

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”
FACOLTA’ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA NAVALE



Tesi di Dottorato di Ricerca
in
Ingegneria Aerospaziale, Navale e della Qualità
XVIII CICLO

**RILIEVO DI CARENE NAVALI MEDIANTE TECNICHE DI REVERSE
ENGINEERING:
LASER SCANNER 3D - FOTOGRAMMETRIA**

Dottorando
Dott. Ing. Catello Girace

Tutore
Ch.mo Prof. Claudio Pensa

Coordinatore
Ch.mo Prof. Antonio Moccia

Napoli, Novembre 2006

INDICE

CAPITOLO I

REVERSE ENGINEERING, STATO DELL'ARTE, TECNICHE E APPLIAZIONI

<i>1.1</i>	<i>Introduzione</i>	<i>I-1</i>
<i>1.2</i>	<i>Definizioni</i>	<i>I-2</i>
<i>1.3</i>	<i>Tecniche</i>	<i>I-3</i>
<i>1.3.1</i>	<i>Acquisizione con metodi a contatto</i>	<i>I-3</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Acquisizione con metodi non a contatto</i>	<i>I-12</i>

CAPITOLO II

ACQUISIZIONI E RICOSTRUZIONI DI CARENE NAVALI

<i>2.1</i>	<i>Introduzione</i>	<i>II-2</i>
<i>2.2</i>	<i>Rilievi con fotogrammetria e laser</i>	<i>II-6</i>
	<i>Rilievo Nada</i>	<i>II-6</i>
	<i>Rilievo Santa Rosa</i>	<i>II-20</i>
	<i>Rilievo Tomahawk</i>	<i>II-29</i>
	<i>Fotogrammetrico</i>	<i>II-29</i>
	<i>Acquisizione Laser</i>	<i>II-38</i>
	<i>Acquisizione della carena di un fisherman</i>	<i>II-62</i>
	<i>Rilievo dello stampo di una monocarena da 7,50 m</i>	<i>II-69</i>
	<i>Conclusioni</i>	<i>II-79</i>

CAPITOLO III

CONTROLLI DI QUALITÀ CON L'USO DELLA FOTOGRAMMETRIA

3.1 *Introduzione* III-1

3.2 *Controlli di qualità su un modello di carena*..... III-10

Conclusioni III-24

Bibliografia

APPENDICE

CENNI SULL'USO DI PHOTODELER A-1

*Capitolo I***Reverse Engineering, stato dell'arte, tecniche ed applicazioni****1.1 Introduzione**

Lo scopo della tesi è l'applicazione di tecniche e metodologie di studio proprie del "Reverse Engineering" nell'ambito navale, utilizzando come punto di partenza mezzi che hanno fornito risultati positivi anche in altri ambiti come quelli della tutela del patrimonio artistico e quindi della conservazione di beni culturali.

In particolare si sono studiate le tecniche di scansione tridimensionale di scafi e, più in generale, di imbarcazioni anche di interesse storico, stabilendo delle procedure di rilievo utili alla costruzione di una banca dati per favorire la conservazione e l'archiviazione delle informazioni per la realizzazione di una adeguata classificazione del patrimonio esistente.

Inoltre, come traguardo successivo, si è valutata l'efficacia degli stessi strumenti per le operazioni di controllo di qualità nelle nuove costruzioni.

1.2 Definizioni

Con il termine R.E. o “Ingegneria Inversa” si intende un insieme di tecniche finalizzate ad acquisire le forme fisiche di un oggetto per la valutazione delle stesse e per successive modifiche. In pratica il R.E. può essere definito come la **“progettazione di un prodotto attraverso un modello digitale ottenuto partendo da una nuvola di punti ricavata con l’ausilio di strumenti di scansione tridimensionale di un oggetto fisico”**

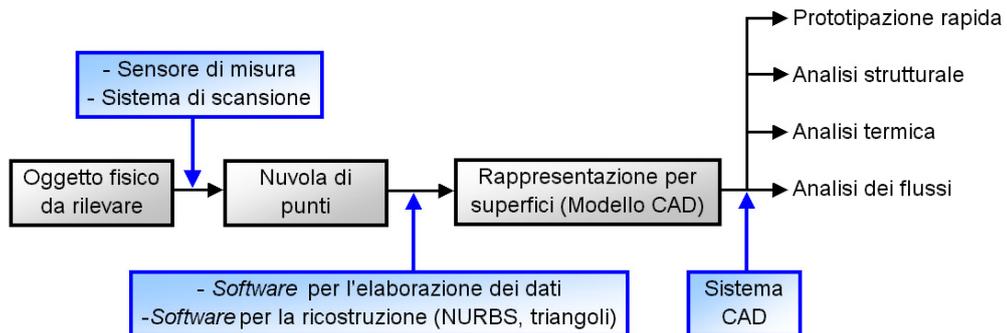


Figura 1.1: Schema sintetico del processo di RE

1.3 Tecniche

1.3.1 Acquisizione con metodi a contatto

Sono queste le tecniche di acquisizione più diffuse. Si basano sull'impiego di strumenti che eseguono la scansione delle forme per contatto con l'oggetto stesso da rilevare. Gli svantaggi di questo tipo di tecnica sono legati quindi a due fattori importanti:

1. La lunghezza dei tempi per l'acquisizione di oggetti di dimensioni rilevanti e dalle forme complesse;
2. La necessità di operare a contatto diretto con l'oggetto. Appare chiaro come questo tipo di tecnica possa risultare invasiva nel caso in cui l'oggetto da rilevare dovesse essere un antico reperto di difficile manipolazione a causa della sua fragilità.

Tecniche a contatto: Strumenti moderni

Uno strumento largamente utilizzato nei rilievi e misurazioni con metodi a contatto è il braccio portatile.

