

# Rilievo e modellazione di carene: potenzialità vs necessità

Maria Elisabetta Ruggiero  
Michele Russo

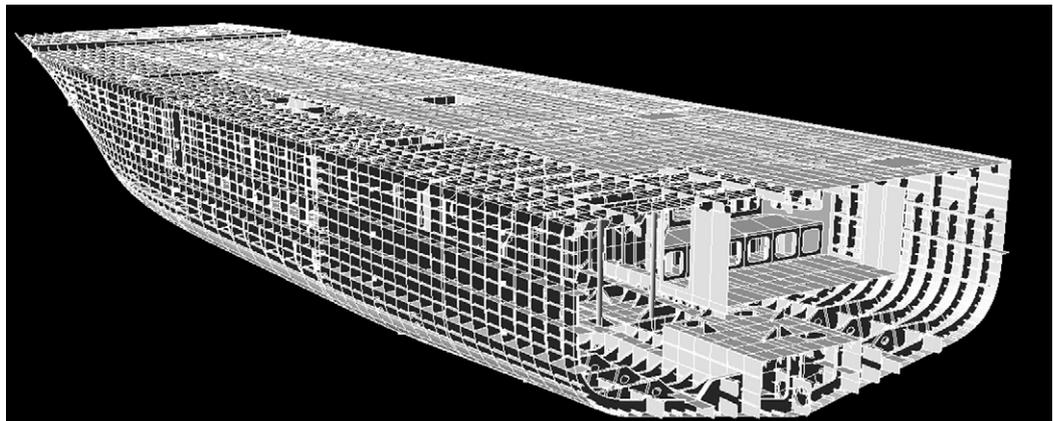
## Abstract

La possibilità di rilevare mezzi navali è un tema che sta diventando sempre di maggior interesse. Forme che per loro natura sono sempre state complesse da rappresentare ancor più divengono difficili da rilevare. Il patrimonio delle imbarcazioni che sono oggetto di *refitting* o addirittura restauri derivano prevalentemente da progetti realizzati a mano e molti di questi documenti, per differenti motivi, non sono più disponibili così come, spesso, alcuni di questi mezzi sono stati oggetto di rimaneggiamenti, non documentati, che li rendono lontani dai progetti iniziali.

Lo scopo dello studio è di definire alcuni parametri dello stato dell'arte che possano mettere in luce nodi nell'ambito del rilievo in questo settore: la strumentazione disponibile contemporanea permette lo sviluppo di rilievi estremamente accurati ma, proprio per le peculiarità dell'oggetto, si avverte la necessità di operatori esperti sia sul piano tecnico sia consapevoli di quali siano le parti più complesse nella restituzione del rilievo. Inoltre, ancora più importante, occorre riflettere su come le potenzialità degli strumenti, soprattutto in termini di accuratezza, possano introdurre delle incongruenze dimensionali che possono limitare l'efficacia del lavoro svolto. La precisione millimetrica fino a che punto è effettivamente strategica? Il piano di simmetria dello scafo fino a che punto non è che un presupposto meramente teorico? Quale la misura e quale la 'dismisura'?

## Parole chiave

Rilievo, scafo, metodo, analisi metriche e morfologiche.



Modellazione della struttura di uno scafo in acciaio, al netto del fasciame. Elaborazione degli autori.

## Premessa

Nell'ambito delle imbarcazioni e navi (siano esse commerciali o da diporto) si possono considerare mezzi storici quelli che hanno genericamente più di trenta anni. Questo riferimento temporale fa capo non solo alla longevità tipica di un'imbarcazione (che raramente supera i 50 anni) ma anche ai processi costruttivi che la hanno generata.

La possibilità di disporre di documentazione di progetto completa, precisa e soprattutto digitale diviene una realtà consolidata solo a partire dal millennio corrente. Sebbene i programmi per la modellazione delle curve dello scafo risalgano già agli anni '80 del secolo scorso, la disponibilità diffusa di essi inizia a vedersi solo successivamente [Ruggiero, Torti 2018, pp. 1-10].

Questa premessa è necessaria per capire come tutto il patrimonio di imbarcazioni storiche e di pregio sia oggi al centro di un grande interesse, ma al contempo generi alcuni temi critici che riguardano, ad esempio, proprio il reperimento di documentazione grafica utile alle proposte di azioni di recupero o restauro. Archivi incompleti o perduti, incompletezza degli elaborati di progetto, o ancora, interventi fatti secondo una logica artigianale e non tracciabile sono tra i problemi ricorrenti [Morozzo 2018, pp. 25-27].

Al tema della gestione del patrimonio storico si associa, poi, all'estremo opposto, il tema delle verifiche tecniche, soprattutto nelle barche ad elevate prestazioni, di disparità tra il progetto generato, questo sì digitalmente, e la costruzione che ancora in molti casi avviene letteralmente a mano.

In questi due ambiti si muove la possibilità di avvalersi di quelli che sono metodi e strumenti contemporanei per il rilievo e la conseguente restituzione.

Diviene cruciale la possibilità di attuare operazioni di *reverse modelling* al fine di disporre di elaborati grafici sulla base dei quali strutturare interventi per quanto riguarda imbarcazioni datate, oppure, testare l'efficacia dei processi costruttivi messi in opera nel caso di realizzazioni contemporanee.

Fintanto che non saranno definitivamente ottimizzate le tecniche per l'utilizzo di stampe 3d, per la realizzazione di componenti o addirittura scafi interi, permane sempre una sorta di discontinuità effettiva tra livello di precisione teorica e accuratezza di esecuzione: la prima relativa ai disegni di progetto, la seconda riferita alla realizzazione manuale della costruzione. Sebbene anche oggi ormai qualsiasi progetto sia sviluppato con sistemi CAD resta ancora imprescindibile il confronto con la stesura della vetroresina o la saldatura di metalli ad opera di manovalanze che, per quanto esperte, introducono necessariamente fattori di variabilità rispetto all'espressione teorica del progetto [Ruggiero 2019, p. 74]

È quindi in questi ambiti che l'attività di rilievo, oggi, diviene strategica per risolvere carenze documentali o per testare processi.

