

# Laser scanner per il disaster management in ingegneria

di Giorgio Vassena

**L'**articolo descrive le scelte metodologiche, gli strumenti e le fasi del rilievo di una imponente struttura reticolare di copertura che ha subito un collasso. In casi di eventi di tale importanza risulta di estrema necessità il rilevamento e la documentazione dimensionalmente certa delle geometrie della struttura e degli elementi strutturali che la compongono, sia per fini legali, di pianificazione degli interventi di recupero e per ragioni assicurative.

Dovendo scegliere quale modalità di rilevamento adottare, nel caso di rilevamento di importanti dissesti in strutture di ingegneria civile, si sono dovute innanzitutto confrontare le diverse tipologie di rilievo che potevano essere attivate. Nel caso qui preso ad esempio, consistente nel crollo della struttura di copertura di una struttura metallica, è stata immediatamente scartata l'ipotesi di ricorrere alla stazione totale con distanziometro all'infrarosso, che avrebbe richiesto il posizionamento di una mira (prisma riflettore) su tutti i punti significativi che, in circostanze come questa, sono frequentemente non raggiungibili.

Anche l'approccio con stazione totale e distanziometro a impulsi senza prisma riflettente non è stato considerato praticabile, dal momento che, con tale approccio, la scelta dei punti da rilevare sarebbe dovuta essere eseguita a discrezione del rilevatore o dalle condizioni imposte al lavoro dal committente. Una volta eseguito il rilievo, inoltre, per ricavare ulteriori dati si sarebbero dovute ripetere nuovamente le operazioni di misura, cosa impossibile in quanto la struttura era destinata ad essere rimossa nel breve termine per permettere la ricostruzione dell'opera pubblica.

Scartando l'approccio fotogrammetrico, estremamente costoso e di impossibile applicazione per una geometria così complessa, si è dunque deciso di utilizzare il laser scanner, strumento in grado di superare tutti i problemi esposti offrendo anche altri vantaggi.

In particolare il rilevamento con laser a scansione unisce alla documentazione certa delle deformazioni subite, della disposizione spaziale degli elementi strutturali crollati e dello stato di fatto, l'integrità del dato e dunque la certezza e la

probatorietà delle geometrie misurate. Inoltre tale rilievo permette la conservazione dei dati di misura e la possibilità di ripetere le elaborazioni in tempi successivi e con metodologie diverse. Un elemento a svantaggio di questo approccio è la difficoltà, da parte del committente nell'accedere agli strumenti software specialistici per la misurazione diretta degli elementi visualizzati nel modello tridimensionale consegnato dalla ditta rilevatrice.

In tal senso il caso qui descritto ha rappresentato un interessante esempio dell'efficacia e della praticità di utilizzo dei nuovi strumenti software e laser messi a disposizione dell'utilizzatore finale.

## La campagna di misurazioni

A seguito del crollo strutturale (figura 1) è nata l'esigenza di documentare in modo certo la geometria della copertura e dei suoi elementi costitutivi prima delle operazioni di rimozione degli elementi strutturali; si è deciso dunque di procedere con un rilevamento tridimensionale realizzato mediante la tecnica del laser a scansione. Le tecnologie di scansione laser consente, come noto, una documentazione accurata delle geometrie degli oggetti visibili dai punti di scansione e garantisce la misurazione di geometrie complesse in tempi assai rapidi.

Le scansioni effettuate in due campagne di misura, hanno avuto una durata complessiva di due giorni, suddivise in due fasi, la prima antecedente e la seconda successiva al parziale smantellamento delle lastre di copertura della zona centrale, durante le quali sono state realizzate 15 stazioni di scansione che hanno permesso di documentare in tre dimensioni le geometrie significative degli elementi strutturali.



Figura 1: L'interno della struttura

La complessità dei collegamenti visivi tra i due spazi interni ancora accessibili e la parte centrale appoggiata al pavimento ha reso necessaria la realizzazione di una tradizionale rete topografica di inquadramento, con punti fissi opportunamente materializzati all'interno ed all'esterno del complesso sportivo. Rispetto a tale rete di inquadramento e appoggio sono state misurate le posizioni di alcuni bersagli collocati in modo da essere visibili dai punti di scansione. Si è così ottenuto di gestire in un unico sistema di riferimento sia le scansioni esterne che quelle esterne all'edificio medesimo.

