

## Tecniche LIDAR per il controllo di simmetria della carena di una nave

Leandro BORNAZ (\*\*), Fabio DAGO (\*\*), Andrea LINGUA (\*), Mario NATTERO (\*\*\*),  
Francesco NEX (\*)

(\*) Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie, 10129  
Torino (TO), tel. 011/0907657, fax 011/0907699, (andrea.lingua, francesco.nex)@polito.it

(\*\*) SIR s.r.l. Soluzioni Innovative per il Rilevamento, Corso Castelfidardo, 30/A, 10129 Torino, Tel. (+39)  
011.564.5123, (leandro.bornaz, fabio.dago)@sir.to.it

(\*\*\*) Studio Ingegneria Navale Nattero, Via Al Molo Giano, 16128 Genova, Tel. 010/2475184, info@aliso.it

### Riassunto

Il controllo della carena rappresenta un aspetto fondamentale nella costruzione di una nave. Gli strumenti laser scanner terrestre attualmente in commercio permettono di rispondere adeguatamente alle esigenze di cantiere sia in termini di velocità di esecuzione del dato sia in termini di precisione. D'altronde anche gli strumenti di elaborazione messi a punto in questi anni consentono di trattare rapidamente i dati e di fornire le informazioni necessarie ai controlli durante la costruzione.

In questo articolo viene appunto proposta una procedura di rilievo su una nave in fase di costruzione allo scopo di valutarne la simmetria del bulbo di prua. In particolare sono state analizzate, anche in questo campo, le potenzialità degli strumenti e degli algoritmi messi a punto in questi anni, comunemente utilizzati per rilievi in campo architettonico ed ambientale.

### Abstract

The quality control of the ship hull during its construction is fundamental. On trade Terrestrial Laser Scanners allow to acquire data with fast scans reaching good accuracy. On the other hand, available software tools process data giving the requested information to ship builders.

In this paper, a new ship surveying procedure is shown. The aim of this work is the symmetry evaluation of the bulbous bow. In particular, the performances of the algorithms thought up for environmental and architectural surveys are analysed.

### Introduzione

Le tecniche LIDAR terrestri furono originariamente ideate per applicazioni di tipo industriale. Negli ultimi anni, tuttavia, hanno conosciuto una diffusione maggiore in campo ambientale, architettonico ed archeologico. Tale tecnica viene sovente preferita alle altre topografiche tradizionali in quanto permette di acquisire molte informazioni riducendo al massimo i tempi di acquisizione.

Nell'ambito delle costruzioni navali il rilievo degli scafi è tradizionalmente eseguito mediante l'uso di stazioni totali e distanziometri senza prisma. Lo scopo di questi rilievi è essenzialmente quello di controllare in fase di costruzione la congruenza di quanto realizzato con il progetto, oppure di fornire le informazioni in fase di restauro per la progettazione di nuove contro-carene ed il calcolo dei volumi dello scafo, laddove manchino elaborati attendibili. Con questi rilievi si ottengono dati poco densi, da cui si ha un'informazione solo parziale delle irregolarità dello scafo, peraltro condizionati da tempi di acquisizione abbastanza lunghi.

In questo contesto le tecniche LIDAR possono essere pertanto applicate per ottenere un dato più denso e con tempi di acquisizione molto inferiori. Il problema come sempre quando si usano questi dati è disporre di strumenti software che ne permettano la corretta interpretazione in termini rigorosi e l'efficace estrazione dei parametri di analisi utili al costruttore dello scafo. In letteratura sono

presentati numerosi lavori di rilievo in campo industriale (Pfeifer ed al., 2004) fra cui alcuni esempi di rilievi navali (Biskup ed al., 2007; Arias ed al., 2007). In questi lavori lo scopo del rilievo è quello di realizzare un modello tridimensionale dello scafo utile nel calcolo dei volumi di carena e nella progettazione delle contro-carene. Questo genere di informazione, tuttavia, risulta di difficile gestione qualora lo scopo del rilievo sia il controllo in fase di costruzione, in particolare la verifica della simmetria dello scafo. Per questo motivo, il rilievo laser scanner è stato ricondotto ad informazioni per così dire più semplici quali le sezioni longitudinali, trasversali ed orizzontali. Da queste, infatti, risultano immediatamente verificabili la congruenza delle linee d'acqua con il progetto e la loro simmetria. Per far questo sono state implementate nei software Sir-IO, già in uso, nuove funzioni di elaborazione che saranno presentate nel seguito.