Tuttavia l'esperienza in questo settore, ancora limitata soprattutto se comparata ad esempio all'ambito architettonico, apre a spunti di ricerca interessanti per iniziare a decifrare alcuni nodi sostanziali a tale riguardo. Tra questi possiamo definire che i più ricorrenti, anche sulla base dei casi studio analizzati, siano i seguenti: la conoscenza delle grandezze notevoli che



Fig. 1. Casi studio: a sinistra, una baleniera del 1879; a destra, uno yacht modello MD285. Elaborazione degli autori.

definiscono la fisionomia di una imbarcazione con specifico riferimento allo scafo, la collocazione dell'imbarcazione (sovente questa è in acqua, o sospesa, o i condizioni di difficile accessibilità), le caratteristiche specifiche del materiale di costruzione e le problematiche che queste inducono (capacità di riflessione delle superfici in vetroresina, incrostazioni e stratificazioni sopra il fasciame). L'insieme di questi fattori introduce la necessità di una pianificazione attenta dell'intervento di rilievo al fine di garantirne il buon esito.

Per quanto riguarda il primo tema, in particolare, occorre precisare che la genesi di una imbarcazione parte da un piano di costruzione, ovvero da una superficie teorica interposta tra la struttura e il fasciame [Russo Kraus 1988, pp. 8-12], (unico caso in cui il piano di costruzione corrisponde esattamente con lo scafo è nelle imbarcazioni in vetroresina). Da questa superficie derivano innanzitutto i calcoli sul futuro dislocamento e poi la definizione della forma delle strutture e del relativo rivestimento (appunto il fasciame). Appare chiaro quindi che questo elaborato grafico, fondamentale per il calcolo di eventuali modifiche formali riferite alle prestazioni idrostatiche dell'imbarcazione, difficilmente può essere dedotto direttamente da un rilievo se non se ne conoscono le relazioni con le parti tangibili.

Volendo proporre un paragone con l'architettura potremmo dire che per rilevare correttamente un arco è necessario riconoscerne le caratteristiche e quali grandezze notevoli sono considerabili come generatrici della sua forma.

Le tematiche relative alla accessibilità, invece, introducono fattori che possono compromettere i risultati raccolti se non considerate come elementi che possono condizionare la scelta di strumenti e metodi utili allo sviluppo del rilievo: dalle macro oscillazioni di una barca in acqua si può arrivare alle micro oscillazioni date dalla compresenza di lavorazioni in atto a bordo, o alle deformazioni temporanee indotte dalla temperatura esterna sulle lamiere all'aperto. Il tema poi delle difficoltà indotte dai materiali di costruzione introducono la necessità di metodologie integrate che possano ovviare a oggettivi impedimenti da parte degli strumenti e soprattutto grandi possibilità di errore nella fase di restituzione. In questi casi, addirittura l'affiancamento con rilievi diretti può essere un espediente utile a gestire il complesso dei dati raccolti. Altrettanto importanti da considerare sono eventuali deformazioni indotte, ad esempio, dal calore delle saldature (nel caso delle lavorazioni in metallo) che possono portare a deformazioni puntuali incoerenti con l'insieme delle forme.

Tema nodale, ma soprattutto trasversale a quelli già elencati, è il grado di accuratezza che è necessario raggiungere attraverso queste operazioni di progetto di rilievo. Nel caso delle imbarcazioni storiche occorre subito precisare che il concetto di precisione millimetrica può essere considerato spesso eccessivo da un certo punto di vista: come detto esse sono generate da processi progettuali realizzati a mano con ampi margini di imprecisione nella stesura grafica e successivamente realizzati sempre a mano sulla interpretazione di disegni in scala. Ma non solo: i fattori prestazionali di queste imbarcazioni di certo non risentono di scarti dimensionali dell'ordine del millimetro, così come è altrettanto frequente trovare dissassiamenti o discontinuità nell'avviamento del fasciame dovuti a innumerevoli fattori, alcuni dei quali meramente dovuti alle condizioni di lavorazione. Il tema del grado di precisione se è importante nel rilievo trova un suo speculare nel progetto: elaborare forme incompatibili con i materiali e le tecniche di lavorazione è un tema altrettanto meritevole di riflessione.

Da queste riflessioni nasce la necessità di esporre una serie di casi studio (fig. 1) in cui le tematiche sopracitate sono paradigmatiche di quanto deve essere tenuto in considerazione a monte del rilievo.

### **Strumenti e metodi per imbarcazioni storiche**

Il rilevamento geometrico delle imbarcazioni storiche attraverso metodologie di acquisizione 3D ha come principale finalità quella di "congelare digitalmente" un artefatto delicato e soggetto ad un accentuato deperimento materico. La definizione di questo modello 3D, espresso attraverso nuvole dense di punti, superfici numeriche o matematiche, consente da un lato di conservarne la memoria e valorizzarne l'esistenza, dall'altro definisce la base informativa sulla quale poter portare a termine alcune prime analisi di natura geometrica

e costruttiva [Guidi et al. 2010, p. 96]. Inoltre, il modello digitale può divenire sia un utile strumento di simulazione di azioni conservative prima che vengano applicate nella realtà, sia definire un possibile punto di partenza per la riprogettazione di nuovi scafi attraverso l'introduzione di opportune variazioni di stile.

Nel rilievo delle imbarcazioni storiche, è necessario anteporre al rilievo due osservazioni di natura critica. Da un lato ci si trova di fronte da artefatti molto delicati, sui quali spesso non è possibile salire; pertanto, l'acquisizione della forma deve essere il più possibile non a contatto e pianificata in maniera da tenere in conto questa limitazione logistica. Questo limite è bilanciato dalla ottima risposta ottica dei materiali alle tecniche di tipo attivo e passive, che richiedono una importante opacità e caratterizzazione superficiale del materiale. La seconda riflessione critica riguarda il tema della accuratezza del rilievo per queste imbarcazioni. Gli strumenti ottici consentono di raggiungere delle precisioni millimetriche (o sub-millimetriche, in alcuni casi), arrivando ad una dismisura nella accuratezza e precisione del dato se confrontata con la irregolarità delle superfici delle imbarcazioni. Pertanto, in questa specifica applicazione la notevole precisione raggiunta dagli strumenti ottici consente di garantire una affidabilità del dato importante per il controllo dell'intera imbarcazione, ma certamente sovradimensionata a livello locale per l'analisi di una specifica porzione della barca.