La prima campagna di misurazioni ha visto l'acquisizione di 10 scansioni. Per le scansioni interne lo strumento è stato posizionato su un treppiede posto sul pavimento interno della struttura. Per il rilevamento della parte superiore esterna della struttura si è ricorsi ad un cestello elevatore che, per evitare oscillazioni, è stato fatto poggiare sul bordo della muratura

esterna. Dopo la rimozione di parte della copertura esterna, è stata effettuata la seconda acquisizione laser dal punto centrale dell'edificio stesso in corrispondenza della zona in cui la copertura esterna era poggiata sul campo da gioco.

La rimozione della copertura ha permesso di accedere a questa zona, prima non accessibile, per rilevare la geometria delle aste di sostegno precedentemente non visibili a causa della presenza delle lamiere di copertura. Ciascuna scansione (*range scan*) è costituita da una nuvola di punti tridimensionale acquisita a 360° in orizzontale e 310° in verticale con immagine in bianco e nero di riflettanza.

Attraverso l'applicativo *JRC 3DReconstructor* di EU-JRC fornito come visualizzatore, è stato possibile osservare e misurare, per ciascun *range scan*, sia la geometria tridimensionale rilevata, che l'immagine di riflettanza.

A titolo d'esempio vengono riportate in figura 2, 3 e 4 le immagini di tre scansioni rispettivamente all'interno della struttura, all'esterno dal carrello elevatore, dal punto centrale dopo la rimozione delle lamiere di copertura.

Ciascuna scansione ha consentito di misurare in dettaglio i particolari dei nodi delle aste visibili dai vari punti di scansione e le loro interdistanze (figura 5).

La scansione, effettuata con un laser a differenza di fase, ha permesso di operare con l'alta risoluzione e l'accuratezza garantite da questa tipologia di strumenti. Il risultato è stato assolutamente di grande interesse per i periti che avrebbero dovuto osservare, documentare e misurare nel tempo ed in modo certo le geometrie degli elementi strutturali. Interessante notare come in numerose applicazioni (come in questo caso), l'informazione fotografica è ben sostituibile dall'informazione di riflettanza, che rende la prima assolutamente superflua.

In tabella 1 si riportano le caratteristiche strumentali dello strumento impiegato, un laser scanner Imager 5003 by Zoller+Fröhlich GmbH.

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

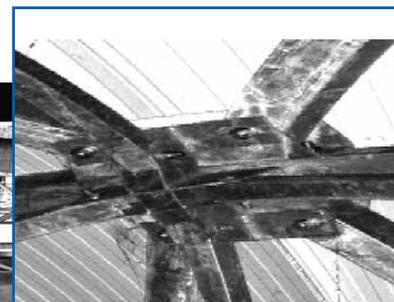
A sinistra rispettivamente:

Figura 2: Scansione interna

Figura 3: Scansione esterna

Figura 4: Scansione centrale dopo la rimozione della copertura

Figura 5: Dettaglio scansione interna n° 1



### Trattamento dati laser

Effettuate le due campagne di misura si è proceduto al trattamento dei dati grezzi unendo tra loro le scansioni e riferendole al sistema topografico di inquadramento, misurato con stazione totale e materializzato tramite piani target posizionati sulla struttura. Nelle successive immagini vengono illustrate le posizioni dei target sulla scansione interna (figura 6 e 7) e l'individuazione dei target ad alta risoluzione per l'assegnazione delle coordinate misurate per via topografica.