Questo strumento è ottimo per eseguire misure dimensionali con elevata precisione, ed è inoltre utilizzato nelle fasi di progettazione ed analisi della produzione, con una ripetibilità a partire da ± 10 micron. Integra una meccanica di altissima precisione con trasduttori angolari ottici tali da rendere ridottissime le dimensioni degli snodi.

Esso rappresenta un efficiente e preciso sistema portatile per il controllo dimensionale, l'analisi statistica ed il Reverse Engineering.

Bracci di questo tipo dispongono inoltre di sensori di coppia in ogni snodo che garantiscono controlli dimensionali senza errori, impedendo l'acquisizione del punto da misurare nel caso di un utilizzo scorretto del braccio.

Nell'impiego di questo strumento i giunti negli snodi sono progettati per assecondare ogni movimento nello spazio senza alcun ostacolo e con la fluidità necessaria. Per effettuare una misura l'estremità del braccio viene portata nel punto da misurare, e una serie di sensori provvede a decodificare la posizione dell'estremità del braccio in tempo reale trasferendola ad un computer.

Questo strumento incorpora un sistema di puntamento assoluto che individua istante per istante la posizione dell'estremità rispetto all'origine di un sistema di riferimento assoluto. Quindi gli spostamenti del braccio nella fase di

misurazione saranno sempre riferiti al sistema di riferimento individuato come assoluto all'inizio del rilievo durante le operazioni di taratura dello strumento stesso. Questo consente di effettuare tutti gli spostamenti necessari dello strumento e di acquisire parti di un oggetto in sessioni anche separate di un rilievo, permettendo la costruzione di una nuvola di punti composta anche da più parti, ma riferite sempre allo stesso sistema di riferimento.

Nell'immagine 1.2 che è mostrato un braccio portatile in un momento del suo impiego durante una misurazione. La figura 1.3 mostra riporta le didascalie relative alle caratteristiche dello stesso.

Si tratta di uno strumento di notevole precisione ed affidabilità, ma proprio per la sua caratteristica di essere un braccio orientabile nello spazio richiede notevole perizia di chi lo adopera per acquisire forme complesse, dal momento che la sua estremità deve essere a continuo contatto con l'oggetto da rilevare.



Figura 1.2

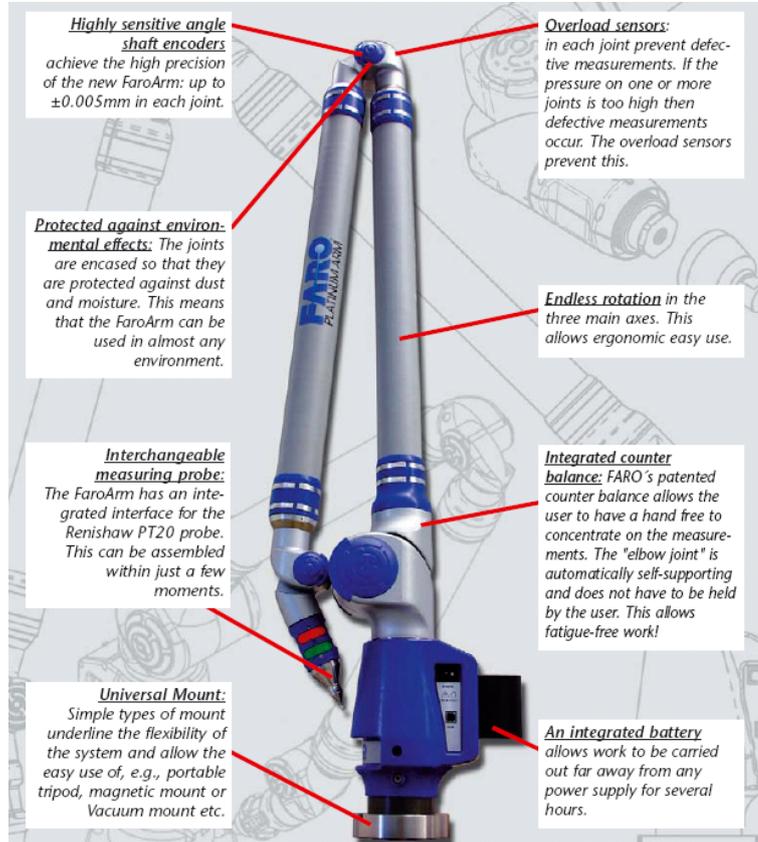


Figura 1.3

Nel caso di un rilievo di piccole imbarcazioni il suo utilizzo può rivelarsi notevolmente semplice in quanto si potrebbe procedere con il rilevare alcune sezioni trasversali opportunamente scelte, le curve forti della cinta, della chiglia e degli spigoli come mostrato nell'immagine 1.4 in cui è mostrato l'utilizzo di questo particolare strumento nel rilievo del modello della carena di un'imbarcazione planante.