### Acquisizione dei dati

Il rilievo durante la costruzione ha essenzialmente la funzione di verificare la corrispondenza di quanto è stato già realizzato con il progetto della nave. Per questo motivo le condizioni in cui si eseguono i lavori sono sovente disagiati e l'ambiente in cui si opera non è certo "preparato" per l'esecuzione del rilievo; anche i tempi a disposizione per l'acquisizione devono essere i più ridotti possibili per non intralciare le operazioni di cantiere.

Nello specifico, la superficie della nave era nascosta dai ponteggi del cantiere, come è possibile vedere nelle immagini riportate di seguito. Per ottenere una nuvola di punti completa della zona da analizzare è stato quindi necessario eseguire 10 scansioni attorno alla zona da rilevare, a distanze e a quote differenti. Visto l'elevato numero di scansioni è stato inoltre necessario collocare 29 marker, in vicinanza dello scafo e sulle pareti del capannone di carenaggio, posti ad altezze differenti in modo da garantire "robustezza" all'allineamento fra le scansioni.



*Figura 1 – Condizioni operative in cui è stato eseguito il rilievo*

L'esecuzione del rilievo è stata realizzata con il laser scanner *Zoller-Frohlich Imager 5003* il quale ha permesso di acquisire il dato con le precisioni richieste ed in tempi molto ridotti. Quest'ultimo aspetto ha permesso di superare le difficili condizioni di lavoro intralciando il meno possibile i lavori di cantiere e permettendo di ottenere un dato il più possibile completo con pochi minuti per ogni scansione. L'intero rilievo laser scanner è stato completato in poco più di 2 ore al termine delle quali sono stati acquisiti quasi 60 milioni di punti.

Per unire ed integrare correttamente l'insieme delle acquisizioni laser effettuate i marker posizionati sono stati misurati mediante una rete topografica formata da 4 stazioni e 29 vertici, come è mostrato in figura 2. Le misure sono state condotte con la *Smart Station (Leica Geosystem)*, eseguendo misure ridondanti su ciascun vertice (regola di Bessel su più strati).

Type	Velocità acquisizione	Precisione	Campo di vista
Zoller-Frohlich Imager 5003	Media: 125.000 px /sec.	Distanza: $\leq 3\text{mm}$	Verticale: $310^\circ$
	Max: 625000 px /sec.	Divergenza raggio: 0.22 mrad	Orizzontale: $360^\circ$

Tabella 1 – Caratteristiche tecniche dello strumento utilizzato

## Elaborazione dei dati

### Rete di inquadramento topografica

La rete di inquadramento topografica è stata realizzata con lo scopo di determinare la posizione dei punti presegnalizzati (marker). Le rete topografica di riferimento è stata compensata con procedimento ai minimi quadrati con software topografico Star\*Net, ottenendo precisioni millimetriche nelle tre dimensioni su tutti i marker della rete.