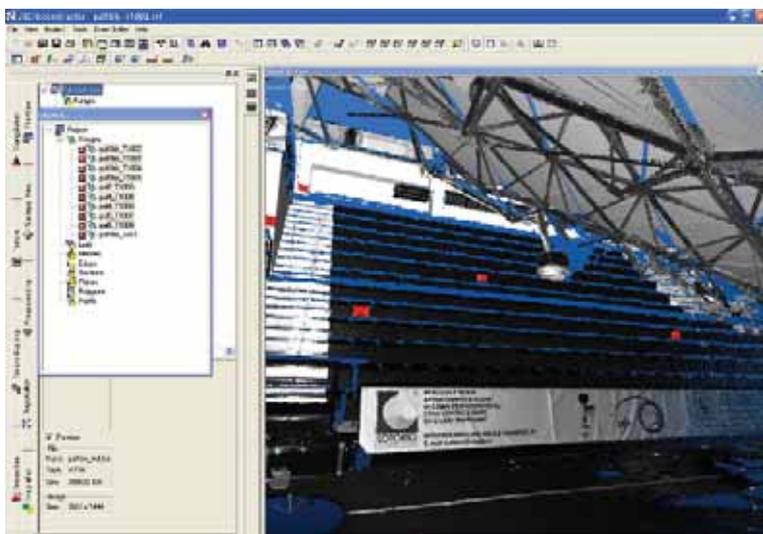


Figura 6: Posizioni dei target sulla scansione interna

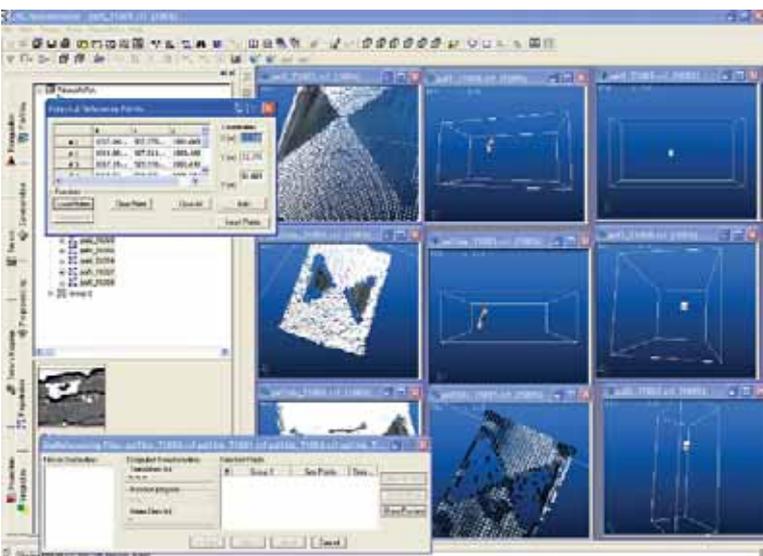


Figura 7: L'individuazione dei target ad alta risoluzione per l'assegnazione delle coordinate misurate per via topografica

Le scansioni sono state in questo modo unite tra di loro per garantire la visibilità degli elementi geometrici della struttura collassata, così come si presentavano dai vari punti di scansione laser.

Nella figura 12 viene illustrata una delle fasi di giunzione delle scansioni in cui sono stati automaticamente minimizzati gli scostamenti tra scansioni nelle zone di sovrapposizione dei punti. Dopo l'unione delle scansioni e la pulitura dei dati ridondanti si è proceduto all'organizzazione del progetto finale e all'esportazione di alcuni risultati in AutoCAD.

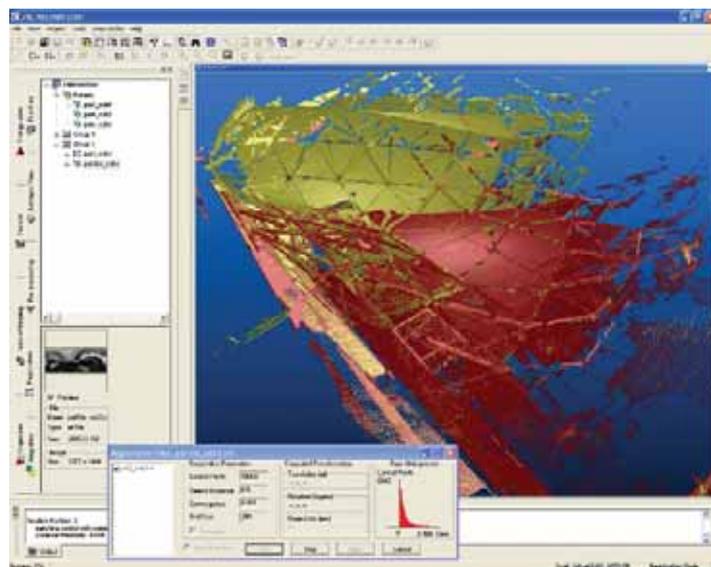


Figura 8: Fase di giunzione delle scansioni in cui vengono automaticamente minimizzati gli scostamenti tra scansioni nelle zone di sovrapposizione dei punti

### Estrazione informazioni e materiale consegnato

I dati acquisiti ed elaborati potevano a questo punto essere consegnati al committente in diverse modalità.

La modalità adeguata ad un committente con buone capacità di impiego di software specialistici, avrebbe permesso la consegna del modello tridimensionale completo, unito ad una licenza temporanea del software *JRC 3DReconstructor* ([www.reconstructor.it](http://www.reconstructor.it)). Nel caso il cliente avesse preferito operare all'interno del mondo AutoCAD, si poteva consegnare la nuvola di punti in un formato leggibile dal software PointCloud di Kubit ([www.kubit.it](http://www.kubit.it)), un plug in di AutoCAD che permette di importare in tale programma grandi nuvole di punti. Infine, per l'utente non in grado di accedere a tali applicativi software, invece del modello tridimensionale, potevano essere consegnate delle scansioni virtuali del modello medesimo interrogabili tramite software di semplice utilizzo, quali *3Dmanager*. Tali applicativi permettono di interrogare la scansione virtuale, visualizzando a monitor un'immagine, che però contiene l'informazione tridimensionale completa.

