla.

Si può scegliere se la poli-linea tracciata in 2D sia una poli-linea 3D, oppure venga proiettata in 2D sul piano di riferimento, rispettivamente attraverso la disattivazione o attivazione del tasto  **Constrain to plain**. Per salvare la poli-linea disegnata nella cartella **Edges** del **Surveyor Viewer** utilizzare il comando . Prima del salvataggio è possibile verificare che la poli-linea disegnata in 2D sia corretta anche in 3D ritornando alla visualizzazione 3D con il comando  (vedi pagina seguente). Le poli-linee non ancora salvate vengono disegnate in rosso, le poli-linee salvate in giallo.

Visualizzazione poli-linee ed esportazione a CAD

Per salvare la poli-linea disegnata nella cartella **Edges** del **Surveyor Viewer** utilizzare il comando . Prima del salvataggio verificare se la poli-linea disegnata in 2D sia corretta anche in 3D ritornando alla visualizzazione 3D

con il comando . Nella figura è visibile una poli-linea gialla disegnata in modo che giaccia sul piano di riferimento e una poli-linea in rosso collegata agli **Edges** estratti automaticamente. Le poli-linee salvate nella cartella **Edges** possono essere salvate come file ***.dxf**. con modalità analoghe a quelle per **Edges** e **Sections**

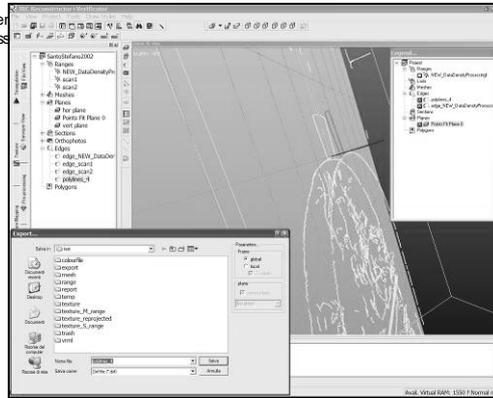


Figura 3.23: Visualizzazione 3D della nuvola di punti e della polilinea disegnata

3.9. Esportazione dati

Al termine del processo di elaborazione dei dati e di estrazione delle informazioni all'interno del progetto laser si hanno a disposizione:

Ranges (nuvole di punti 3D, organizzate in matrici), Images (foto originali), Textures: immagini 2D trasformate), Meshes (modelli triangolati), Section (linee di sezione estratte), Edges (linee di discontinuità estratte), Polylines (linee disegnate), Orthophotos (immagini ortografiche estratte).

Ranges e Mesh possono essere esportate nei seguenti formati:

1. in wrml (ascii file visualizzabile con visualizzatori free –CosmoPlayer- ed importabili in software di modellazione 3d - i.e. 3D studio max) ; se alla nuvola di punti è associata un'immagine 2D questa viene asportata ed assegnata al relativo wrml). Ideale per creare video e per ulteriori lavori di modellazione.

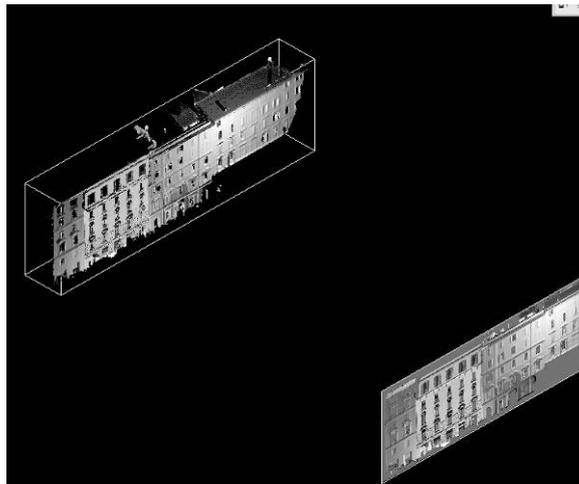


Figura 3.24: Ortofoto e nuvola di punti i AutoCAD

2. in formato testo strutturabile (X,Y,Z, Riflettanza, R,G,B), ideale per interfacciarsi ad altri software. Per le mesh è possibile esportare i soli vertici ed utilizzare la triangolazione per una riduzione intelligente dei dati. Questo metodo di esportazione è particolarmente utile per produrre modelli digitali del terreno (DTM) e rappresentazioni cartografiche i software per esterni che non gestiscono nuvole di punti laser troppo dense (si veda anche cap. 4)
3. formato ptc. per importare nuvole di punti (con o senza RGB) e vertici di modelli triangolati direttamente in AutoCAD attraverso l'applicativo PointCloud per CAD.

Images e Textures immagini originali e immagini ri-proiettate sono esportabili in formato *.jpg, questo permette di effettuare modifiche radiometriche o di editing sulle immagini con software di image processing per migliorare la qualità delle immagini (luminosità, contrasto), creare mappe tematiche che vengano proiettate automaticamente sul modello 3D. Durante queste operazioni le proporzioni delle immagini non devono essere modificate

Section, Edges, Polylines possono essere esportati come poli-linee in AutoCAD (dxf). Si ha l'opzione di esportarle come polilinee 3D nel sistema di riferimento dell'intero modello, oppure come polilinee 3D o 2D (forzate a giacere sul piano 2D) riferite al sistema di riferimento di un piano locale. Questo nel caso ad esempio che si esporti in AutoCAD una ortofoto rispetto ad un piano locale e ad essa vengano sovrapposti le sezioni o gli edges.

Ortofoto possono essere esportate come immagini *.jpg e importate in AutoCAD come raster 2D facendo riferimento alle informazioni di scala e posizioni contenute nel file di testo prodotto in fase di esportazione del tipo:

Info Image File:

-Image file name : orthoPhoto dome

-Plane parameters:

Type of Plane: Free Plane

Width: 6.000000 ,Length: 6.583000

Normal: X 0.000000 ,Y -0.994000 ,Z -0.113000

Origin: X 0.013000 ,Y 0.523000 ,Z -13.985000

-Raster image parameters:

width image: 546 ,length image: 600

-Cad Import Raster image parameters:

Inserction points:

X: 0.000000

Y: 0.000000

Z: 0.000000

Scale : 6.000000

Rotation: 0.000000

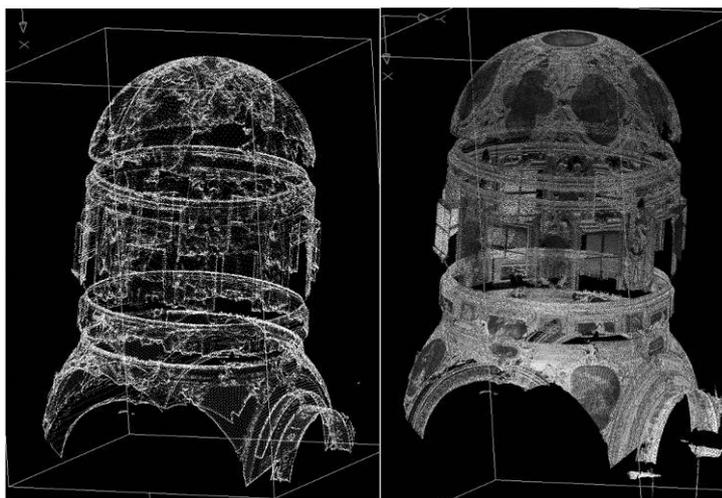


Figura 3.25: nuvola di punti semplificata (a sin) e completa con RGB in AutoCAD

CAPITOLO 4 Integrazione con tecniche di rilevamento classiche e sistemi di gestioni dati tradizionali

4. Integrazione con tecniche di rilevamento classiche e sistemi di gestioni dati tradizionali

La tecnica di rilevamento con Laser Scanner, può essere supportata e combinata con tecniche topografiche di tipo tradizionale; inoltre opportune semplificazioni dei dati permettono di utilizzare sistemi di gestione dati tradizionali. Dati 2D o 3D raccolti con altre tecniche topografiche o fotogrammetriche (fotogrammetria tradizionale, misure topografiche con stazione totale, misure GSP), e opportune semplificazioni dei dati possono essere utilizzate per 4 principali finalità:

1. per risolvere il problema della geo-referenziazione.
2. per completare il rilevamento dell'oggetto nelle zone d'ombra delle scansioni laser non colmabili per difficoltà di accesso con strumentazione laser
3. per aumentare la precisione metrica o colorimetrica (specificamente con l'uso della fotogrammetria) del rilevamento laser.

per rendere i dati acquisiti gestibili in software tradizionali (CAD) e rappresentabili con modalità tradizionali (sezioni per AutoCAD, rappresentazioni cartografiche, DTM).