Il caso studio inquadrato di questo contesto riguarda la barca in legno denominata "Leone di Caprera" [1], presentata come applicazione del processo di *reverse modeling* per lo studio di scafi storici finalizzato al restauro nautico. Il progetto di acquisizione si è tenuto nel 2008 al Porto di Livorno, dove la barca era ormeggiata su una banchina e coperta da una struttura metallica telonata. Per progettare il restauro della imbarcazione è stata avviata una campagna di rilievo basata sull'uso integrato di tecniche fotogrammetriche e laser scanning 3D, finalizzata alla sola conoscenza ed analisi dello stato di fatto. Pertanto non sono seguite fasi di ricostruzione interpretativa con superfici parametriche [Russo 2009, p 355] (fig. 2).



Fig. 2. Fasi di acquisizione delle superfici della barca: a sinistra con laser scanner 3D, a destra con tecnica fotogrammetrica. Elaborazione degli autori.

Considerando che tali tecniche sono fortemente dipendenti dalla loro implementazione digitale e tecnologica, 15 anni fa i principali strumenti attivi in grado di rilevare forme a scala architettonica erano i laser scanner 3D a luce pulsata, mentre a livello fotogrammetrico non erano ancora commercializzati i programmi che supportano la *Structure from Motion* (SfM). Il laser scanner 3D HDS3000 (Leica) è stato impiegato per acquisire lo scafo e la coperta, visibile quest'ultima solo posizionando lo strumento su una impalcatura esterna.

Dal momento che la forma dello scafo poteva essere espressa anche attraverso una sequenza di sezioni, sono state apposte delle strisce di target removibili in corrispondenza di tali sezioni e rilevate anche mediante tecnica fotogrammetrica.

Da una prima analisi di confronto delle sezioni fotogrammetriche è stato possibile evidenziare una torsione subita nel tempo dallo scafo. Inoltre, dal modello digitale si sono potute osservare alcune asimmetrie o sporgenze nel fasciame, fornendo subito una prima indica-

zione utile a livello progettuale per il cantiere di restauro e conservazione. Infine, dal modello tridimensionale numerico così definito (fig. 3) è stato possibile creare una sequenza di sezioni e ricostruire la forma della carena indicazione geometrica utile per poter analizzare la forma, al netto delle tolleranze date dagli spessori irregolari del materiale [Russo 2019, p 197]. L'esperienza qui riportata evidenzia come l'integrazione fra le tecniche di rilevamento possa risultare estremamente utile come forma di verifica della attendibilità dei dati acquisiti. Ma le informazioni geometriche (in termini di densità, accuratezza e precisione) devono essere sempre commisurate alla finalità del rilievo e soprattutto alla irregolarità materica e formale dei casi studio analizzati, che richiedono un lavoro interpretativo approfondito a valle della fase di rilevamento, soprattutto se l'obiettivo è quello di tradurre tali irregolarità in superfici matematiche che rispettino la forma originaria ma anche i vincoli costruttivi.

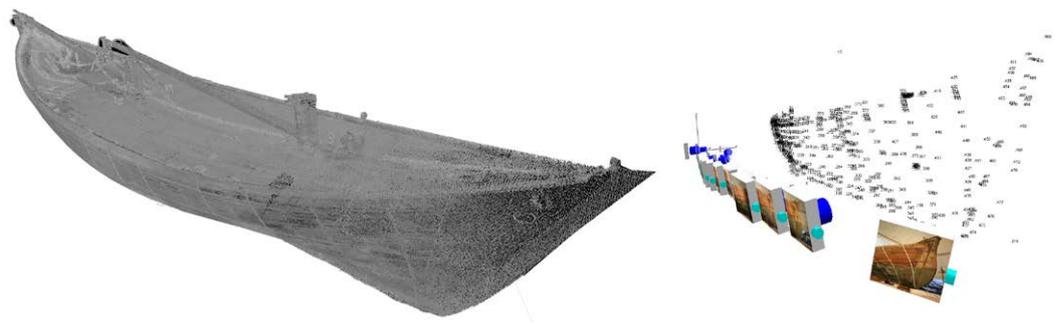


Fig. 3. Dati acquisiti dalle operazioni di rilevamento. A sinistra, la nuvola densa di punti *range-based*; a destra, le sezioni fotogrammetriche. Elaborazione degli autori.

### Strumenti e tecniche per imbarcazioni contemporanee

Le imbarcazioni contemporanee e più specificatamente le barche in vetroresina definiscono un contesto completamente differente rispetto al precedente. *In primis*, è cruciale comprendere non solo le finalità del rilievo ma le fasi nel quale tale processo di conoscenza viene applicato all'interno del processo di vita della barca. Nella maggior parte dei casi la barca viene prodotta sulla base di disegni di costruzione definiti al CAD ed estratti da modelli 3D di progetto. Quello che però spesso accade è l'introduzione di modifiche in corso d'opera nel cantiere, che allontanano il modello di progetto dall'*as-built*. Inoltre, il processo produttivo vede nelle lavorazioni manuali un momento fondamentale per la qualità del prodotto che però può introdurre variazioni della forma non volute o che portano l'imbarcazione fuori da alcune tolleranze stringenti (nel caso di imbarcazioni da gara).

Per tutte queste ragioni, la misura degli scafi rappresenta una fase estremamente importante e delicata per la verifica delle variazioni fra il progetto e il prodotto, andando ad analizzare la qualità della messa in opera.