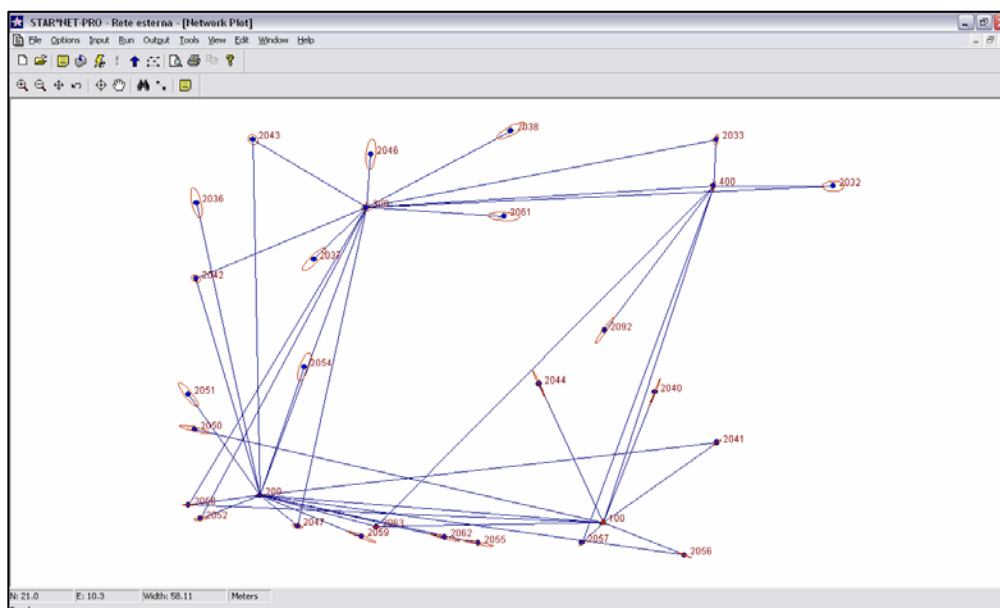


Figura 2 – Rete topografica di inquadramento

### Dati laser scanner

L'elaborazione dei dati acquisiti mediante laser scanner consiste nell'insieme delle operazioni dalle quali si ricavano prodotti finali utili per l'estrazione delle informazioni di interesse (modello 3D a colori, immagine solida, ortofoto di precisione, ecc.).

In questo caso sono state eseguite le seguenti operazioni secondo la ormai nota pratica di trattazione:

- Ricerca di punti presegnalizzati all'interno della scansione laser (marker);
- Filtratura della nuvola di punti (mediante filtro mediana) per l'eliminazione degli errori di acquisizione (outliers e gross errors) e del rumore presenti;
- Eliminazione dei punti non contestualmente legati all'oggetto (ad es. punti di sfondo o di primo piano o nel caso specifico della nave i ponteggi presenti in cantiere);
- Allineamento automatico di modelli tridimensionali adiacenti mediante triangolazione laser;
- Georeferenziazione delle nuvole di punti in un sistema di riferimento esterno noto a priori (nel caso specifico si è provveduto a determinare un SdR con asse delle ordinate all'incirca parallelo all'asse della nave);

I dati acquisiti sono stati elaborati, secondo le fasi elencate in precedenza con Sir-IO (vedi figura 3), il software di elaborazione e gestione dati geomatici sviluppato da Sir Soluzioni Innovative per il Rilevamento s.r.l. in collaborazione con il Gruppo di Ricerca avanzata in geomatica del DITAG - Politecnico di Torino.

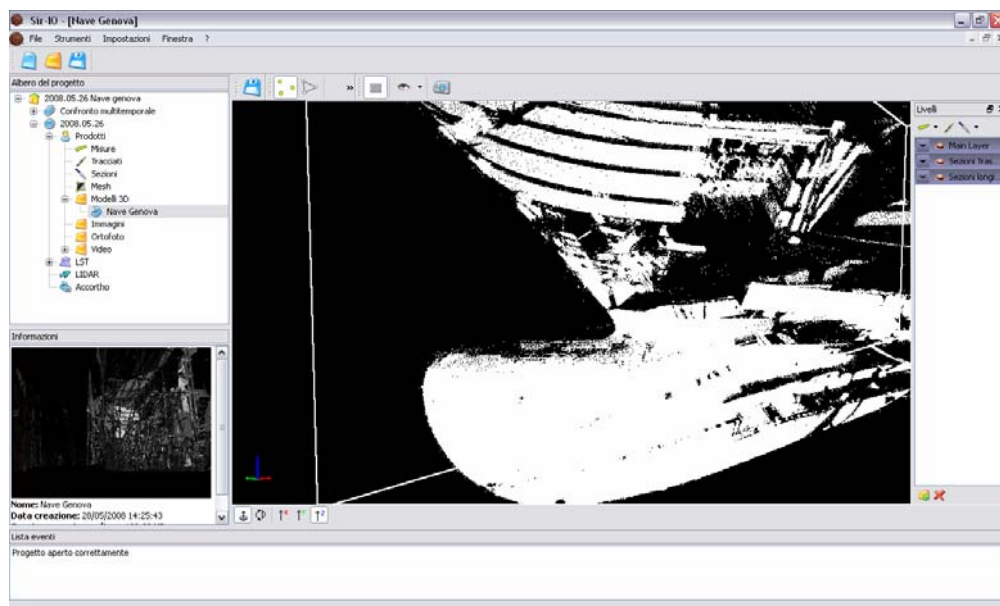


Figura 3 – La nuvola di punti della nave durante le fasi di elaborazione con Sir-IO