4.1. Tecniche di rilevamento classiche a supporto della geo-referenziazione

L'acquisizione delle scansioni ha come risultato immediato una nuvola di punti ordinata nello spazio (range scan), le cui coordinate sono note rispetto al centro di presa misurando due angoli ortogonali e la distanza oggetto – ricevitore. La scansione quindi è localmente orientata rispetto ad un sistema di riferimento arbitrario che deriva dalla scelta del punto di

presa, che verrà assunto come origine del sistema di riferimento della scansione. L'assemblaggio di più scansioni richiede quindi la conoscenza dei parametri di roto-traslazione relativa (si veda anche capitolo 3): questi parametri possono essere calcolati solamente se è nota la posizione dell'origine del sistema di riferimento di ogni scansione rispetto ad un unico sistema. Ciò può avvenire utilizzando strumenti topografici come stazioni totali o ricevitori GPS per acquisire le coordinate del punto di presa ed orientare la direzione di origine della scansione. Il problema dell'assemblaggio delle diverse scansioni può però essere risolto, con precisioni pari al passo di scansione adottato, utilizzando algoritmi tipo ICP che mediante algoritmi di analisi delle caratteristiche geometriche comuni, sono in grado di riferire le scansioni ad un sistema comune, associato ad una scansione presa come riferimento. In questo caso è possibile riferire anche una singola scansione ad un sistema che si intende adottare. Generalmente però si preferisce operare avendo punti notevoli, dei quali sono note le coordinate, in tutte le scansioni: in questo modo ogni scansione può essere orientata indipendentemente dalle altre. L'utilizzo di speciali target permette di materializzare questi punti notevoli, e la forma ed il materiale con il quale sono costruiti fanno sì che questi possano essere individuati con certezza nel modello a nuvola di punti. La loro georeferenziazione poi, può avvenire sfruttando le tecniche di rilevamento tradizionale (stazione totale), oppure le tecniche GPS.



Figura 4.1: collimazione del target di tipo cilindrico con stazione totale per la successiva georeferenziazione.

Georeferenziazione delle scansioni mediante stazione totale

La georeferenziazione delle scansioni con stazione totale avviene rilevando le coordinate dei target o di punti notevoli, facilmente individuabili nella nuvola di punti, mediante l'ausilio di una stazione totale. Si tratta quindi di realizzare una rete locale di punti, che può appoggiarsi su vertici trigonometrici della rete geodetica locale, nazionale o altro, in relazione alle esigenze.

I target risulteranno essere punti del modello a coordinate note, nel sistema di riferimento scelto: ogni scansione quindi, trovandosi in origine nel sistema di riferimento arbitrario intrinseco al posizionamento dello scanner, potrà essere rototraslata nel sistema adottato (figura 4.1).

Georeferenziazione delle scansioni mediante GPS

La posizione dei target in un sistema di riferimento definito, può essere misurata mediante l'utilizzo di un sistema di posizionamento satellitare come il GPS. Questo tipo di strumentazione può essere utilizzata solamente per rilevamenti in zone aperte dove è possibile la ricezione del segnale satellitare.

La georeferenziazione dei target con sensore GPS può avvenire in diverse modalità sfruttando le differenti tecniche a disposizione:

1. mediante rilevamento statico;
2. mediante rilevamento cinematico, con correzioni differenziali in tempo reale (modalità RTK);
3. sfruttando reti di stazioni di riferimento di tipo virtuale

Il modo più pratico per georeferire i target con GPS è utilizzare sistemi integrati, dove target ed antenna GPS sono solidali e quindi le loro reciproche posizioni sono note.

Ad esempio, per georeferenziare il rilievo laser di una cava dedicata all'estrazione del marmo sono stati realizzati target circolari, in materiale riflettente, fissati ad un telaio rigido, al quale è possibile fissare l'antenna GPS (figura 4.3). Questi target sono stati poi posizionati nella zona di cava, all'interno del campo visivo della scansione, ad una distanza tale da permettere di essere rilevati dallo scanner. Successivamente nella nuvola

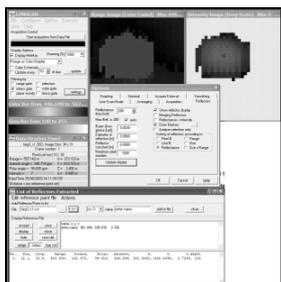


Figura 4.2: individuazione di un target riflettente nella nuvola di punti 3D



Figura 4.3: sistema integrato, dove target ed antenna GPS sono solidali e quindi le loro reciproche posizioni sono note.

di punti sono state determinate le posizioni del loro centro. Nota la distanza lungo la verticale tra il centro di fase dell'antenna GPS della quale vengono misurate le coordinate, ed il centro del target, a quest'ultimo, una volta individuato nella nuvola di punti (figura 4.2), è possibile assegnare le coordinate rilevate.

Combinazione Laser Scanning e diverse metodologie di rilevamento

Metodologie di rilevamento tradizionali e Laser Scanning, possono essere combinate, e produrre modelli in grado di fornire informazioni spaziali, ed allo stesso tempo presentare una enorme efficacia rappresentativa.



Figura 4.4: Modelli rappresentanti una zona d'ombra integrata ed una zona integrata con mesh ad alta risoluzione.

Informazioni provenienti dalle diverse tecniche topografiche vanno unite utilizzando accortezze operative che garantiscano la qualità del risultato, accortezze e valutazioni che partono dalla fase di acquisizione in campagna:

va scelto il tipo di dato da estrarre ed il suo formato in funzione del metodo di unificazione. In altre parole va stabilito con chiarezza a priori che tipo di risultato si vuole ottenere dalla fase di rilevamento e come si intende rappresentare tale risultato in modo che sia usufruibile.

va valutato a priori quali sono le zone dove applicare le varie tecniche di rilevamento. Conviene infatti discretizzare l'oggetto del rilievo ed individuare quale zona è più adatta ad essere rilevata con ognuna delle tecniche a disposizione.

devono essere individuati quali saranno i comuni punti di appoggio che permetteranno la registrazione dei dati in modo che siano tutti riferiti allo stesso sistema di coordinate.

si deve scegliere come integrare i risultati ottenuti e con quali strumenti utilizzare i risultati dei vari rilevamenti.

Questi 2 ultimi punti, relativi al problema di combinare metodologie differenti per estrarre dal modello finale dati omogenei, risultano i più problematici.

Di seguito verranno riportate alcune indicazioni ed esempi su tecniche di integrazione di dati e semplificazione dei dati: integrazione Laser Scanning – fotogrammetria, semplificazione dati per produzione di DTM, integrazione fotopiani e nuvole di punti in AutoCAD.

Integrazione Laser Scanning – fotogrammetria

Il metodo di integrazione tra metodi laser e fotogrammetria illustrato, permette di completare il modello originariamente proveniente dal rilevamento laser scanning con modelli fotogrammetrici e di risolvere i problemi legati a “zone d'ombra”.

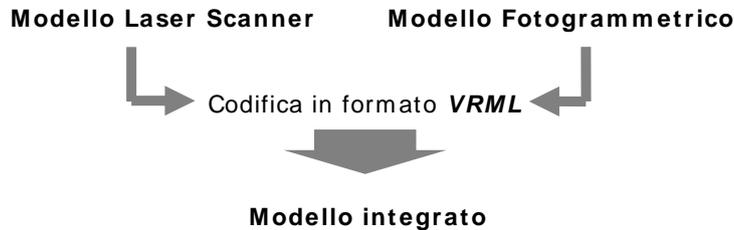
La possibilità di generare un modello geometrico texturizzato, per elementi architettonici costituiti da curve e superfici complesse (ad esempio la serie di modanature presenti in molti degli elementi architettonici) partendo da semplici prese fotografiche, dimostra la possibilità di modellare geometrie complesse per via fotogrammetrica nelle “zone d'ombra” difficilmente rilevabili con laser scanner (figura 4.4)

Questo tipo di integrazione fotogrammetrica è efficiente ed economica poiché richiede l'utilizzo di un semplice apparecchio fotografico, preferibilmente digitale, ed un software commerciale di modellazione

fotografica che permetta di effettuare l'assegnazione di coordinate esterne ai punti, e supporti la codifica del modello in formato VRML.