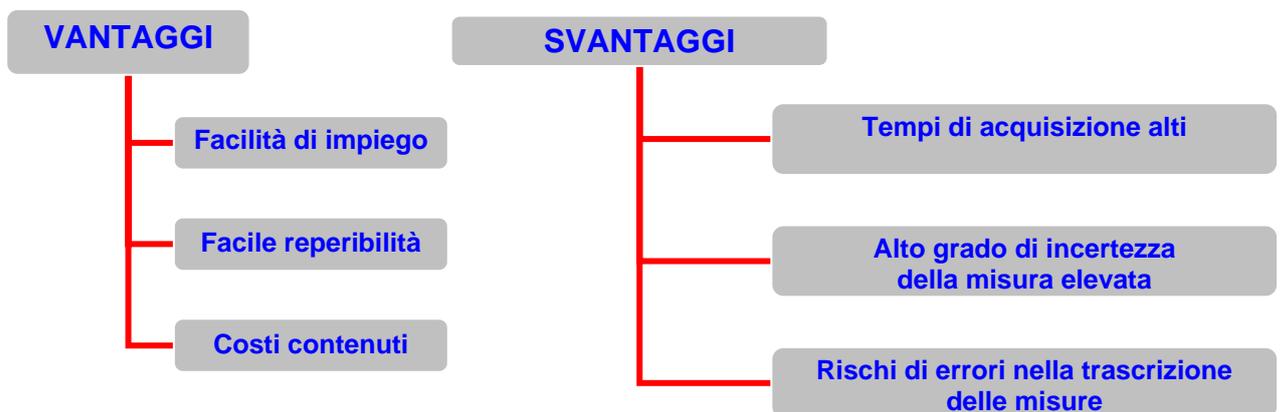
Figura 1.4

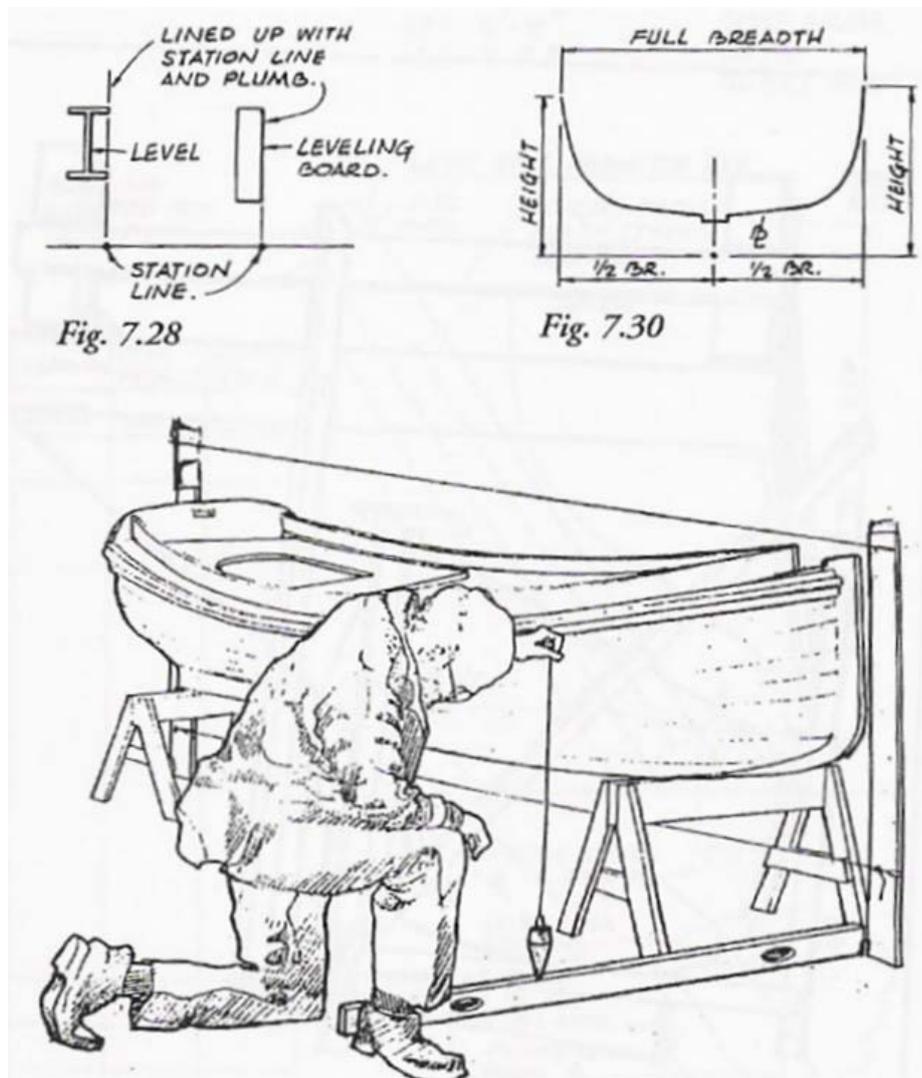
Tecniche a contatto: Strumenti tradizionali

Tra gli strumenti tradizionali largamente utilizzati nei rilievi vanno menzionati i seguenti:

- Filo a piombo
- Rulline metriche
- Squadre
- Livelli a bolla

sono ancora oggi largamente usati per impieghi che non richiedano dei livelli di precisione altissima e soprattutto nei casi in cui il budget destinato alla campagna di rilievo sia piuttosto limitato.



**Figura 1.5**

In fig. 1.5 sono illustrate alcune fasi di una campagna di rilievo di una piccola imbarcazione utilizzando strumenti tradizionali come il filo a piombo.

Appare evidente come in questo tipo di rilievo assuma notevole importanza il posizionamento corretto del filo e dello stesso operatore che effettua il rilievo.

La posizione dell'operatore è determinante per il motivo che le letture delle misure sono inevitabilmente affette da piccoli errori di parallasse.

Si noti quanto sia importante la preparazione del modello da rilevare, che normalmente si compone delle seguenti fasi:

- Messa in “bolla” dell'imbarcazione;
- Posizionamento di una lenza sul piano diametrale;
- Rilievo delle misure principali (LOA e BOA);
- Scelta di un riferimento esterno alla barca;
- Scelta delle ordinate lungo le quali rilevare le sezioni trasversali.

Dalla fig. 1.6 si intuisce quanta importanza abbia l'impostazione di un sistema tabulare in cui riportare, in base ai vari step del rilievo, le misure rilevate.

Il sistema di annotazione deve essere tale da consentire facili verifiche di quanto rilevato nel caso in cui dovesse essere necessario effettuare correzioni imputabili o a letture errate della misura rilevata o a trascrizioni errate della misura stessa.

In conclusione si può osservare che in un rilievo che preveda l'utilizzo di strumenti tradizionali, assumono notevole importanza i seguenti parametri:

- L'esperienza dell'operatore e la sua sensibilità nell'impostazione della campagna di rilievo;
- La preparazione del modello da rilevare;
- La corretta impostazione dei riferimenti utili;
- L'impostazione di un metodo per la trascrizione delle misure;
- La precisione degli strumenti utilizzati.