Purtroppo, esistono diversi colli di bottiglia nel processo. Il primo è certamente legato al tipo di materiale. La vetroresina è un materiale uniforme, riflettente e traslucido, pertanto poco adatto all'applicazione di tecniche di rilevamento attive e passive. Le prime, infatti, rischiano di produrre un dato eccessivamente rumoroso o una semi-penetrazione del laser nel materiale (*back-scattering*) con relativi errori di acquisizione. La seconda non è in grado di individuare punti omologhi, essendo le superfici uniformi e spesso prive di una caratterizzazione esterna. Un secondo problema è legato alla variazione di scala e precisione richiesta. Sia che si tratti di yacht (oltre i 30 metri) sia di piccole imbarcazioni (es. Optimist) la precisione richiesta dai rilievi è sempre millimetrica o sub-millimetrica, proprio in relazione alle stringenti richieste di produzione o tolleranze costruttive, che però poi si vanno inevitabilmente a scontrare con errori centimetrici in fase produttiva. Pertanto, il rilievo deve mantenere uno standard estremamente elevato sia in termini di accuratezza globale, per evitare slittamenti nell'orientamento delle nuvole, sia di controllo metrico locale, imponendo sempre almeno una integrazione strumentale diretta o indiretta come forma di verifica del dato acquisito. Questa alta precisione richiesta nella misura, smisurata rispetto alla conseguente precisione

produttiva, si scontra anche con le condizioni al contorno del cantiere, che spesso obbligano ad acquisire le informazioni in contemporanea alle lavorazioni degli operai, dovendo quindi prevedere vibrazioni significative dello scafo durante l'acquisizione geometrica del dato. Il caso studio qui riportato è quello del rilievo di una imbarcazione MD285 (Azimut) di 38 metri presso i cantieri a Viareggio avvenuto nel 2022. La finalità del rilievo è stata quella di verificare l'aderenza della barca costruita in cantiere rispetto ai dati di progetto, necessaria per la definizione degli arredi su misura, attraverso il confronto fra il modello matematico di progetto e la nuvola di punti 3D. Il rilievo è stato pianificato in tre fasi: l'acquisizione del ponte inferiore (sotto il piano di coperta), il rilievo finalizzato alla verifica della fase di calzaggio e il rilievo del ponte di coperta e del ponte superiore. Nelle diverse fasi sono stati integrati un laser scanner 3D a variazione di fase Focus X120 (Faro), una stazione topografica e una livella laser (fig. 4). Il primo è servito come strumento di acquisizione generale delle superfici in legno e vetroresina presenti nell'area di intervento. Per ottenere un dato pulito, oltre ad avere impostato i parametri al massimo della ridondanza (4x) per ridurre l'errore di accuratezza, sono stati filtrati in fase di importazione sia in termini di distanza che sul rumore locale. La rete topografica ha consentito non solo di inquadrare le scansioni in un sistema di riferimento esterno alla barca (necessario data l'interferenza degli operai) ma anche di poter controllare l'accuratezza globale del sistema, riducendo l'errore complessivo sotto il centimetro. Infine, la livella laser ha avuto il doppio compito di verificare lo stazionamento in bolla della imbarcazione e il posizionamento dei target alla stessa altezza, operazione necessaria per la successiva roto-traslazione della nuvola nel sistema di riferimento di progetto. La nuvola dell'*as-built* ha consentito di verificare le discrepanze con i dati originali, mostrando anche alcune variazioni centimetriche in quota della coperta (fig. 5). Il caso studio qui riportato ha mostrato come il rilievo di questo tipo di imbarcazioni presenti problematiche sia di tipo tecnico che ambientale, con una richiesta di accuratezza a monte molto stringente che però si oppone ad un processo di produzione nel quale l'errore centimetrico nella stesura dei materiali è frequente. Pertanto, il controllo globale e locale del dato in questo caso, pur risultando sovradimensionato, è utile per analizzare in tempo reale la qualità del prodotto di cantiere e il processo di produzione, cercando di ridurre i ritardi di consegna dati da errori in corso d'opera.

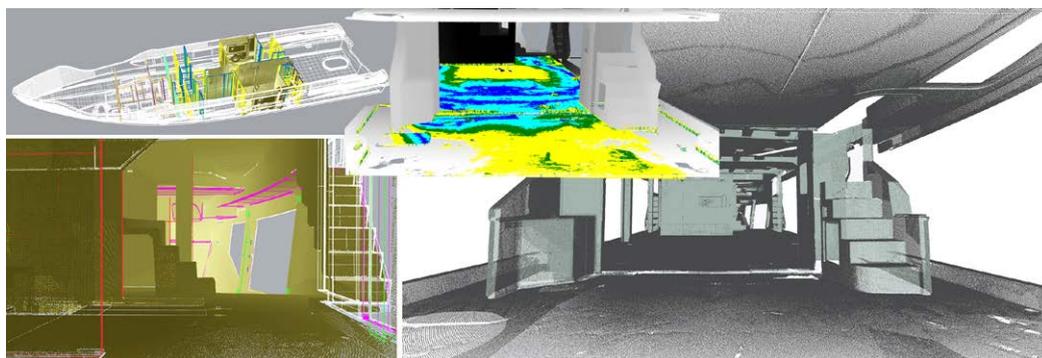
## Conclusioni

L'importanza del rilievo in ambito navale sta crescendo in maniera sempre più evidente per una pluralità di esigenze e fattori. Discipline riferite alle sperimentazioni *ex novo* tanto quanto quelle più specificatamente legate ad operazioni di restauro reclamano, come fasi vere e proprie del progetto, la verifica dimensionale di quanto oggetto di studio. Se da un lato, quindi, è necessaria la conoscenza e la dimestichezza con certi metodi e strumenti



Fig. 4. Fasi di acquisizione della barca attraverso stazione totale, livella laser e laser scanner 3D. Elaborazione degli autori.