Il laser scanner è molto più rapido per realizzare modelli tridimensionali estesi di elementi complessi che richiederebbero lunghi tempi di elaborazione se effettuati per via fotogrammetrica.

Nel caso però in cui esistano zone difficilmente raggiungibili con un scanner laser, l'acquisizione delle prese fotografiche risulta una operazione veloce che può essere fatta in concomitanza al rilevamento laser, localizzando le zone d'ombra nelle le nuvole di punti acquisite.



La continuità tra le mesh dei due modelli (fotogrammetrico, laser scanner) si ottiene poi, eliminando accuratamente le inutili sovrapposizioni tra le superfici triangolate del modello laser e quelle del modello fotogrammetrico. Un ruolo fondamentale in questa fase della elaborazione lo ha una funzionalità di JRC 3DReconstructor®, che permette di attivare o disattivare la visibilità di porzioni di modello, consentendo una facile analisi delle zone sulle quali intervenire.

Infine nello studio e nella rappresentazione dell'architettura è spesso necessario riprodurre alcuni elementi con risoluzioni superiori rispetto al modello più generale pur garantendo la gestibilità del modello 3D. La creazione di un modello tridimensionale completo da laser scanner con texturizzazione ad elevata risoluzione, risulta di difficile gestione per i personal computer attualmente in commercio, l'integrazione con la fotogrammetria può essere utilizzata per realizzare dei modelli misti fotogrammetrici/laser scanner in cui le zone con texture ad alta risoluzione sono ottenute attraverso un modello fotogrammetrico costruito mediante singola presa (figura 4.5).

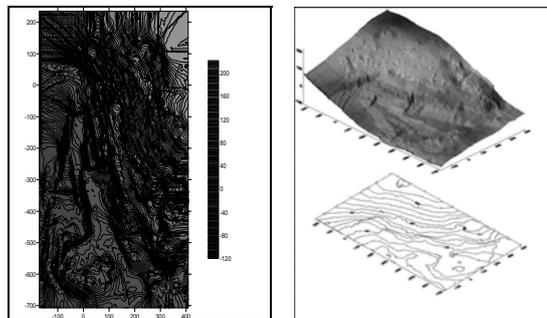


Figura 4.6: modello digitale con rappresentazione assonometria ed a curve di livello

Semplificazione dati per generazione DTM

La modellazione digitale del terreno risulta è uno dei principali ambiti applicativi delle scansioni laser terrestri o aeree, grazie alla possibilità di acquisire le coordinate di milioni di punti per ogni scansione. I campi di applicazione di tale tecnica di rilevamento possono essere numerosi:

1. Monitoraggio ambientale, come il monitoraggio di cave e discariche, il monitoraggio di ghiacciai, il monitoraggio di frane;
2. Ingegneria Civile e Militare,
3. Topografia, realizzazione di ortofoto.

I dati acquisiti con laser scanner (nuvola di punti) possono essere elaborati mediante modellatori di superfici per la produzione di mappe a curve di livello ed altre tipologie di mappa.

Per fare ciò le coordinate dei punti della nuvola possono essere esportate in formato testo contenente i valori X,Y,Z associati ad ogni punto.

Esportazione ed importazione di coordinate risultano essere il passaggio chiave per la realizzazione del modello, questo a causa delle differenti modalità di trattamento del dato tra software laser e software di modellazione. I principali aspetti da valutare sono:

1. I modellatori lavorano in un sistema spaziale che può essere definito come “2D ½”, ovvero le coordinate piane X,Y vengono organizzate secondo una griglia ordinata di valori, ad ogni punto della griglia viene poi associata una quota Z che deriva dall’interpolazione dei valori riscontrati in un certo intorno del punto, si perde così la corrispondenza diretta con le coordinate dei punti rilevati;

Generalmente gli algoritmi utilizzati nei software di modellazione non supportano la gestione di enormità di dati come quelli provenienti da scansioni a risoluzioni elevate, e si rende necessaria una vagliatura del dato (subsampling). Questa, per non far perdere significato al dato acquisito va fatta seguendo criteri di ottimizzazione, ad esempio può risultare efficace esportare i vertici di un modello triangolato

Integrazione fotopiani e nuvole di punti in AutoCAD

Le nuvole di punti acquisite risultano un ottimo supporto per estrarre le coordinate 3D di punti riconoscibili su fotografie esterne. Queste coordinate possono essere utilizzate per realizzare foto-raddrizzamenti di zone piane (per esempio con software tipo PhotoPlan by Kubit in AutoCAD. Questi fotopiani possono essere mantenuti in AutoCAD e visualizzati assieme alle nuvole di punti 3D importabili in AutoCAD attraverso opportuni software di gestione punti (per esempio PointCloud). I fotopiani possono essere anche trasformati in WRML e importati in JRC 3DReconstructor® ottenendo modelli integrati con zone piane molto semplificate.

CAPITOLO 5 L'approccio "VIRTUAL SCAN"

5.1 Riassunto

La tecnologia laser a scansione dalla sperimentazione si sta lentamente consolidando grazie al continuo sviluppo di software dedicati che mirano a diminuire gli elevati tempi di elaborazione e di estrazione degli elaborati finali. Il lavoro di disegno e misurazione direttamente in un ambiente di visualizzazione tridimensionale risulta infatti ancora di difficile gestione. Una delle problematiche in essere è, ad esempio, la restituzione di tavole classiche realizzate con strumenti CAD utilizzati dai disegnatori e non ancora in grado di gestire in modo efficiente i dati laser. L'approccio maggiormente seguito è l'estrazione di una ortofoto dal modello che viene fornita al disegnatore che può effettuare una mera operazione di ridisegno della tavola, perdendo molto spesso il contenuto tridimensionale del dato laser. All'interno del già descritto software JRC 3D Reconstructor sviluppato dal Non-Proliferation and Nuclear Safeguards Institute for the Protection and Security of the Citizen (IPSC) dell'European Commission Joint Research Centre di Ispra, viene proposta l'estrazione di scansioni virtuali per creare una immagine misurabile in tutte le tre dimensioni. La creazione di questa immagine quotata e l'interfaccia diretta con sistemi CAD, permette di leggere il modello tridimensionale per viste quotate, permettendo al disegnatore professionale di accedere facilmente al dato tridimensionale rilevato con laser a scansione e di restituirlo in forma vettoriale tridimensionale. Numerose esperienze in ambito architettonico, ingegneristico e territoriale hanno rivelato l'estrema efficacia della tecnica di scansione virtuale non solo per la fase di restituzione ma anche in molteplici fasi di gestione ed elaborazione dei dati. Tale soluzione, qui descritta, fa parte dei risultati ottenuti dal gruppo di ricerca operativo presso l'Università di Brescia che si è interfacciato con il JRC per l'attivazione di tale soluzione software.

5.2 Introduzione

Il laser a scansione, dopo una prima fase di sperimentazione, si sta rivelando uno strumento efficace in molteplici ambiti applicativi in cui sia richiesta rapidità e completezza nella raccolta di misure tridimensionali e informazioni geometriche. La molteplicità di strumenti disponibili sul mercato e variabili per portata, tecnologia di misura (tempo di volo, differenza di fase) e relativi tempi di scansione, accuratèzze, portabilità, integrazione con camere digitali, vengono adottati in svariati ambiti di applicazione. Sono ormai numerose le applicazioni con scanner laser in ambito architettonico, ingegneristico, industriale e territoriale.

Al miglioramento della parte hardware ha dovuto necessariamente seguire un sviluppo della parte software per gestire i voluminosi dati prodotti da tali strumentazioni.

La fase di gestione dei dati rilevati e la produzione di elaborati finali risulta ancora il fattore limitante in termini di tempi di produzione. E' stato valutato un rapporto variabile da cinque a dieci tra i tempi di elaborazione

dei dati e quelli di rilevamento. Molto spesso chi ha esperienza nell'interpretazione delle aree rilevate o nella produzione di disegni CAD, non ha familiarità con la gestione di dati tridimensionali ed è piuttosto abituato ad interpretare o elaborare dati bidimensionali (immagini digitali, orto-fotografie, disegni).