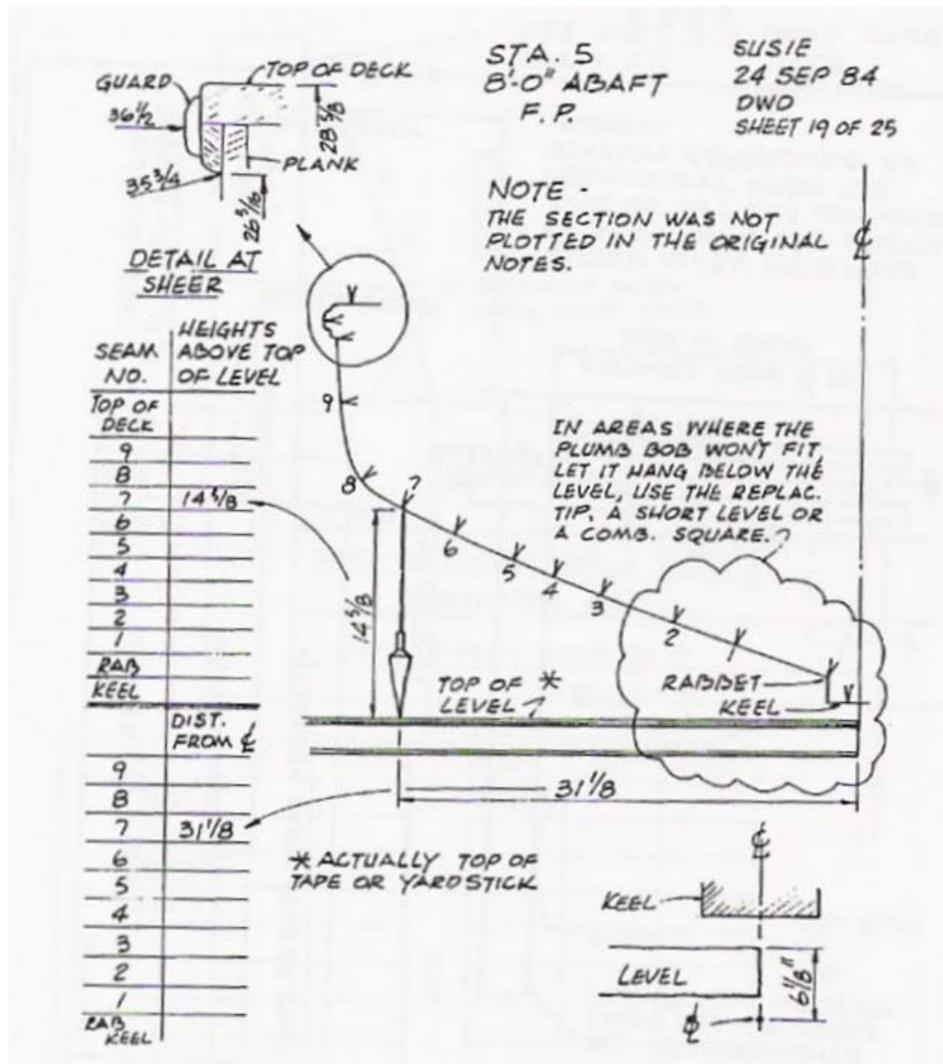


Figura 1.6

1.3.2 Acquisizione con metodi non a contatto

Queste tecniche di acquisizione sono quelle che oggi trovano applicazione nei settori industriali più vari dall'aerospace, all'automotive e al settore navale.

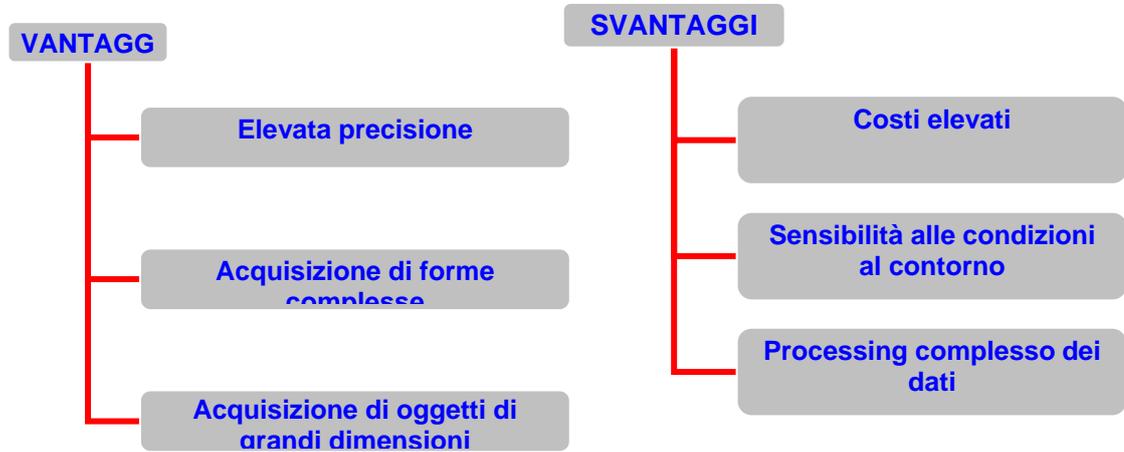
In questo caso vengono impiegati strumenti con i quali il rilievo ha luogo senza che questi stessi entrino a contatto con gli oggetti da rilevare.

Le metodologie di rilievo "non a contatto" prese in esame nel presente lavoro sono:

- Scansione con laser 3D
- Fotogrammetria

Scanner laser 3D

Si tratta di un metodo di acquisizione molto sofisticato e che trova oggi largo impiego in svariati settori industriali per l'elevata precisione che gli strumenti impiegati possono oggi garantire. Uno svantaggio considerevole è quello del costo elevato delle apparecchiature che fanno ricadere la scelta su questo tipo di metodologia solo nel caso in cui si tratti di rilevare oggetti delicati, e che non possono, quindi, essere manipolati, e/o nel caso in cui l'alta precisione dell'acquisizione costituisca un parametro di input per le fasi successive di utilizzo dei dati.