Fig. 5. Elaborazione dei dati. A sinistra, sovrapposizione fra nuvola di punti e modello 3D di progetto; al centro, analisi delle flessioni della coperta; a destra, nuvola di punti del main deck. Elaborazione degli autori.



propri del rilievo sempre più approfondita dall'altro occorre incrementare la sensibilità nei confronti del 'dato' acquisito: della 'misura'. Sembra quindi necessario creare occasioni di approfondimento scientifico tra discipline complementari per ottimizzare questi processi. In ultimo si constata tuttavia come, ad oggi, a dispetto di quanto analizzato, non esistono, in Italia, nei corsi di studio riferiti a questo settore produttivo (design e ingegneria, nautica o navale) attività di formazione specifica riferita alla cultura del rilievo.

#### Note

[1] Baleniera con armo a goletta costruita nel 1879 è oggi una tra le imbarcazioni più antiche della flotta italiana; è stata oggetto di un restauro dello scafo nel 2009 che ne ha preservato l'aspetto ma non la funzionalità.

#### Crediti

Il contributo qui presentato è stato elaborato nella piena condivisione dei contenuti da parte degli autori; tuttavia, nello specifico, Maria Elisabetta Ruggiero ha curato la premessa e le conclusioni, mentre Michele Russo i restanti paragrafi. Quanto esposto da M. E. Ruggiero è parte di una ricerca supportata da fondi di ateneo UNIGE (PRA 2023).

#### Riferimenti bibliografici

Guidi G., Morlando G., Russo M. (2010). Il rilievo digitale tridimensionale degli scafi come ausilio alla progettazione. In Grossi F. (a cura di). *Atti del convegno The future boat & yacht 2009 Venice convention. L'Orizzonte Sostenibile tra Mare e Cielo*. Venezia, 20 marzo 2009. Udine: GTC.

Morozzo M. C. (2018). *Per un Portale del Nautical Heritage - Ricerca, azioni e proiezioni*. Genova: Genova University Press.

Ruggiero M. E., Torti R. (2018). Design and project for special naval vessels: developments and evolutions related to representation. In *IJIDEM International Journal on Interactive Design Manufacturing*. SPRINGER France, part of Springer NATURE, ISSN 1955-2513. DOI: 10.1007/s12008-19-00531-4.

Ruggiero M. E. (2019). *La rappresentazione nella cultura del progetto navale*. Genova: Genova University Press.

Russo Krauss G. (1988). *Geometria dei galleggianti*. Livorno: edizioni Accademia Navale Militare.

Russo M. (2009). Il rilievo nautico: dal filo a piombo all'acquisizione digitale tridimensionale - Le applicazioni. In Sale M. M. (a cura di). *Yacht Design: dal concept alla rappresentazione*. Milano: Tecniche Nuove.

Russo M. (2019). Il ruolo delle curve generative nel Design Nautico. In De Carlo L., Paris L. (a cura di). *Le linee curve per l'architettura e il design*. Collana Forme del Disegno - Sezione Punto. Milano: FrancoAngeli.

#### Autori

Maria Elisabetta Ruggiero, Università di Genova, mariaelisabetta.ruggiero@unige.it  
Michele Russo, Sapienza Università di Roma, m.russo@uniroma1.it

Per citare questo capitolo: Maria Elisabetta Ruggiero, Michele Russo (2024). Rilievo e modellazione di carene: potenzialità vs necessità/Hull Survey and Modeling: Potential vs. Necessity. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1979-1992.

# Hull Survey and Modeling: Potential vs. Necessity

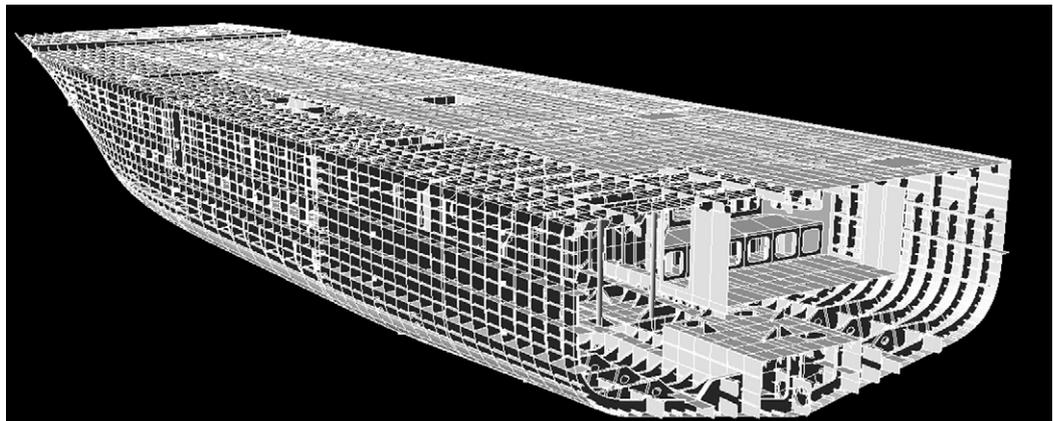
Maria Elisabetta Ruggiero  
Michele Russo

## Abstract

The possibility of survey vessels is a topic that is becoming more and more interesting. Shapes that have always been complex to represent become even more challenging to detect. The heritage of the boats that are subject to refitting or even restoration derives mainly from hand-made projects, and many of these documents, for different reasons, are no longer available; often, some of these vessels have been subject to undocumented alterations, which makes them far from the initial projects. The study aims to define some parameters of the state of the art that can highlight some knots in the field of surveying in this sector: the instrumentation available at the same time allows the development of highly accurate surveys but, precisely because of the peculiarities of the object, there is a need for expert operators both on a technical level and aware of which are the most complex parts in the restitution of the survey. Moreover, and even more importantly, it is necessary to reflect on how the potential of the tools, especially in terms of accuracy, can introduce dimensional inconsistencies that can limit the effectiveness of the work done. To what extent is millimeter accuracy strategic? To what extent is the plane of symmetry of the hull only a purely theoretical assumption? What is the measure, and what is the 'dis-measure'?

## Keywords

Survey, hull, methods, metrics and morphological analyses.



Modelling of the structure of a steel hull, net of shell plate. Elaboration by the authors.