Tra le diverse problematiche incontrate in fase di elaborazione gli autori si sono concentrati su tre problematiche principali legate ad altrettante esperienze applicate: i) necessità di produrre tavole classiche realizzate con strumenti CAD a partire da dati laser, ii) necessità di fornire una documentazione misurabile ma facilmente interpretabile ad una utenza che non ha familiarità con dati tridimensionali, iii) necessità di integrare dati acquisiti con tecniche laser e con tecnologie topografiche tradizionali.

La soluzione software che è stata testata dagli autori per risolvere le suddette problematiche è uno nuovo strumento fornito dal software JRC 3D Reconstructor® (www.reconstructor.it) dell'Istituto IPSC del JRC di Ispra. Tale strumento denominato "Virtual Scan" permette l'estrazione di scansioni virtuali per creare una immagine misurabile in tre dimensioni.

I dettagli tecnici di tale strumento software vengono descritte nella Sezione 2. Lo strumento di scansione virtuale per gestire immagini digitali calibrate viene descritto nella Sezione 3. L'utilizzo di tale strumento viene esemplificato attraverso le applicazioni in tre diversi ambiti e documentato nelle relative Sezioni 4,5, e 6.

5.3 La tecnica di scansione virtuale

Lo strumento denominato "virtual scan" è una nuova tecnica di gestione dati 3D introdotta recentemente nel software JRC 3D Reconstructor. Tale strumento consente di posizionare un nuovo punto di vista all'interno dell'ambiente di visualizzazione dei dati tridimensionali e "scansionare" nuovamente l'oggetto tridimensionale da una posizione più adeguata per le fasi di gestione e di restituzione descritte nelle successive sezioni.

Le esigenze principali per cui è stato proposto e dunque dal JRC introdotto nel software questo nuovo strumento rispondono inizialmente a due necessità: i) riorganizzare i dati laser acquisiti in campagna secondo visuali che spesso non si riescono a garantire durante le fasi di acquisizione (presenza di ostacoli, spazi operativi ridotti) e sarebbero invece auspicabili in fase di restituzione (viste ortografiche, proiezioni sferiche o cilindriche di un oggetto); ii) integrare dati rilevati con sensori e/o tecniche diverse con modelli tridimensionali misurati o progettati in ambiente CAD.

Il processo di scansione virtuale avviene attraverso le seguenti fasi (figura 5.1):

- i) Posizionamento dei dati tridimensionali: all'interno dell'ambiente di navigazione tridimensionale. I dati gestibili all'interno del software non sono solo nuvole di punti rilevate da laser a scansione ma anche nuvole di punti misurate con strumentazione tradizionale o modelli a superfici provenienti da altri software di disegno CAD tridimensionale.
- ii) Definizione di un punto di vista e della modalità di visione (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica).
- iii) Definizione della risoluzione con cui verrà effettuata la scansione. In questo senso se si ha a disposizione un modello

continuo a superfici si potrà effettuare una scansione a risoluzioni elevate, se invece si opererà su nuvole di punti in ambiente tridimensionale (3D) si sarà in parte limitati dalla densità stessa dei punti. JRC 3D Reconstructor® prevede comunque la possibilità di aumentare la dimensione di visualizzazione dei punti e per interpolazione portare alla creazione di superfici locali tangenti a ciascun punto stesso.

- iv) Operazione di scansione virtuale e creazione di una nuova nuvola di punti strutturata secondo i criteri sopra descritti.

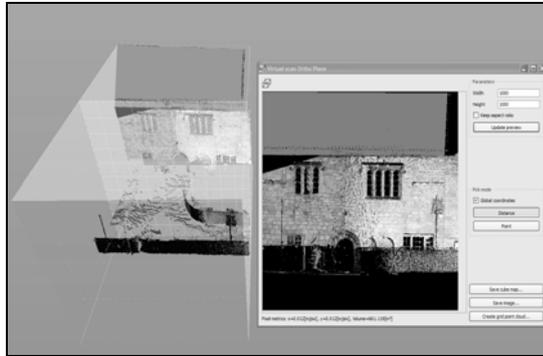


Figura 5.1 – Nella figura viene illustrata la fase di scansione virtuale con produzione di una immagine 2D con informazione di profondità- a destra- e la nuova nuvola 3 - sulla sinistra.

L'operazione di scansione virtuale consente perciò di organizzare in modo più adeguato i dati 3D visualizzati e si è rivelato particolarmente efficace per integrare nuvole sovrapposte in un'unica nuvola di punti a densità regolare quindi più facilmente interpretabile e generalmente più ridotta in termini di

memoria necessaria. I punti sovrapposti vengono infatti selezionati secondo una maglia di scansione unica e regolare. Come precedentemente accennato la proiezione di scansione può essere anche cilindrica o sferica: questo consente ad esempio di produrre viste 2D misurabili relative allo sviluppo di superfici cilindriche, come ad esempio colonne cilindriche, e sferiche, come ad esempio cupole.

5.4 Virtual scan per la gestione di immagine 2D

Lo strumento di scansione virtuale si è rivelato particolarmente efficace per gestire immagini 2D.

JRC 3D Reconstructor® consente infatti di calcolare parametri di calibrazione ed orientamento di foto acquisite con camere digitali non metriche e di importare immagini 2D acquisite con camere digitali solidali con i laser a scansione e relativi parametri di calibrazione (Sgrenzaroli, Wolfart, 2002; Sequeira et al, 1999).

Le immagini calibrate ed orientate vengono proiettate correttamente sulle geometrie rilevate in modo da ottenere modelli 3D testurizzati; nel contempo tali immagini orientate vengono gestite nel software come potenziali punti di vista per una scansione virtuale (figura 5.2). Se si procede a scansionare il modello 3D dal punto di vista di una immagine 2D calibrata si possono generare delle immagini bidimensionali esattamente corrispondenti alle originali immagini 2D, corrette dagli effetti di distorsione. Tali immagini hanno però per ogni pixel la corrispondente

coordinata geometrica dei punti in tre dimensione. Lo strumento di virtual scan può quindi essere usato per generare degli archivi fotografici completamente misurabili (Dequal, 2003).

5.5 Restituzione CAD per applicazioni architettoniche

La tecnica di scansione laser (Cantoni et al., 2002) consente di rilevare in tempi molto brevi molti dettagli geometrici utili al rilievo in ambito architettonico.



Figura 5.2 – La scansione virtuale effettuata alla stessa posizione di una camera fotografica con cui è stata effettuata una foto dell'edificio, consente di generare una immagine 2D analoga all'originale con le coordinate di ogni pixel note in 3D.

La fase di interpretazione dei dati laser 3D viene fatta a posteriori per via software. In tal senso il laser a scansione è molto efficiente per rilevare in tempi molto brevi geometrie complesse. Nel momento in cui si deve procedere alla fase di estrazione delle geometrie principali dal dato tridimensionale (nuvola di punti o mesh) per produrre tavole architettoniche tradizionali, il disegnatore si trova spesso in difficoltà nel disegnare direttamente in tre dimensioni su nuvole di punti spesso di difficile interpretazione e selezione.

Lo strumento di virtual scan si è rivelato particolarmente efficiente in queste fasi di restituzione grazie ad un ulteriore sviluppo che ha permesso di collegare l'ambiente di navigazione 3D nativo, con AutoCAD attraverso un applicativo proprietario (PointCloud di Kubit).

Un volta definita la proiezione con cui il dato 3D viene virtualmente

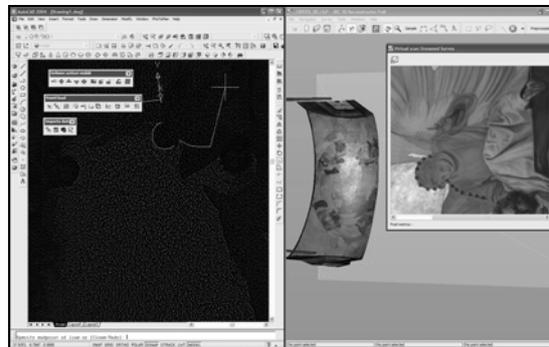


Figura 5.3 - Operazione di restituzione in AutoCAD degli elementi pittorici relativi alla cupola della Chiesa di Cristo Re a Brescia.