Il risultato ottenuto è una nuvola di punti complessa e completa dell'oggetto. Come si nota in figura 3, nonostante l'elevato numero di scansioni eseguite, rimangono sul modello alcune zone prive di dato. In particolare, la zona del bulbo in cui sono state concentrate le scansioni risulta essere la più completa. Dall'analisi di questa area saranno ottenute le informazioni per la valutazione degli assi di simmetria.

#### Analisi della carena

Per valutare i caratteri costruttivi principali del bulbo di prua della nave è stato innanzitutto determinato il piano di simmetria dello scafo; non disponendo del rilievo dell'intera imbarcazione si è definito tale piano solo in corrispondenza della zona prodiera della nave.

Assumendo che l'imbarcazione fosse disposta verticalmente sono state dapprima selezionate ad intervalli regolari strisce di punti orizzontali del modello mediante una apposita funzione di Sir-IO. Per ogni striscia è stata determinata l'equazione dell'asse di simmetria mediante un processo iterativo ai minimi quadrati. Così facendo è stato possibile condurre un'analisi puntuale della simmetria per ogni sezione che ha permesso:

- la valutazione della simmetria attraverso il test di simmetria (*Skewness test*);
- la generazione di grafici della distribuzione delle asimmetrie, come mostrato in figura 4.

In generale le differenze fra un lato e l'altro del bulbo ( $\Delta$ ) sono state al di sotto delle tolleranze di progetto; in tabella 2 sono riportati i valori medi ricavati nelle sezioni.

Dal confronto delle equazioni degli assi di simmetria delle diverse sezioni sono state inoltre verificate le rotazioni dell'asse al variare della quota. Tali rotazioni sono state al massimo intorno al decimo di grado e i parametri degli assi sono stati statisticamente costanti superando il test *t-Student* ( $\alpha=0,01$ ). Il piano di simmetria del bulbo è stato quindi determinato mediante la stima pesata degli assi ottenuti alle diverse quote.

Coef. di Skewness medio	$\Delta$ medio [m]	S.q.m. delle $\Delta$ [m]
0.0057	0.001	0.014

Tabella 2 – Risultati medi simmetria del bulbo di prua

Una volta stimato questo piano è stato possibile definire le sezioni longitudinali (parallele al piano di simmetria) e verticali (perpendicolari al piano di simmetria). Anche in questo caso ogni sezione è stata inizialmente definita come una striscia di punti giacenti nell'intorno del piano di sezione (vedi figura 5a).



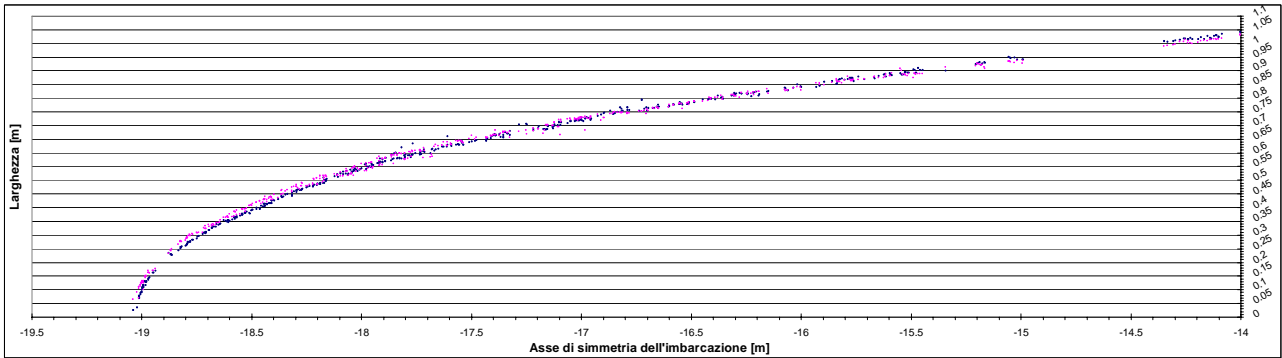


Figura 4 – Esempio di analisi puntuale di simmetria del bulbo dell'imbarcazione (quota 2.2 m)