VANTAGGI

- **Elevata precisione:** è un parametro fondamentale nella scelta di un'acquisizione con questo tipo di metodologia. Trova impiego nel settore della meccanica di precisione, nel settore navale nel caso in cui ad esempio si debba riprogettare parte di un'imbarcazione da diporto o di una nave, permettendo una rapida valutazione delle eventuali modifiche agendo sui sistemi CAD che "modellano" le nuvole di punti acquisite, raggiungendo il risultato finale in modo rapido.
- **Acquisizione di forme complesse:** è possibile scansionare oggetti molto complessi come statue, monumenti ed oggetti che in generale presentano forme molto irregolari;
- **Acquisizione di oggetti di grandi dimensioni:** questo metodo permette di eseguire in maniera abbastanza agevole e con una notevole efficacia il rilievo di oggetti di dimensioni rilevanti come edifici o navi.

SVANTAGGI

- **Costi elevati:** le apparecchiature utilizzate per questo tipo di rilievo hanno dei costi rilevanti. Uno scanner laser di ultima generazione può costare intorno ai 90.000 euro, ragion per cui molto spesso, in ambiti in cui non è richiesta una precisione elevatissima si ripiega su altre soluzioni. In questo caso il costo può costituire una discriminante nella scelta del metodo da utilizzare nella campagna di rilievo.
- **Sensibilità alle condizioni al contorno:** gli scanner laser proiettando un raggio di luce sull'oggetto del rilievo sono per questa ragione sensibili alla luce ambientale che in alcune condizioni può rendere difficile se non impossibile il rilievo stesso. Gli stessi colori dell'oggetto possono creare difficoltà a queste apparecchiature, dal momento che i colori scuri o alcune finiture superficiali lucide possono causare degli assorbimenti della luce o rifrazioni interferendo con la strumentazione utilizzata.
- **Processing complesso dei dati:** a valle di una campagna di rilievo con lo scanner laser 3D i dati da manipolare sono delle nuvole di punti che possono essere in un numero considerevole dell'ordine di qualche milione. Questa elevata quantità di dati da manipolare può a volte non essere un vantaggio, ma può anzi rappresentare una ridondanza che in qualche modo va gestita e spesso semplificata. Ad esempio nel caso del rilievo delle superfici di carena di una barca in legno, la sensibilità di uno scanner laser

3D è tale che possono essere rilevate le venature del legno, per cui all'interno della nuvola di punti derivante dalla scansione ci potrebbe essere un elevato **NOISE** che potrebbe rendere difficile la ricostruzione corretta delle superfici. Questa sensibilità così elevata può essere invece d'aiuto nel caso del rilievo di un'opera d'arte come ad esempio un quadro. Infatti è possibile rilevare nella pittura i tratti delle pennellate che potrebbero rivelare delle modifiche successive operate sull'opera dall'artista, dando l'opportunità di conoscere quindi dei lati nascosti di un'opera che non sarebbero discernibili con i tradizionali strumenti di osservazione.

Metodi non a contatto: Scanner laser 3D**Esempi di applicazione: Acquisizione di forme complesse**

Di seguito sono riportate a titolo di esempio alcune immagini tratte dal lavoro **"The Digital Michelangelo Project"** di *Marc Levoy del Computer Science Department of Stanford University* e pubblicato in occasione del Second International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling, Ottawa, Canada, October 5-8, 1999

Il lavoro è relativo al rilievo con scanner laser 3D del David di Michelangelo. Nell'immagine seguente si può osservare la torre dello scanner laser 3D posizionata di fronte alla scultura.

La torre pesa circa 820 kg per un'altezza di 7,5 m. Il sostegno alto 60 cm è stato aggiunto all'ultimo minuto dal momento che la statua si è rivelata più alta di circa 90 cm rispetto a quanto riportato in molti libri di arte (per esempio, De Tolnay, 1947).

La fase di acquisizione di un oggetto di questo tipo si articola in più fasi proprio in ragione della complessità delle forme da rilevare.

Infatti proprio perché si opera con dei raggi di luce come quelli laser, è necessario effettuare delle scansioni da diverse angolazioni per evitare la creazione di zone d'ombra che potrebbero generare dei vuoti nelle nuvole di punti dovute alla proiezione di ombre da parte dei fasci di luce laser.

**Figura 1.7**

Nell'immagine seguente è rappresentato il modello del David di Michelangelo ricostruito con 8 milioni di poligoni dall'elaborazione di una nuvola di punti triangolarizzata con oltre 2 miliardi di poligoni.

L'acquisizione ha richiesto un periodo di 4 settimane con un gruppo di lavoro di 22 persone con dei tempi di scansione di 16 ore al giorno per 7 giorni alla settimana. Il colore e le ombreggiature sono artificiali.

Naturalmente è doveroso osservare che il lavoro è stato svolto nel 1999 e con apparecchiature e strumenti che oggi hanno conosciuto uno sviluppo notevole

a cominciare dai computer, dai software di elaborazione dei dati e dallo scanner laser 3D.

Proprio quest'ultimo oggi consente di ottenere delle scansioni di oggetti di grandi dimensioni e forme complesse con un sempre minor numero di scansioni, e con un livello di precisione sempre più alto.