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

scansionato (prospettica, ortografica, cilindrica o sferica), viene generata una immagine 2D con informazioni 3D per ogni pixel. Un collegamento diretto tra JRC 3D Reconstructor® ed AutoCAD consente di sfruttare gli strumenti di disegno CAD ma selezionando le coordinate dei

punti da immagini 2D misurabili (virtual scan) o direttamente dai dati 3D. Tale metodologia di disegno si è rivelata particolarmente efficace nella produzione di tavole CAD relativa ad indagini su ammaloramenti o fessurazioni degli elementi architettonici

Nella figura 5.3 viene illustrata l'operazione di restituzione in AutoCAD degli elementi pittorici relativi alla cupola della Chiesa di Cristo Re a Brescia. Il disegno in AutoCAD viene effettuato direttamente attraverso il tracciamento di poli-linee 3D.

5.6 Creazione di archivi di immagini misurabili in ambito peritale

Il laser a scansione si è rivelato particolarmente adatto al rilevamento di aree sensibili soggette a rapide modifiche e/o pericolose. Qualora si debba in ambito peritale documentare in modo probante lo stato di un manufatto, il laser scanner consegnate in tempi brevi di raccogliere notevoli quantità di informazioni geometricamente corrette. Chi è preposto ad analizzare le informazioni raccolte è generalmente abituato ad analizzare immagini 2D che se pur facilmente interpretabili non contengono informazioni geometriche necessarie alle valutazioni

Nell'esempio riportato in figura 5.4 si è utilizzato lo strumento virtual scan dalle posizioni di acquisizione fotografica per generare un archivio fotografico misurabile e probatorio degli interni un capannone parzialmente distrutto da un incendio.

5.7 Integrazione di modelli tridimensionali territoriali

Lo strumento di scansione virtuale è stato testato anche per la gestione di



Figura 5.4 – Immagine 2D con informazioni 3D degli interni del capannone

dati laser da rilevamenti di tipo territoriale (Bostrom et al., 2006). Il caso analizzato fa riferimento alle operazioni di scansioni da terra di un vaso di una diga svuotata per operazioni di manutenzione in cui era necessario aggiornare in tempi rapidi il modello digitale interno. In questo caso non era possibile procedere con scansioni aeree e si è rilevato l'invaso con laser terrestre. Per le successive operazioni di elaborazione (estrazione di isolinee a quote prefissate, integrazioni con dati batimetrici e cartografici

esistenti) si è rivelato molto efficace la possibilità di scansionare i dati rilevati rispetto ad una proiezione ortografica nadirale all'invaso. Questa operazione di scansione virtuale (illustrata in figura 5.5) ha permesso di ricampionare i dati secondo una griglia regolare facilmente gestibile anche da applicativi specifici per la rappresentazione cartografica che non sarebbero in grado di gestire la mole di dati originali e operano più facilmente su dati cosiddetti "2D e mezzo". Il ricampionamento con virtual

scan con vista ortografica nadirale ha pertanto permesso di integrare le zone di dati sovrapposti e ottenere il modello digitale dell'invaso.

5.8 Conclusioni

Come mostrato dagli esempi applicati, lo strumento di scansione virtuale si

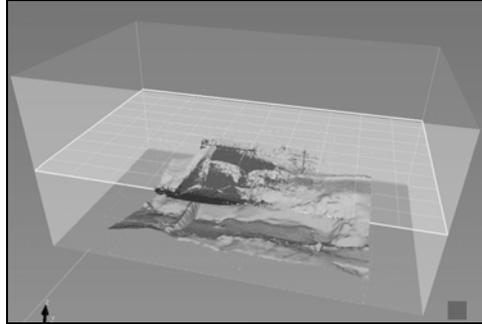


Figura 5.5 – Scansione virtuale ortografica di dati laser terrestri per la generazione di un modello digitale di un invaso di una diga. In verde il modello digitale finale in blu parte dei punti originali

e rivelato efficace per la soluzione dei problemi di gestione dati laser nella fase di integrazione e restituzione di elaborati finali. La soluzione di organizzare i dati secondo viste fotografiche associabili ad immagini acquisite in loco si è rivelata altresì di facile comprensione per chi non ha familiarità con dati tridimensionali.

In termini di verifiche future, alcuni testi

ulteriori andranno fatti sulle modalità di campionamento per verificare le accuratezze in caso di dati laser sparsi o rumorosi e valutare a priori le scale di restituzione che è possibile garantire a partire dai dati laser e fotografici.

In termini di sviluppi futuri si ritiene che una organizzazione dei dati laser secondo modalità fotografiche apra notevoli possibilità nella creazione di strumenti software dedicati per l'estrazione di informazioni da immagini 2D misurabili.

CAPITOLO 6 L'impiego di strumentazione laser per il rilevamento tridimensionale di edifici storici

6.1 Cultural heritage 3D reconstruction by laser scanner. An introduction

Here we present applied examples of laser scanner survey and data processing using phase measuring system. Beside the time of flight principle, the phase measurement principle represents another technique for medium ranges laser survey. High speed of acquisition, very high data density and resolution open new application frontiers in cultural heritage, but poses challenging problems with regard to data processing and 3D modelling. For example high reflectivity quality simplifies laser data investigation and photogrammetric texture mapping process. On the other side range scans dimensions requires multi resolution techniques for data processing. Survey approach and new software solution for data processing will be illustrated by means of applied examples on the field of cultural heritage

6.2 Introduction

In the last years, terrestrial laser scanner technology was proposed as useful and competitive approach for documentation of Cultural Heritage. It is commonly accepted that precise documentation of the status quo is essential for the protection of a building, for scientific studies, during restoration and refurbishment, but also for the presentation to the general public. Laser scanner technology allows to model objects in 3D with a density of measurements that cannot be acquired within a reasonable time frame with traditional technologies. Laser scanner can be defined both as imaging and non-imaging system due to the capability to acquire 3D measurement (non-imaging characteristic) with a resolution comparable to a digital picture (imaging characteristic). Completeness, accuracy and fastness are the peculiar characteristics for which laser scanner is generally accepted by survey community as a valid support for documentation and conservation of historic buildings, monuments or archaeological sites. Beside the most popular measurement system based on the time of flight principle, the phase measurement principle represents the other technique for medium ranges. Phase-based scanners, existing on the market since more than 10 years, were initially proposed as system for industrial applications. These systems are characterized by high speed of acquisition and very high data density and resolution. These characteristics can be considered peculiar for cultural heritage applications, but poses challenging problems with regard to efficient data processing and 3D modelling. In this paper we present applied examples of laser scanner survey and data processing using phase measuring system in the field of cultural heritage. The paper is structured as follows. In section 3 we briefly describe phase-shift systems characteristic and acquisition methods related to the specific application. In section 3 we focus on data treatment problems and software solutions. The application of hardware and software solutions for surveying a number of rooms inside Castello del Buonconsiglio – Trento (Italy) - are presented in section 4. Application results are described in section 6.

Conclusions and future perspective are reported in Section 6.

6.3 High density laser acquisition

Most of laser scanner application, also in Cultural Heritage applications, presented in last years makes use of time of flight scanning systems. 3D coordinates of an object are derived measuring the time the laser signal spent from the laser head to the object and back. Generally time of flight systems allow unambiguous measurements of distances up to several hundred of metres and are generally characterized by middle speed of acquisition. Beside the time of flight principle, the phase measurement principle is the other technique for medium ranges. High acquisition rate and high density of 3D point's acquisition are the peculiar characteristics of phase-shift systems. Several instrument configuration of the measuring head and of the internal mirrors are available for both the measuring technologies; the geometry of the laser field of acquisition can vary from a fixed window – like a digital camera - to approximately 360° field of view. It is not the principal aim of this paper to enter in the technical characteristics of laser system and more complete description can be found in bibliography. Table 6.1 briefly summaries the main differences from time of flight – based and phase-shift based systems.