## Premise

Historical vehicles in boats and ships (commercial or pleasure boats) can generally be over thirty years old. This temporal reference refers to a boat's typical longevity (rarely over 50 years) and the construction processes that generated it. Since the current millennium, the possibility of having complete, precise, and digital project documentation has only become a consolidated reality. Although programs for modelling hull curves date back to the 80s of the last century, their widespread availability begins to be seen only later [Ruggiero, Torti 2018, pp. 1-10].

This premise is necessary to understand how the heritage of historic and valuable boats is today at the centre of great interest, but at the same time, generates some critical issues concerning, for example, the retrieval of graphic documentation applicable for proposals for recovery or restoration actions. Incomplete or lost archives, incompleteness of project documents, or even interventions made according to an artisanal and untraceable logic are among the recurring problems [Morozzo 2018, pp. 25-27]. The issue of managing historical heritage is then associated, at the opposite extreme, with the issue of technical checks, especially in high-performance boats, of disparity between the project generated, which is indeed digital, and the construction, which is still done by hand in many cases.

In these two areas, there is the possibility of using contemporary methods and tools for the survey and, consequently, restitution. The possibility of implementing reverse modelling operations becomes crucial to have graphic drawings based on which to structure interventions about dated boats or to test the effectiveness of the construction processes implemented in the case of contemporary constructions. As long as the techniques for the use of 3D prints, for the creation of components or even entire hulls are not definitively optimised, there will always be a sort of effective discontinuity between the level of theoretical precision and the accuracy of execution: the first relating to the project drawings, the second referring to the manual realisation of the construction.

Although even today, any project is developed with CAD systems, comparing it with the laying of fibreglass or the welding of metals by labourers who, however experienced, necessarily introduce factors of variability concerning the theoretical expression of the project is still essential [Ruggiero 2019, p. 74].

Therefore, today, survey activity becomes strategic in these areas to solve document gaps or test processes. However, the experience in this sector still needs to be improved, especially compared to the architectural field, for example and opens up exciting research ideas to decipher some substantial issues.

Among these, we can define that the most recurrent, also based on the case studies analysed, are the following: the knowledge of the considerable quantities that define the physiognomy of a boat with specific reference to the hull, the location of the boat (often it is in the water, or suspended, or conditions that are difficult to access), the specific characteristics of the construction material and the problems they induce (reflective capacity of fibreglass surfaces, fouling and stratification over the shell plate). Combining these factors requires



Fig. 1. Case studies: on the left, an 1879 whaler; on the right, an MD285 yacht. Elaboration by the authors.

carefully planning the primary intervention to ensure its success. About the first issue, in particular, it should be pointed out that the genesis of a boat starts from a construction plan, i.e. from a theoretical surface interposed between the structure and the shell plate [Russo Krauss 1988, pp. 8-12], (the only case in which the construction plan corresponds precisely with the hull is in fibreglass boats).

From this surface, first of all, calculations are derived on future displacement, followed by the definition of the shape of the structures and their cladding (precisely the shell plate). It is, therefore, clear that this graphic elaboration, which is fundamental for calculating any formal changes related to the hydrostatic performance of the boat, can hardly be deduced directly from a survey if its relationships with the tangible parts are not known.

If we propose a comparison with architecture, it is necessary to recognise the arch characteristics correctly and analyse the dimensions that can generate its shape before surveying it. Issues related to accessibility, on the other hand, introduce factors that can compromise the results collected if not considered as elements that can condition the choice of tools and methods useful for the development of the survey: from the macro oscillations of a boat in the water to the micro oscillations given by the coexistence of processes in progress on board, or temporary deformations induced by external temperature on outdoor metal sheets. The issue of the difficulties induced by the construction materials then introduces the need for integrated methodologies that can overcome objective impediments on the part of the tools and, above all, great possibilities of error in the restitution phase. In these cases, even support from direct surveys can be a practical expedient for managing all the data collected. Equally important to consider are any deformations induced, for example, by the heat of the welds (in the case of metalworking), which can lead to punctual deformations inconsistent with the set of shapes.

A key issue, but above all transversal to those already listed, is the degree of accuracy that must be achieved through these survey project operations. In the case of historic boats, it should be immediately pointed out that millimetric precision can often be considered excessive from a certain point of view. As mentioned, they are generated by design processes made by hand with wide margins of imprecision in graphic drafting and subsequently made by hand when interpreting scale drawings. The performance factors of these boats are certainly not affected by dimensional deviations of the order of a millimetre, just as it is equally common to find misalignments or discontinuities in the start-up of the shell plates due to countless factors, some of which are merely due to processing conditions. The theme of the degree of precision, if it is essential in the survey, finds its mirror image in the project: elaborating shapes that are incompatible with the materials and processing techniques is an issue equally worthy of reflection. From these reflections arises the need to present a series of case studies (fig. 1) in which the abovementioned issues are paradigmatic of what must be taken into account upstream of the survey.

## **Tools and Methods for Historic Boats**

The geometric survey of historic boats through 3D acquisition methodologies primarily aims to 'digitally freeze' a delicate artefact subject to accentuated material deterioration. The definition of this 3D model is expressed through dense clouds of points, numerical or mathematical surfaces, allows, on the one hand, to preserve its memory and enhance its existence, and on the other hand, it defines the information base on which to carry out some initial geometric and constructive analyses [Guidi et al. 2010, p. 96].

In addition, the digital model can become a valuable tool for simulating conservation actions before they are applied in reality and defining a possible starting point for redesigning new hulls by introducing appropriate style variations.

It is necessary to precede the survey with two critical observations in the survey of historic vessels. On the one hand, we are faced with very delicate artefacts, which it is often not possible to climb; therefore, the acquisition of the shape must be as non-contact as possible and planned in such a way as to take into account this logistical limitation. This limitation is bal-

anced by the excellent optical response of the materials to active and passive techniques, which require a significant opacity and surface characterisation of the material. The second critical reflection concerns the accuracy of the survey for these vessels. Optical instruments make it possible to achieve millimetre (or sub-millimetre, in some cases) precision, reaching a difference in the accuracy and precision of the data when compared to the irregularity of the surfaces of the boats.