Figura 1.8

Metodi non a contatto: Scanner laser 3D**Esempi di applicazione: Acquisizione di oggetti di grandi dimensioni**

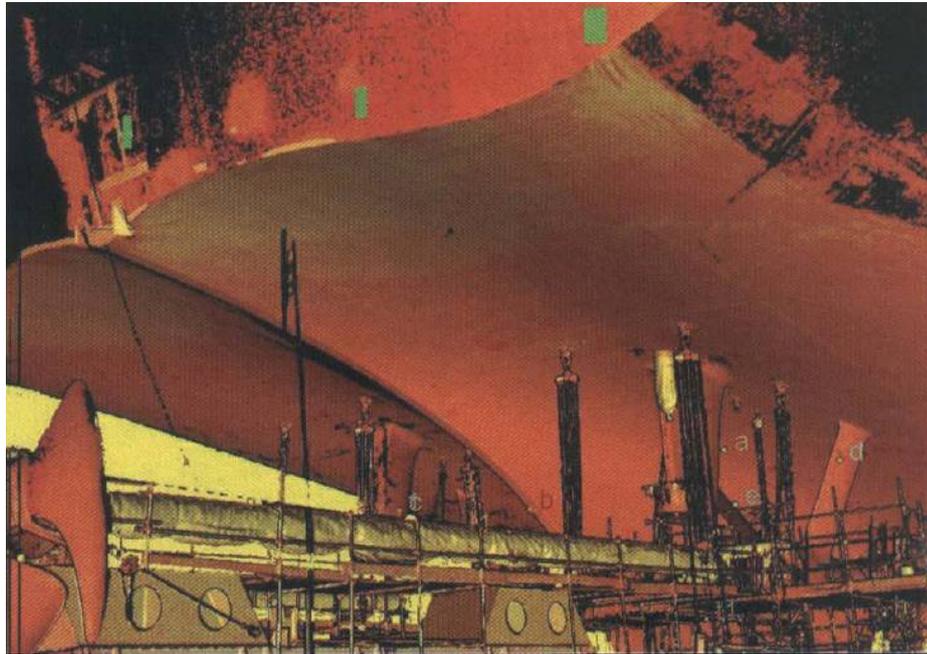
La continua ricerca nel campo della scansione con metodi non a contatto offre oggi la possibilità di disporre di strumenti sempre più sofisticati e che offrono la possibilità di rilevare oggetti di grandi dimensioni.

Di seguito, a titolo di esempio, sono riportati due casi di rilievi di oggetti dalle dimensioni considerevoli.



Figura 1.9

Nella figura 1.9 è raffigurata la carena di un gommone da acquisire con uno scanner laser. Si possono notare i numerosi bersagli posti all'interno dello scafo per la ricostruzione delle patches rilevate.

**Figura 1.10**

In fig. 1.10 è mostrata la fase di acquisizione con sistema scanner laser 3D della poppa di una nave.

La nuvola di punti risultante si compone di milioni di punti. I colori visibili sono dovuti a diversi valori della riflettanza relative alle varie patches che costituiscono la nuvola di punti. Il colore della nave non è il rosso. Da notare come in questo caso siano considerevoli le dimensioni dell'oggetto acquisito.

Fotogrammetria

Questo metodo può essere usato come complementare all'utilizzo degli scanner laser 3D oppure in alternativa. Il suo punto di forza sta nel fatto che è molto economico e questo può senza dubbio essere un vantaggio per la sua diffusione. Gli strumenti necessari sono macchine fotografiche digitali, un software dedicato di fotorestituzione e un computer. In pratica sull'oggetto da rilevare vengono posti dei markers o bersagli e l'oggetto viene fotografato da diverse angolazioni. Le immagini ottenute vengono poi inserite all'interno di un programma di fotorestituzione digitale che le mette in relazione tra loro sovrapponendo le zone comuni tra le immagini contigue, associando ad ogni marker presente in ciascuna immagine un punto "elettronico" costruendo così una nuvola di punti poi successivamente elaborata al CAD. Questo metodo può essere impiegato anche per il rilievo di oggetti dalle forme piuttosto complesse o dalle dimensioni rilevanti, ma in questo caso richiede un operatore con un elevato know-how per questo tipo di rilievo, e che pianifichi in maniera adeguata la campagna di rilievo.

La fotogrammetria, e quindi le nuove tecniche di fotorestituzione digitale, rappresenta oggi il ponte di collegamento tra la "perfetta realtà virtuale" creata al CAD e la "caotica realtà" che descrive le forme di un oggetto reale attraverso le discontinuità e le imperfezioni delle stesse forme dovute da una parte alle tolleranze di costruzione e da una parte alle deformazioni alle quali l'oggetto va

incontro dal momento della realizzazione in poi per l'azione di quei fattori esterni che inevitabilmente lo sollecitano.

Lo scopo della fotogrammetria è quindi quello di fornire la possibilità di fare un rilievo di un oggetto e di restituirlo al CAD tenendo presenti anche le eventuali deformazioni presenti nell'oggetto stesso.

La complessità di un rilievo è dovuta in linea di massima ai seguenti fattori:

1. L'organizzazione delle fasi in cui organizzare la campagna di rilievo la cui difficoltà è direttamente proporzionale alla complessità ed alle dimensioni dell'oggetto da rilevare;
2. la possibilità di raggiungere con il rilievo diretto tutte le singole componenti da rilevare, o quelle significative o solo una parte di esse;
3. l'affidabilità degli strumenti e gli errori di lettura, che comunque sono presenti perché nel "caos" che regna nel mondo reale rientra anche la sensibilità dell'occhio umano.

Appare chiaro quindi che intraprendere una "campagna di rilievo" vuol dire affrontare costi elevati relativamente all'impegno ed ai mezzi richiesti nonché ai tempi di lavoro.

Si cerca quindi di limitare l'utilizzo di delle tecniche più performanti ai casi in cui la precisione costituisce un target fondamentale per il rilievo lasciando che per gli altri eventi sia implicitamente valida una discrezionalità del metodo.

E' sicuramente importante avere massima definizione nel caso di un restauro o nel caso di una particolare verifica topografica, ma si può ricercare lo stesso dettaglio nella verifica di una clivometria o la posizione di vegetazioni arbustive o di ruscellamenti in un assetto urbano?

Nel caso di un rilievo di una barca cosa è importante restituire? L'intenzione del progettista che ha pensato a delle forme pulite o i segni del tempo che inevitabilmente fanno parte della storia dell'oggetto barca e che sono imprescindibili dalla barca stessa?