Measuring System	Range [m]	Accuracy[mm]	Scan Rate[point/sec]
Time of flight	< 1500	< 20	up to 12.000
Phase shift	< 100	< 10	up to 625.000

Table 6.1. List of survey examples classified according to their geometric characteristic, data acquisition, and data processing

In the last years we applied 3D laser scanning technology - based on both the technologies - for surveying several large-scale objects: historical building, monuments, and archaeological sites.

The scan rate and consequently density of acquired points that mainly differentiate the two measuring technologies, determines also the acquisition methodology.

Laser acquisition requires a viewpoint planning phase in order:

- i) to reduce occlusion and shadows problems,
- ii) to avoid viewpoints too slope respect to the object;
- iii) to guarantee a uniform scan resolution;
- iv) to guarantee survey completeness.

Preliminary inspection of the site is fundamental for an efficient survey.

After a first visual inspection of the site to be scanned, the acquisition phase can start. Generally middle-long range laser scanners are controlled by means of a portable computer (PC). Laser control software generally allows to set up:

- v) scan area;
- vi) scan resolution;
- vii) target recognition (for scan registration or geo-referencing);
- viii) RGB camera acquisition (if available).

Time of flight scanners requires and efficient control especially for scan area and resolution to avoid long acquisition times. From an operational point of view the preliminary visual inspection must be followed by controlling the laser acquisition using an external PC for each scan view

acquisition. These actions are time consuming and they generally require an expert operator.

Phase shift scanners, in particular the type we tested, can acquire for example 10000 x 5000 number of pixels (points) with a horizontal field of view of 360° and vertical ones of 310° in few minutes (approximately 3 min and 22 sec). These acquisition characteristics guarantee a grid of points of 1,6 x 1,6 mm at 25 m. From an operational point of view after establishing the scan positions and the acquisition resolution, the acquisition phase can begin with scan control limited to verify if the acquisition is correct. Usually the reflectance image visualisation helps in this fast control. In we report the default values of scan resolution and relative times of acquisition in case of Low Noise and default acquisition modes for the scanner we tested.

Resolution	Points	Time(Low Noise)	Time(Default)
Super High	20,000 x 10,111	13 m 28 s	6 m 44 s
High	10,000 x 5,055	6 m 44 s	3 m 22 s
Middle	5,000 x 2,527	3 m 22 s	1 m 41 s
Low	2,500 x 1,263	1 m 41 s	50 s
Super low	1,250 x 631	50 s	19 s

Table 6.2.: Default values of scan resolution and relative times of acquisition of the tested scanner

Phase shift scanner acquisition can be compare to acquire high resolution



Figure 6.1. "Sala del Camin Nero"- Castello Buonconsiglio, Trento: reflectance image of a single scan acquisition acquired in 3 min and 22 sec.

photos with a panoramic camera, while time of flight scanner need an approach more similar to a normal photo-camera acquisition that need to zoom-in the details in order to guarantee resolution in reasonable time of acquisition. In other words with phase shift acquisition, the approach is to acquire

everything at high resolution and to postpone the data selection at the processing phase. The time of flight technology needs on-field selection of the areas to be surveyed at high resolution. It is anyhow important to emphasise again that a good planning phase of the laser acquisition is a fundamental step for both the described technologies in order to avoid uncompleted or uncorrected range scan acquisitions. In figure 6.1, a reflectance image relative to a single phase shift scan inside the "Sala del Camin Nero" (Castello Buonconsiglio, Trento) is a good exemplification of the "panoramic camera approach".

7.6 Software solutions for data processing

The survey strategy described for phase-shift laser acquisition, postpones the data selection and integration to the data processing phase. A fast on-field acquisition allows collecting big volumes of laser data at high resolution posing challenging problems with regard to data processing and 3D modelling.

Reconstructor® Software by European Commission (EU), Joint Research Centre (JRC) is actually used by International Atomic Energy Agency (IAEA) within the context of the activities referred as Design Information Examination and Verification. IAEA has to verify that the designed and purpose of nuclear facilities is as declared by State in accordance to non-proliferation treaty obligations.

Multi scale approach for data import and registration

Due to the huge memory space require by phase shift scans - more than one 1 GByte in uncompressed format - and the number of scan that can be acquired in very short time, the software was designed to works with a multi scale approach according to the following steps:

- Raw data are archived in an ordered manner and al the project hierarchy is saved in XML format. This organization is particularly useful for historical architectures where the database enables the quick browsing of the database of Buildings and Rooms. In figure 6.2 the data base view for the three surveyed rooms inside Buonconsiglio Castle is reported.

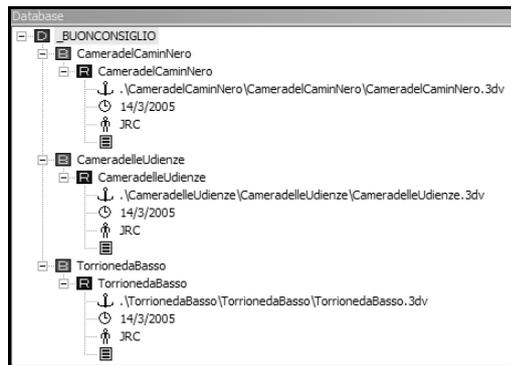


Figure 6.2: Data base built for three rooms inside Buonconsiglio Castle - Trento (Italy).

- Only Reflectance image is imported in the project (see figure 6.1) for each single scan with a sub sampling factor that guarantees both scene investigation and data processing with normal PC. A good compromise for high resolution scan (see table 6.2) is a sub-sampling factor of eight.

- The user can decide if i) the entire range scan (reflectance and 3D points) must imported or

if ii) range scan sub-windows are sufficient. In the first case software allows to import complete scan at an efficient resolution in term of resolution and memory space. At this stage it is also possible to facilitate the viewing and processing of a number of scans clustering the 3D data in hierarchical structures (e.g. Octrees or Binary trees). The clustering, called level of detail (LOD), is done off-line during the pre-processing and the structure is then saved to disk for later use. If the important features (such as targets, important decoration or painting) are localized in particular area, the user can zoom in the range scan and select the area of interest

- The pre-processing is performed immediately after data import and it includes: i) the computation of the local surface normal for each point measured by the scanner, ii) the evaluation of the reliability for each single measurement point, iii) edge detection, and iv) laser data noise reduction.
- The registration step allows transforming range data obtained from different viewpoints into a single reference frame. In particular

Reconstructor® Software provides two methods. The point-based registration method is based on the Iterative Closest Point (ICP) algorithm. The targets-based registration allows computing the transformation between the scan and external reference system. The accuracy of the resulting transformation depends on the precision with which the targets are scanned and localised in the scans. The possibility to extract targets sub-windows from high resolution scans facilitate targets detection. Registration parameters are automatically saved in the archived raw data so that roto-translation is automatically applied once a new range sub-window is extracted. The principal steps of the multi-scale approach are summarized in the following scheme (Figure 6.3).

Texturing and modelling at high resolution

Imported range scans can be further processed before extracting final results (i.e. cross section, ortho-photo, linear or surface measurement). Two different processes are applicable: texture mapping and meshing (triangulation).

Texture mapping

The purpose of texture processing is to integrate the 3D measurements

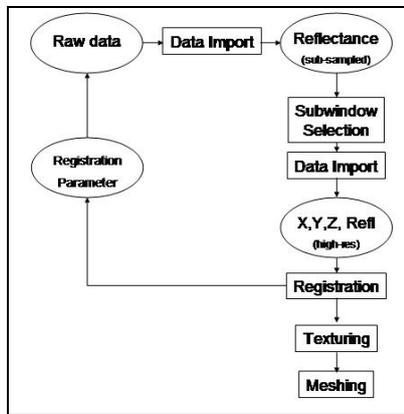


Figure 6.3: Principal steps of Reconstructor multi-scale approach

from the laser scanner with 2D information taken with an external camera. In order to project a 3D point into an image and thus assign a colour value, the software needs to know external and internal camera parameters. Through Reconstructor® Software, external and internal parameters for each image can be calculated using the 3D point cloud itself. The calibration algorithm needs a set of corresponding 2D coordinates from the image and 3D coordinates from the

point cloud to compute the required parameters. High reflectivity quality simplifies point selection. Figure 3 show the selection of 3D point from reflectance image (for each reflectance pixel, 3D coordinates are known) and 2D coordinates from a high-resolution picture.