Therefore, in this specific application, the remarkable precision achieved by optical instruments makes it possible to guarantee the reliability of the data that is important for the control of the entire boat but certainly oversized at a local level for the analysis of a specific portion of the boat. The case study in this context concerns the wooden boat called 'Leone di Caprera' [1], presented as an application of the reverse modeling process to study historic hulls aimed at nautical restoration.

The acquisition project was held in 2008 at the Port of Livorno, where the boat was moored on a quay and covered by a tarpaulin metal structure. A survey campaign was launched to support the boat's restoration, using photogrammetric techniques and 3D laser scanning, aimed solely at the knowledge and analysis of the state of conservation. Therefore, no interpretative reconstruction phases with parametric surfaces were followed [Russo 2009, p. 355] (fig. 2). Considering that these techniques are highly dependent on



Fig. 2. Phases of acquisition of the boat's surfaces: on the left, with a 3D laser scanner; on the right, with a photogrammetric technique. Elaboration by the authors.

their digital and technological implementation, 15 years ago, the main active tools capable of detecting shapes at the architectural scale were 3D pulsed light laser scanners, while at the photogrammetric level, programs that support Structure from Motion (SfM) still needs to be commercialised.

The HDS3000 3D laser scanner (Leica) was used to capture the hull and main deck, the latter visible only by placing the instrument on an external scaffold. Since the shape of the hull could also be expressed through a sequence of sections, removable target strips were affixed to these sections and also detected by photogrammetric technique.

From an initial comparative analysis of the photogrammetric sections, it was possible to highlight a torsion suffered over time by the hull. In addition, from the digital model, it was possible to observe some asymmetries or protrusions in the shell plate, immediately providing a first useful indication at the design level for the restoration and conservation site. Finally, from the three-dimensional numerical model thus defined (fig. 3), it was possible to create a sequence of sections and reconstruct the shape of the hull, a geometric indication proper for analysing the shape and net of the tolerances given by the irregular thicknesses of the material [Russo 2019, p. 197].

The experience reported here shows how integrating detection techniques can be beneficial for verifying the reliability of acquired data. But the geometric information (in terms of density, accuracy and precision) must always be commensurate with the purpose of the

survey and, above all, with the material and formal irregularity of the case studies analysed, which require in-depth interpretative work downstream of the survey phase, especially if the goal is to translate these irregularities into mathematical surfaces that respect the original shape and the construction constraints.

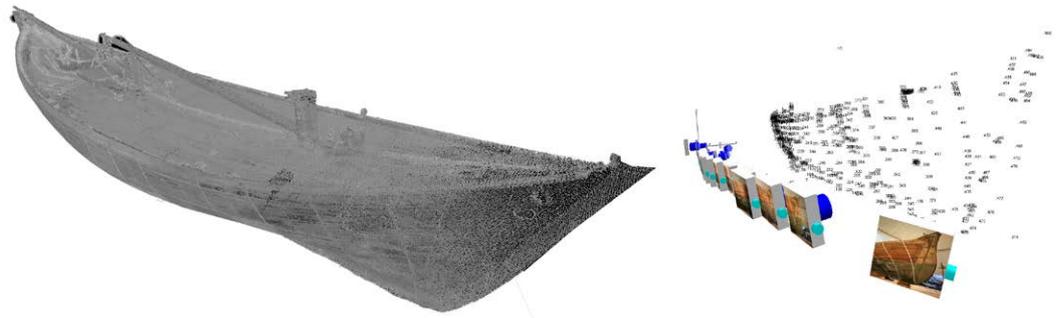


Fig. 3. Data acquired from the survey operations. On the left, the dense range-based point cloud; on the right, the photogrammetric sections. Elaboration by the authors.

### Tools and Techniques for Contemporary Boats

Contemporary boats, specifically fibreglass boats, define a different context than the previous one. First of all, it is crucial to understand the purposes of the survey and the phases in which this process of knowledge is applied within the life process of the boat. In most cases, the boat is produced based on CAD-defined construction drawings and extracted from 3D project models.

What often happens, however, is the introduction of changes during construction on site, which move the project model away from the as-built. In addition, the production process sees manual processing as a fundamental moment for the quality of the product, which, however, can introduce unwanted variations in shape or take the boat out of some stringent tolerances (in the case of racing boats). For all these reasons, measuring hulls represents a critical and delicate phase for verifying the variations between the project and the product and analysing the

quality of the installation. Unfortunately, there are several hurdles in the process. The first is undoubtedly related to the type of material. Fibreglass is a uniform, reflective and translucent material, therefore unsuitable for applying active and passive sensing techniques.

The former risks producing an excessively noisy datum or a semi-penetration of the laser into the material (back-scattering) with related acquisition errors. The latter cannot identify homologous points, as the surfaces are uniform and often lack external characterisation.

A second problem is related to the variation in scale and precision required. Whether it is a yacht (over 30 meters) or a small boat (e.g. Optimist), the precision required by the measurements is always a millimetre or sub-millimetre, precisely about the stringent production requirements or construction tolerances, which, however, inevitably collide with centimetre errors in the production phase. Therefore, the survey must maintain an extremely high standard in terms of global accuracy to avoid slippage in the point clouds' orientation and local metric control, always imposing at least a direct or indirect instrumental integration to verify the acquired data.

This high precision required in the measurement is immeasurable compared to the consequent production precision and also clashes with the boundary conditions of the shipyard, which often force the acquisition of information at the same time as the workers' work, thus having to foresee significant vibrations of the hull during the geometric acquisition of the data. The case study reported here is a 38-meter MD285 (Azimut) boat survey at the shipyards in Viareggio in 2022. The purpose of the survey was to verify the adherence of the boat built in the shipyard to the project data necessary for the definition of custom-made furniture by comparing the mathematical model of the project with the 3D point cloud.

The survey was planned in three phases: the acquisition of the lower deck (below the deck

plan), the survey aimed at verifying the *calzaggio* phase (addition of the main deck over the hull) and the survey of the deck and upper deck. A Focus X120 phase-variation 3D laser scanner (Faro), a topographic station and a laser level were integrated into the different phases (fig. 4).