Appare evidente che nel caso di una campagna di rilievo di un mezzo navale, di un fabbricato o di un qualsiasi altro oggetto le strade da seguire sono più di una: da una parte si cerca di esaminare e di stimare quanto meglio possibile le caratteristiche progettuali di un oggetto per il quale le intenzioni del progettista si sono concretizzate attraverso determinate forme, e dall'altra parte c'è la storia dell'oggetto stesso che non può essere messa da parte se si vuole restituire al visitatore di museo virtuale un oggetto "segnato" dal tempo.

Nel caso di un rilievo con strumenti tradizionali come il metro, il filo a piombo ecc., la sola strada che è possibile seguire vede la restituzione dell'oggetto così come esso è stato concepito dal suo progettista, e cioè con forme (linee e superfici) perfettamente avviate.

Nel caso di una campagna di rilievo con i mezzi che la tecnologia attuale offre, come gli scanner 3D ed in generale gli strumenti ottici, è possibile trasporre un qualunque oggetto dalla realtà caotica fatta di imperfezioni all'asettico mondo

del CAD con tutti i difetti che l'oggetto stesso si porta dietro per il solo fatto di aver interagito con il mondo reale.

In questo caso la fotogrammetria ci viene incontro dal momento che il rilievo viene fatto utilizzando le immagini fotografiche dell'oggetto da rilevare, immagini stesse che costituiscono poi delle vere e proprie texture che, all'interno di programmi CAD che utilizzano motori di rendering avanzati come MAYA e LIGHTWAVE, possono essere sovrapposte all'oggetto rilevato fornendo all'osservatore la percezione di trovarsi di fronte a qualcosa di unico, con tutti i difetti superficiali e di forma tipici ad esempio di un reperto archeologico.

E' possibile quindi con la fotogrammetria affrontare tematiche di misurazione e restituzione in vera grandezza di oggetti qualsiasi a partire da immagini fotografiche.

Dai tempi antecedenti alla teorizzazione della geometria prospettica i maggiori artisti si sono cimentati nella comprensione ed individuazione di regole ed astuzie che permettessero la "riproduzione" della realtà visiva (tridimensionale) in quella figurativa (bidimensionale): si pensi ad esempio all'uso dei piani inclinati negli affreschi di Giotto nella Basilica di Assisi.

Con la prospettiva prima e con la fotografia poi l'uomo diventa padrone della realtà vista e può riprodurla operando una trasformazione da spazio a piano dell'ambiente osservato.

Nel 1850 Aimè Laussedat ha l'idea di utilizzare (con metodi ed esigenze del tutto differenti da quelle di uomini di epoche precedenti) le appena nate immagini fotografiche per estrarne i disegni delle mappe topografiche.

Siamo quindi agli albori della “fotogrammetria”, cioè della tecnica che permette di estrarre da dati bidimensionali (immagini fotografiche) informazioni tridimensionali utili alla modellazione.

Tale tecnica è stata poi rielaborata da vari studiosi giungendo fino a noi nelle sue varianti applicative: restituzione-fotogrammetrica, stereometria, aerofotogrammetria.

Tutte hanno in comune due cose: la sorgente di acquisizione è un'immagine fotografica, le regole utilizzate per la restituzione sono quelle inverse della prospettiva, per cui si ricostruisce prima la “posizione di ripresa” o punto di vista, quindi dalle fughe prospettiche si realizzano gli allineamenti e le distanze sui piani di costruzione principali.

Oggi un qualsiasi calcolatore è in grado di compiere milioni di operazioni al secondo per cui diventa possibile anche da una semplice fotografia estrarre le informazioni relative alla posizione della fotocamera, di distanza e di focale dalle quali poi la restituzione prospettica diventa realizzabile.

Dall'ultima generazione di accademici dediti alla fotogrammetria scaturisce il lavoro di Paul Debevec, ricercatore presso il dipartimento di informatica dell'università di Berkley ed ideatore assieme a Taylor e Marc, nel 1996 di un

programma di ricerca scientifica conosciuto con il nome del software che da questo è scaturito: FACADE.

Questo ricercatore ha presentato nel 1999 al SIGGRAPH'99 un cortometraggio digitale "fiat lux" in cui la sua ricerca veniva utilizzata per ottenere da una coppia di fotografie su una sfera riflettente la posizione di ripresa ed una mappa volumetrica di un ambiente.

Tale tecnica è stata impiegata per realizzare l'interno di S. Pietro a Roma, ambiente a sua volta usato come location di un'animazione per MAYA (cfr. <http://graphics3.isi.edu/~debevec/FiatLux/>).

La maggior parte dei software attualmente sul mercato sono figli delle scoperte del gruppo di Debevec, scoperte al loro volta frutto di ricerche degli anni sessanta e settanta nel campo del calcolo della luminosità ambientale digitale e del texturing volumetrico.

Una struttura complessa che in realtà è una successione di intuizioni che, con disarmante semplicità, trasformano la complessità reale in un "modello" geometrico controllabile.

Sono molte le Università che hanno dato vita a dipartimenti che hanno come scopo sia l'applicazione in concreto delle teorie più avanzate, sia la costruzione di algoritmi ed in alcuni casi di veri e propri software che rendano sempre più diretto il rapporto tra immagine ripresa e modello tridimensionale da questa desunto.

Un esempio per tutti è quello dell'Università di Bonn in cui diverse facoltà (agraria, geofisica, architettura, ingegneria) stanno lavorando su un progetto

comune di analisi fotogrammetrica semiautomatica che permetta la ricostruzione di aree urbane, ma anche di territori naturali, a partire da immagini fotografiche.

Nell'impiego dei software il punto oscuro resta l'affidabilità degli algoritmi di elaborazione, il grado di tolleranza minimo può essere un fattore non trascurabile in certi casi, come un intervento conservativo o una perizia statica, in cui qualche centimetro per metro di scarto potrebbe essere già troppo.