If several images of the object have to be taken from different viewpoints, it is possible to mosaic them in a single texture, the images need to be balanced on a global per image basis and finally blended locally along the transition between images.

Data triangulation

Triangulation converts the set of raw 3D points into a triangulated surface. Principals aims of triangulation (meshing) process are: i) to converts the point-based data into a visually more intuitive representation (especially

when mapped with reflectance or texture data), ii) to reduce the amount of data, iii) for subsequent interactive processing (e.g. when extracting surface measurements or orthophotos, for visualization purposes and animations). Reconstructor® Software provides a per scan multi-resolution triangulation based on the 2D grid provided by the scanner. Through this method triangulation is relatively easy as the neighbourhood relations are given by the 2D grid. The algorithm is able to disconnect the mesh along depth discontinuities, and to maintain high-resolution triangles model discontinuity lines (see figure 6.5a).

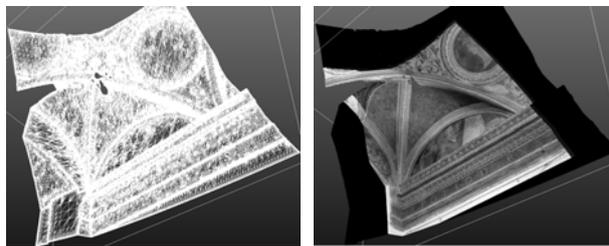


Figure 6.4. Reference points from the 2D image and corresponding 3D coordinates from range scan. Zoomed area in “Sala del Camin Nero” - Castello del Buonconsiglio, Trento.

6.4 Study examples

The combination between a phase shift scanners and Reconstructor® Software was tested in two different campaigns inside Buonconsiglio Castle in Trento city (Italy). The castle was the residence of the prince-bishops of Trento from the second half of the XIII century until the secularisation of the principality in 1803 and it consisting of different buildings constructed against the thirteenth century city walls.

We surveyed four painted rooms located inside the Palazzo Mango building, which was built under commissioned of prince-bishop Bernardo Cles (1514 - 1539), next to the oldest Castelvecchio building to be a magnificent residence inspired by Renaissance canons. Stua della Famea (or Locus refectionis) room was surveyed in the first campaign during restoration jobs. Laser scanner survey concentrates on ceiling characterized by frescos decoration and paintings. Main objective of the survey is to acquire the complex geometry of the ceiling to be combined with the simple geometry of the rest of the room surveyed with traditional topographic techniques. Despite the relative small planar dimension of the room (around 10m x 8m), nine scans were necessary to avoid shadows problems due to obstacles for the restoration purposes. Laser survey was completed in



(a) Mesh model (b) Textured model. The model corresponds to the area visible in figure 6.4.

around two hours at high resolution. Camin Nero, Udienze, and

Torrione da Basso rooms were full scanned with main objective of collecting the entire geometry of all the rooms and to produce textured models and orthographic views. Thanks to the 360° x 310° view of the scanner and to the lack of obstacles during the survey, few scans per room were necessary to have the complete geometry. In 1.30 hours laser survey was completed. In table 3 number of scan and time of acquisition (including scanning time only and survey logistic) for each room are summarized.

Room	N° scans	Acquisition time
Stua della Famea	9	2 h
Camin Nero	4	30 min
Udienza	4	30 min
Torrione da Basso	3	30 min

Table 6.3. Number of scan and survey time per room

In figure 6.6 the comparison between a phase shift scanner and high resolution panoramic photo is particularly notable. The irregular shape of Torrion da Basso rooms is difficult to be surveyed; the adopted scan technology is capable to acquire all geometric information in few minutes.

6.5 Results

The main objective of the Stua della Famea survey is to provide complete

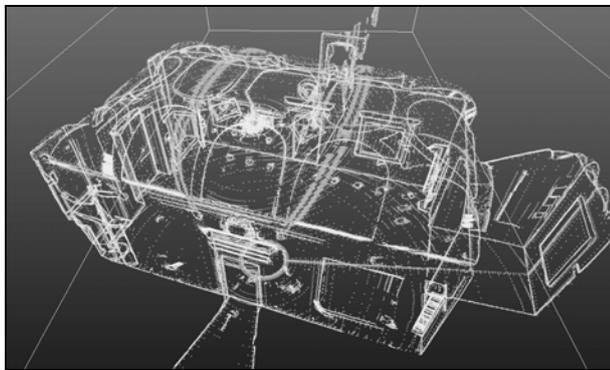


Figure 6.7. Dense point are preserved along the discontinuity line and simplified in flat areas using Reconstructor® multi-resolution meshing tool.

but simplified geometry of the ceiling. The geometric information has to be combined with traditional topographic survey of the remaining part of the room. The need to simplify the geometry, maintaining the important features, comes from the necessity of

producing simplified 3D models with software incapable to manage high density cloud of points. Reconstructor® multi-resolution meshing tool was used to simplified dense cloud of point. As shown in figure 6.7 dense point are preserved along the discontinuity line; the combined usage of point and edges allows to built simplified 3D model with modelling software like Rhinoceros or 3D StudioMax which are capable to handle reduced amount of points.

For Camin Nero Room, Udienze Room, and Torrione da Basso the main object is to produce a complete textured model from which extracting orthophotos and measurements. The point-based registration method, based on the Iterative Closest Point (ICP) algorithm, is used to join

together range scan relative to each rooms. Through the zooming approach, full resolution laser data are extracted from raw data in

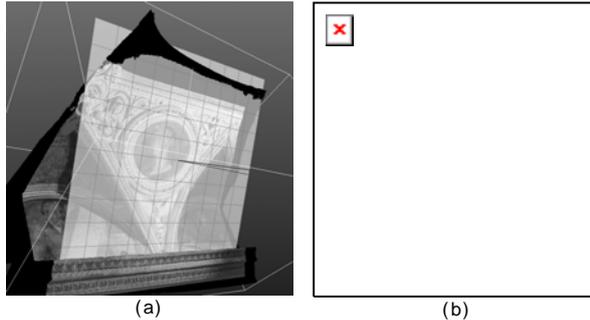


Figure 6.8. a) Orthographic projection plane definition, b) Orthophoto at high resolution

correspondence of the interesting pictorial areas where digital pictures are available. High resolution images are calibrated, re-projected and finally applied on mesh model obtaining a geometrically corrected 3D model

at high resolution. Virtual survey tools of Reconstructor® software are used to define the proper planes for orthographic re-projection. The textured model is orthographically projected according to defined plane (Figure 6.8a) and an orthographic picture (orthophoto) at high resolution can be produced (Figure 6.8b) For Camin Nero Room, Udienze Room, and Torrione da Basso the main object is to produce a complete textured model from which extracting orthophotos and measurements.

The point-based registration method, based on the Iterative Closest Point (ICP) algorithm, is used to join together range scan relative to each rooms. Through the zooming approach, full resolution laser data are extracted from raw data in correspondence of the interesting pictorial areas where digital pictures are available.

High resolution images are calibrated, re-projected and finally applied on mesh model obtaining a geometrically corrected 3D model at high resolution.

Virtual survey tools of Reconstructor® software are used to define the proper planes for orthographic re-projection. The textured model is orthographically projected according to defined plane (Figure 6.8a) and an orthographic picture (orthophoto) at high resolution can be produced (Figure 6.8b) Reconstructor® tools software are finally used to extract cross section and export point overlapped with relative raster orthophoto in AutoCAD® PointCloud (AutoCAD® plug-in by Kubit GmbH) is adopted for producing final architectonic draw. Through this tool is possible to import in AutoCAD dense cloud of points which are overlapped with orthographic picture. Architects or restorers can easily draw on 2D orthographic view or on 3D cloud of point.

6.6 CONCLUSIONS

Both laser scanner instruments and 3D data software are in continuous development.

Laser scanner development is mainly oriented:

- To reduce laser dimension and weigh.
- To increase accuracy and resolution.
- To increase range of acquisition.

- To reduce time of acquisition
- To increase accuracy in positioning laser head along the local verticality: the possibility to set instrument verticality with high accuracy should simplify geo-referencing phase.
- To acquire colours information using internal or external digital camera.
- To reduce laser control by external PC by simplifying acquisition set up and including memory unit inside laser machine.