Questi insiemi di punti, tuttavia, risultano poco maneggevoli e non forniscono informazioni facilmente confrontabili con il piano di costruzione della nave. A tale scopo è stato implementato sul software Sir-IO un algoritmo di scheletrizzazione (*skeletonization*) capace di generare automaticamente le linee di carena a partire da strisce di punti (vedi figura 6). Tali linee sono state registrate nel database del progetto e successivamente esportate in formato CAD (figura 5b).

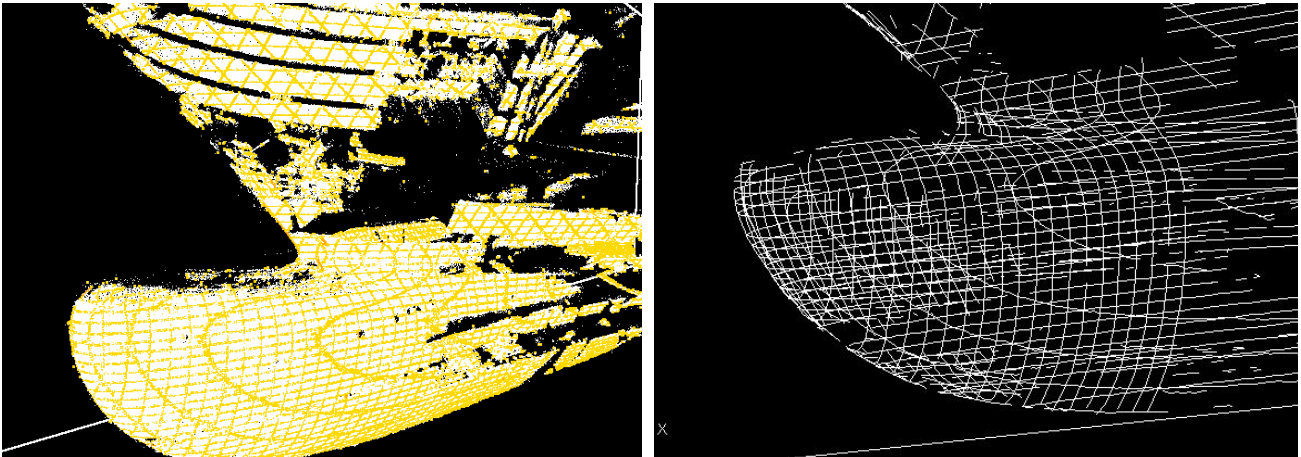


Figura 5 – Estrazione con Sir-IO delle sezioni (5a) ed esportazione delle polilinee in CAD (5b)