The first served as a tool for the general acquisition of the wood and fibreglass surfaces in the intervention area. In order to obtain clean data, in addition to having set the parameters to maximum redundancy (4x) to reduce the accuracy error; they were filtered during the import phase both in terms of distance and local 'noise'. The topographic 'network' made it possible not only to frame the scans in a reference system external to the boat (necessary given the interference of the workers) but also to be able to check the overall accuracy of the system, reducing the overall error to less than one centimetre.

Finally, the laser level had the dual task of verifying the stationing of the boat at the level and the positioning of the targets at the same height, an operation necessary for the subsequent roto-translation of the cloud in the design reference system. The 'as-built' cloud made it possible to verify the discrepancies with the original data, also showing some centimetre variations in the height of the deck (fig. 5).

The case study reported here has shown how the survey of this type of boat presents both technical and environmental problems, with a very stringent demand for upstream accuracy, which, however, is opposed to a production process in which the centimetric error in the laying of materials is frequent. Therefore, although oversized, the global and local control of the data, in this case, helps analyse the quality of the construction site product and the production process in real time, trying to reduce delivery delays due to errors during construction.

## Conclusions

The importance of surveying in the naval sector is increasingly evident due to various needs and factors. Disciplines related to *ex novo* experimentation, as well as those more related explicitly to restoration operations, require, as actual phases of the project, the dimensional verification of what is being studied.

If, on the one hand, it is necessary to know and familiarise oneself with specific methods and tools of increasingly in-depth surveying, on the other hand, it is necessary to increase sensitivity towards the data acquired: the measurement.

It is necessary to create opportunities for scientific in-depth study between complementary disciplines to optimise these processes. Finally, however, it should be noted that, despite what has been analysed, there are no specific training activities related to the culture of surveying in the courses of study referred to this production sector (design and engineering, nautical or naval).



Fig. 4. Phases of boat acquisition through total station, laser level and 3D laser scanner. Elaboration by the authors.

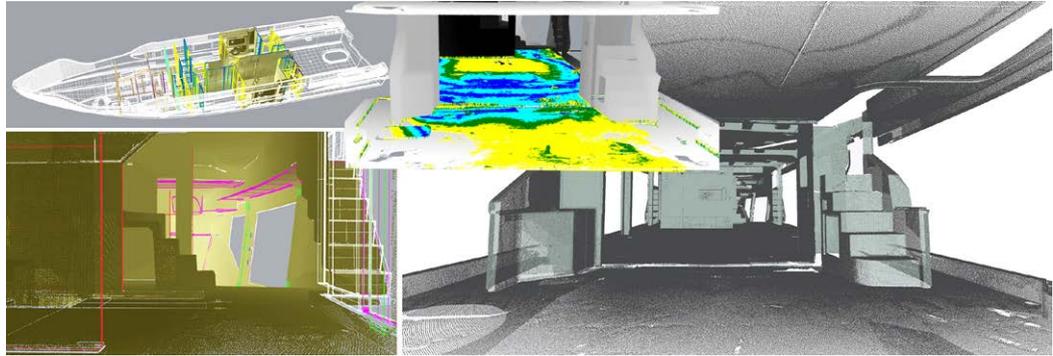


Fig. 5. Data processing. On the left, the overlap between the point cloud and the 3D model of the project; in the center, analysis of the deflections of the deck; on the right, the 'point cloud' of the main deck. Elaboration by the authors.

## Notes

[1] A schooner whaler, built in 1879, is today one of the oldest ships in the Italian fleet. It underwent a hull restoration in 2009 that preserved its appearance but not its functionality.

## Credits

The contribution presented here has been elaborated in complete agreement with the contents of the authors; however, specifically, Maria Elisabetta Ruggiero took care of the premise and conclusions, while Michele Russo took care of the remaining paragraphs. The contribution of M. E. Ruggiero is part of a research financially supported by UNIGE (PRA 2023).

## References

- Guidi G., Morlando G., Russo M. (2010). Il rilievo digitale tridimensionale degli scafi come ausilio alla progettazione. In Grossi F. (Ed.). *Atti del convegno The future boat & yacht 2009 Venice convention. L'Orizzonte Sostenibile tra Mare e Cielo*. Venezia, 20 marzo 2009. Udine: GTC.
- Morozzo M. C. (2018). *Per un Portale del Nautical Heritage - Ricerca, azioni e proiezioni*. Genova: Genova University Press.
- Ruggiero M. E., Torti R. (2018). Design and project for special naval vessels: developments and evolutions related to representation. In *IJIDEM International Journal on Interactive Design Manufacturing*. SPRINGER France, part of Springer NATURE, ISSN 1955-2513. DOI: 10.1007/s12008-19-00531-4.
- Ruggiero M. E. (2019). *La rappresentazione nella cultura del progetto navale*. Genova: Genova University Press.
- Russo Krauss G. (1988). *Geometria dei galleggianti*. Livorno: edizioni Accademia Navale Militare.
- Russo M. (2009). Il rilievo nautico: dal filo a piombo all'acquisizione digitale tridimensionale - Le applicazioni. In Sale M. M. (Ed.). *Yacht Design: dal concept alla rappresentazione*. Milano: Tecniche Nuove.
- Russo M. (2019). Il ruolo delle curve generative nel Design Nautico. In De Carlo L., Paris L. (Eds.). *Le linee curve per l'architettura e il design*. Collana Forme del Disegno – Sezione Punto. Milano: FrancoAngeli.

## Authors

Maria Elisabetta Ruggiero, Università di Genova, mariaelisabetta.ruggiero@unige.it  
Michele Russo, Sapienza Università di Roma, m.russo@uniroma1.it

To cite this chapter: Maria Elisabetta Ruggiero, Michele Russo (2024). Rilievo e modellazione di carene: potenzialità vs necessità/Hull Survey and Modeling: Potential vs. Necessity. In Bergamo F., Calandriello A., Ciamaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1979-1992.