Software Reconstructor® results efficient for high resolution data processing due to its multi-resolution approach. Texture mapping and meshing implies of course manual operation by expert user which is however reduced with a good acquisition planning and when dense cloud of points and high-resolution images are used.

Acknowledgements

The data used for the modelling has collected thanks to the collaboration with Arch. Piconese (Rovereto- Italy) and the gentle approval of Soprintendenza per i Beni Storico – Artistici Provincia Autonoma di Trento (Trento, Italy). High resolution digital pictures are provided by Arch. Piconese. The laser scanner used in these applications is the Imager 5003 by Zoller+ Fröhlich GmbH.

CAPITOLO 7 Il rilevamento dell'invaso di un bacino idrolettrico

7.1 Introduzione

Il presente contributo descrive la metodologia di rilevamento e di definizione del fondo del Bacino idroelettrico in località Roasco, presso il comune di Grosio (in val Grosina - Valtellina – Lombardia). L'obbiettivo è mostrare come con il laser scanner terrestre sia possibile rilevare con estrema rapidità ma contemporaneamente in modo certo e con accuratezze centimetriche la geometria del fondo del bacino (suotato) e dunque, i volumi e/o le variazioni di volume del materiale accumulato sul fondo dell'invaso.

Contrariamente a quanto accade con la strumentazione classica, in cui un operatore deve percorrere il fondo dell'invaso, per effettuare il rilevamento dello stesso, l'approccio laser a scansione permette di operare a distanza, con sistemi di rilevamento non a contatto e con una densità di punti impensabile con strumentazione classica o GPS. Il rilevamento effettuato a Roasco può rappresentare, grazie alle sue caratteristiche molto generali, un esempio di "modus operandi" applicabile nella maggior parte di applicazioni similari.



Figura 7.1

7.2 La strumentazione

Il rilevamento è stato effettuato con un laser scanner Riegl LMS Z420i funzionante a tempo di volo, caratterizzato da una portata di misura massima di 1200 metri e accuratezza nella misura della distanza di ± 1 cm, ha richiesto un'unica giornata di lavoro in campagna, con l'acquisizione di 12 scansioni laser. Ogni scansione, che va a formare una nuvola di punti, è stata acquisita con un passo angolare di scansione pari a 0,12 gradi sessadecimali, garantendo una densità media pari a circa un punto ogni 30 cm ad una distanza dallo strumento di ca. 150 metri. Con tali densità

di acquisizione l'unione di tutte le scansioni ha comportato la creazione di un modello di ca 28 milioni di punti.

7.3 La acquisizione e georeferenziazione delle scansioni

Le scansioni sono state georiferite posizionando in corrispondenza di alcuni vertici di coordinate planoaltimetriche o solo altimetriche note, dei target riflettenti, di forma cilindrica, appositamente progettati. Altri target sono stati posizionati in corrispondenza di coordinate incognite, e sono serviti unicamente per favorire la qualità dell'allineamento tra scansioni adiacenti. Il laser è stato controllato con il software RiScan Pro® di Riegl con cui è stata anche realizzata la prima "unione" delle scansioni, con riconoscimento automatico del centro dei target riflettenti, su cui è stata eseguita una scansione ad alta risoluzione indispensabile per una accurata unione tra le scansioni. In questo caso non è stato necessario effettuare alcun tipo di

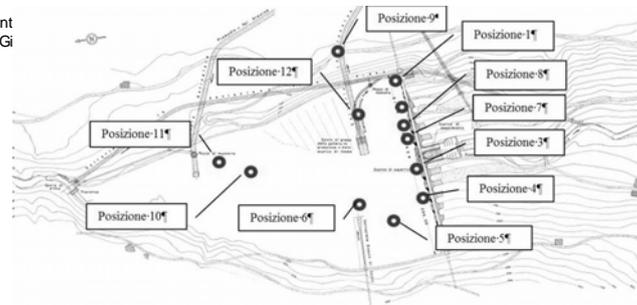


Figura 7.2

misurazione e calcolo della posizione dei target, con strumentazione classica (stazione totale o GPS), in quanto, come già ricordato, è stato possibile posizionare alcuni target in corrispondenza di vertici a coordinate già note.

7.4 Il trattamento dati e la realizzazione del modello stridimensionale

Il trattamento dei dati rilevati in campagna, che ha richiesto due giornate di calcolo in ufficio, ha visto un primo affinamento dell'allineamento delle scansioni tramite il software JRC 3DReconstructor® e in tale ambiente è stato generato un modello a superfici DSM. Dunque, sempre nell'ambiente del software sviluppato dal Centro Comune di Ricerca (CCR) di Ispra, (www.reconstructor.it), sono stati generati dei piani di riferimento rispetto ai quali sono stati calcolati i volumi e generate le curve di livello. Il modello tridimensionale è stato dunque esportato e gestito in ambiente AutoCad® e le nuvole di punti trattate impiegando l'applicativo PointCloud® di Kubit. Nello specifico, per regolarizzare il modello tridimensionale finale si è proceduto con interpolazione dei dati secondo l'approccio Kriging con griglia regolare di un punto ogni 60 cm, in modo da ottenere un modello sufficientemente denso ma al contempo gestibile in ambiente cad. Dal modello tridimensionale sono state estratte le isoipse con equidistanza di 2 metri, in analogia al precedente rilevamento eseguito nel 2004 con strumentazione classica.

7.5 Il calcolo dei volumi

Il modello triangolato ottenuto dal grigliato a passo 60 cm ha permesso il calcolo del volume dell'invaso rispetto a piani di riferimenti definiti rispetto alle quote dell'opera di presa della diga, del coronamento della diga e in corrispondenza di isoipse tracciate con equidistanza di 2 metri. In questo modo ciascuno dei piani di riferimento è stato calcolato il volume compreso tra il piano stesso e la superficie del fondo dell'invaso misurata con laser a scansione (volume di vaso) ed è stato restituito un valore in metri cubi. I risultati qui descritti mostrano

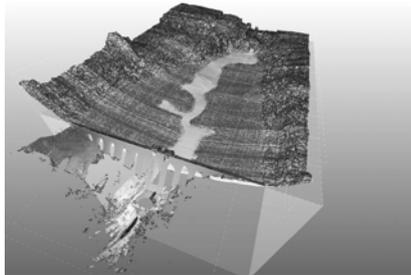


Figura 7.3

l'estrema efficacia del rilevamento con laser scanner rispetto ai metodi tradizionali. Se impiegato utilizzando la strumentazione hardware e software opportuna, l'approccio laser risulta imbattibile in termini di qualità del risultato (infatti il modello tridimensionale, a cui viene associata anche l'immagine fotografica, è geometricamente incontestabile) e ora, sempre di più, anche in termini di tempi e costi di acquisizione ed estrazione dei

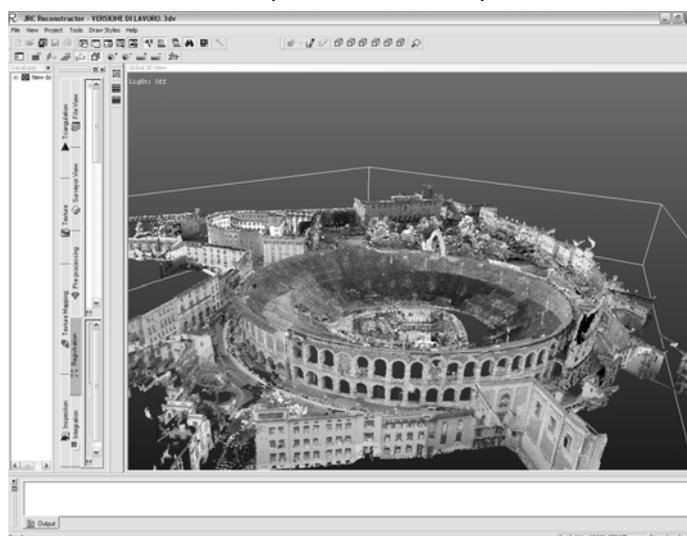


Figura 7.4: Il modello tridimensionale virtuale del centro storico di Verona (Piazza Brà)

risultati. Grazie alla potenza di calcolo di JRC 3DReconstructor è possibile gestire in un unico blocco tutto il rilevamento, fino ad arrivare alla gestione tridimensionale in tempo reale di porzioni di centri storici cittadini.