Nel caso specifico i dati sono stati organizzati in un progetto del software di *JRC 3DReconstructor* che ne consente la visualizzazione e, se attivato (anche in versione temporanea), permette di misurare gli elementi geometrici rilevati, di estrarre sezioni e di esportare nuvole di punti in AutoCAD.

E' stato così possibile effettuare misure lineari, definire ed estrarre sezioni ed esportarle in formato DXF, estrarre in automatico le linee di discontinuità (*edges*), esportarle in formato DXF (Figura 9), esportare nuvole di punti in AutoCAD in formato PTC per PointCloud.



Figura 9: Estrazione di informazioni dal modello 3D



Figura 10: tavola andamento cornici ante e post evento

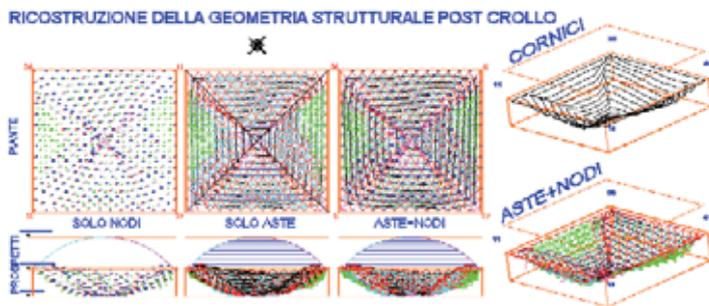


Figura 11: tavola di analisi degli elementi strutturali

Si ringrazia il geom. Flavio Chiavaroli per la collaborazione nella fase di elaborazione dati e predisposizione degli elaborati grafici.

**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: proiezione di un raggio, di un fascio di luce o di un pattern sull'oggetto e analisi del segnale di ritorno.

**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.

**Cos'è il 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 scandisce in modo regolare l'oggetto da rilevare.

Grazie alla griglia regolare d'acquisizione è possibile organizzare i dati di riflettanza in un'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.

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.

Produttore	Modello	Tipo	Range	Velocità max	Campo visivo
			[m]	[punti/sec]	[gradi]
Trimble	GX-3D	Impulsi	350	5000	360° x 60°
	GS 200 3D	Impulsi	350	5000	360° x 60°
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°
Riegl LMS	HDS 2500 (Cyrax)	Impulsi	100	1000	40° x 40°
	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°
Mensi (Trimble)	LMS-Z420i	Impulsi	350/1000	8000/11000	360° x 80°
	S25	Triangolazione	25	100	320° x 46°
	S10	Triangolazione	10	100	320° x 46°
	GS 200	Impulsi	350	5000	360° x 60°
Zoller+Fröhlich GmbH	GS 100	Impulsi	150	3000	360° x 60°
	3D IMAGER 5006	Diff. fase	79	500000	360° x 310°
Optech	3D IMAGER 5003	Diff. fase	25.2/53.5	625000/500000	360° x 310°
	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°

*I diversi modelli di laser scanner disponibili sul mercato. Non è riportato il nuovo strumento di Topcon, che è stato appena presentato al SAIE, e di cui al momento della chiusura di questo numero, non erano ancora note le caratteristiche tecniche.*

## Riferimenti bibliografici

L'allegato è estratto dal testo di recente pubblicazione dal titolo:

*Tecniche di rilevamento tridimensionale  
tramite laser scanner*

**Volume 1 – Introduzione generale**

A cura di

Matteo Sgrenzaroli e Giorgio P. M. Vassena

Starrylink Editrice

12 euro

## Autori

GIORGIO PAOLO MARIA VASSENÀ - Università degli Studi di Brescia - DICATA - [giorgio.vassena@unibs.it](mailto:giorgio.vassena@unibs.it)

MATTEO SGRENZAROLI – Topotek srl  
[sgrenzaroli@topotek.it](mailto:sgrenzaroli@topotek.it)

GIOVANNI MATALONI - Università degli studi  
G. D'Annunzio - Chieti – [g.mataloni@unich.it](mailto:g.mataloni@unich.it)

FRANCESCO PAOLO DI CESARE - docente a contratto  
Università degli studi G. D'Annunzio – Chieti