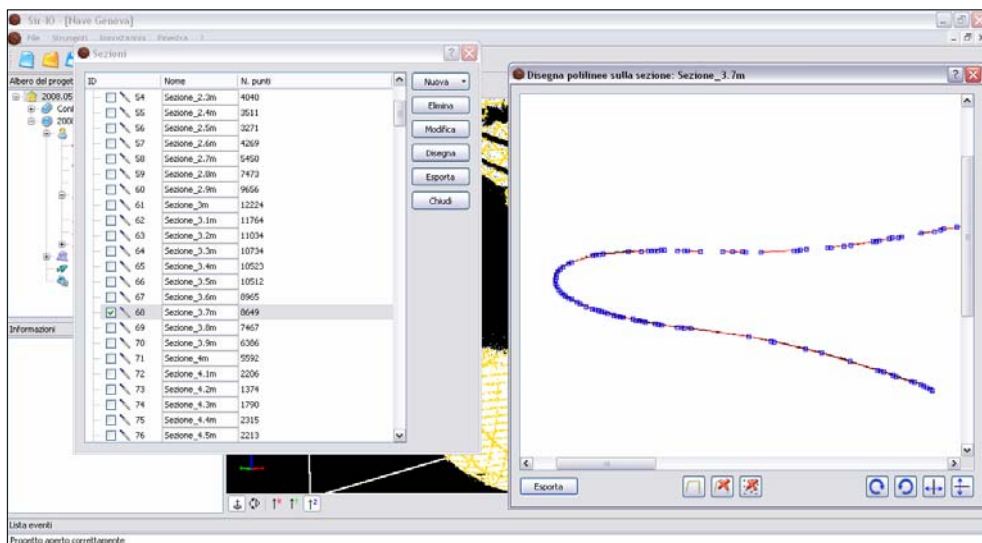


Figura 6 – Estrazione delle sezioni e profili della carena della nave in Sir-IO

Le sezioni sono state associate a *layer* differenti nel sistema di riferimento della sezione (2D) e al sistema di riferimento topografico di inquadramento (3D) (vedi figura 6). E' stato possibile in questo modo confrontare in modo semplice gli elaborati di progetto con l'oggetto costruito.

### **Conclusioni e sviluppi futuri**

I risultati ottenuti possono considerarsi incoraggianti in quanto hanno dimostrato come gli strumenti laser scanner attualmente in commercio permettano di ottenere le informazioni richieste in tempi compatibili con le esigenze del cantiere. Rispetto alle stazioni totali, attualmente in uso nel settore cantieristico, i laser scanner consentono con un solo rilievo di ottenere un modello completo dello scafo con precisioni dello stesso ordine di grandezza, utilizzabile anche successivamente per ulteriori misure. Tuttavia, i tempi di elaborazione dei dati LIDAR sono ancora superiori rispetto a quelli delle tecniche tradizionali anche se sicuramente migliorabili attraverso una maggiore automazione, come è stato dimostrato in questo contributo.

Il rilievo descritto ha infatti permesso di implementare nuove funzioni utili nelle analisi e nei controlli durante la realizzazione di uno scafo (assi e piani di simmetria, sezioni, ecc.) rendendole maggiormente rapide ed automatiche. Tale lavoro ha comportato un attento lavoro di adattamento e miglioramento degli strumenti già messi a punto in ambito ambientale (Bornaz ed al., 2002) e civile (Chiabrando ed al., 2008), al fine di fornire un risultato finale utile ad applicazioni di questo genere. Nel futuro saranno eseguiti altri test su imbarcazioni per verificare il funzionamento degli strumenti messi a punto e per valutare con maggior accuratezza le precisioni raggiunte da questi rilievi utilizzando superfici test.

### **Biografia**

Chiabrando F., Nex F., Piatti D., Rinaudo F., 2008. "Integrated Digital Technologies To Support Restoration Sites: A New Approach Towards A Standard Procedure", *Conference of Virtual Systems and Multimedia dedicated to Cultural Heritage*, Lymassol, Cyprus, 20-26 Ottobre 2008

Biskup K., Arias P., Lorenzo H., Armesto J. (2007), "Application of terrestrial laser scanner for shipbuilding", *ISPRS Workshop on Laser Scanning and SilviLaser 2007*, Espoo, 12-14 Settembre, Finland, pp.56-61

Pfeifer, N., Lichti, D., 2004. "Terrestrial Laser scanning: Developments, Applications and Challenges", *GIM International*, December 2004.

Arias p., Armesto J., Lorenzo H., Ordonez C. (2007). "Terrestrial Laser technology in sporting Craft 3D Modeling. *Proceedings book of the International Symposium CompIMAGE 2006: Computational Modeling of Objects Represented in Images: Fundamentals, Method and Applications*. ISBN 978-0-415-43349-5 Vol.1,pp.63-69. 2007. Taylor & Francis Group. London, United Kingdom.

Bornaz L., Lingua A., Rinaudo F. (2002). "Engineering and environmental applications of laser scanner techniques", *III Symposium "Photogrammetry Computer Vision" XXXIV part 3b*. 9-13 Settembre 2002, Graz, Austria.

### **Ringraziamenti**

Gli autori desiderano ringraziare l'Ing. Paolo Girardi della *deltaG* e l'azienda *Zoller-Frohlich* per la fornitura dello strumento utilizzato nel rilievo della nave.