Se da un lato la ricerca va verso una generalizzazione del metodo, dall'altro lato le industrie più attente stanno ultimamente adottando tecnologie ancora più spinte che prevedono l'uso di apparecchi di ripresa ad altissima definizione supportati da misuratori laser o infrarossi sincronizzati e/o referenziati dalla triangolazione satellitare.

L'errore comunemente commesso dai software è nel grado di precisione con cui si tracciano i punti di riferimento nei vari fotogrammi, e poiché il grado di leggibilità delle immagini è legato all'immagine stessa, si può affermare che il livello di precisione è funzione diretta dei seguenti fattori:

1. Risoluzione adottata per la digitalizzazione dell'immagine.
2. Grado di contrasto che deve essere alto per l'individuazione della linea di confine tra gli spigoli.
3. Equivalenza di illuminazione nei fotogrammi impiegati.
4. Omogeneità della sorgente di ripresa (utilizzando macchine diverse si sommano in modo non conciliabile aberrazioni diverse).

5. Uso di obiettivi non deformabili.

A queste poche regole si aggiunge quella più importante: operare con metodo razionale. Con questi accorgimenti ogni immagine può diventare utile alla restituzione fotogrammetrica e molte case produttrici di software di fotorestituzione concordano nel garantire in queste condizioni di lavoro una precisione di circa 1 cm per ogni 5 metri.

La bontà o meno di questo risultato va confrontata con la precisione per un equivalente rilievo manuale dell'oggetto, e la precisione media (ottenuta con fotogrammi della medesima fattezze) ottenuta con i metodi tradizionali di restituzione prospettica.

In genere operando con un numero elevato di immagini (superiore a 3), o provenienti da serie fotografiche eterogenee, l'oggetto tridimensionale risulta più affetto da stress, cioè da deformazione dovuta al non perfetto allineamento delle immagini fotografiche rispetto ai punti di fuga desunti dal software.

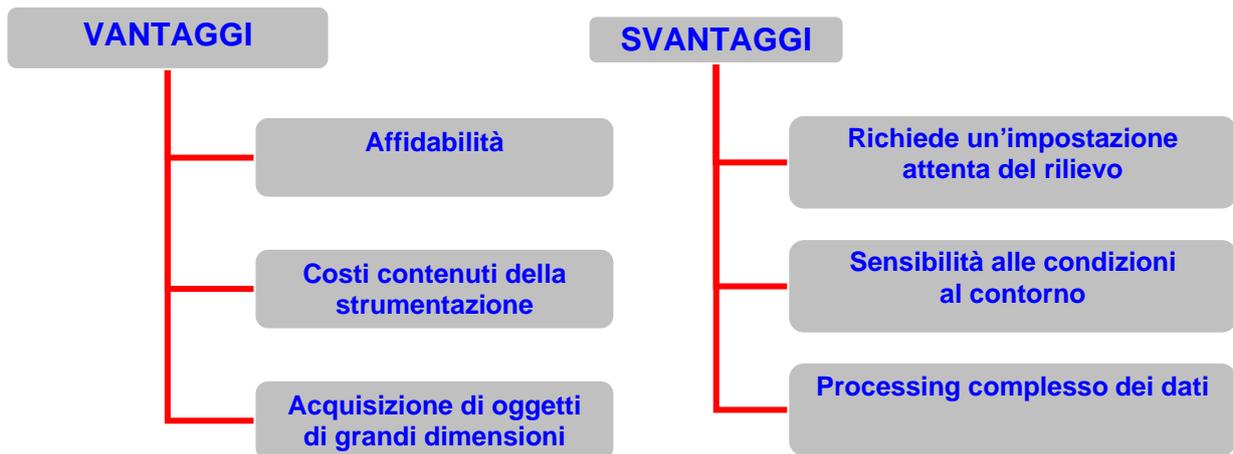
Affinché il “piano di ripresa” risulti efficace per l'acquisizione del modello tridimensionale devono essere rispettati i seguenti passi:

1. Almeno un fotogramma deve contenere le tre direzioni principali o deve essere presente una coppia di fotogrammi presi da due punti “misurati” (coppia stereometrica) di riferimento o una serie congiunta di “punti fiduciali” comuni ai fotogrammi utilizzati.

2. Le immagini utilizzate devono essere nel minor numero possibile dal momento ogni fotogramma aggiunto incrementa esponenzialmente le possibilità di deformazione-stress del modello.
3. Almeno un fotogramma deve essere “misurabile” o in alternativa almeno una misura deve essere presa dal vero e visibile senza equivoci su un fotogramma.

La maggior parte dei software in commercio è conseguenza delle ricerche nel campo della fotogrammetria storica e della computer grafica ed è quindi comune la radice o per meglio dire l'algoritmo che ne permette il funzionamento.

Quali e quanti sono i software in commercio che si occupano di fotogrammetria è una domanda alla quale non è facile rispondere. Una scansione sommaria in rete fornisce almeno 15.000 voci di consultazione e, molte volte, non sono neanche le stesse tra i vari motori di ricerca. Di software di fotorestituzione digitale ce ne sono di vario tipo e sono divisibili per indirizzo professionale, campi d'applicazione, regione di appartenenza, budget di spesa previsto.



VANTAGGI

- **Affidabilità:** il largo uso che negli ultimi anni sta conoscendo questo tipo di tecnologia è essenzialmente dovuto allo sviluppo che la ricerca ha avuto in questo settore. I mezzi di acquisizione sono sempre più complessi e compatti e quindi si adattano ad un facile trasporto e ad un impiego nelle più svariate condizioni. Le fotocamere digitali attuali offrono risoluzioni sempre più elevate ed i software di fotorestituzione sono sempre più complessi ed affidabili, ed offrono anche degli algoritmi che facilmente si adattano ad ogni tipo di rilievo.

- **Costi contenuti:** i costruttori di fotocamere digitali, che si trovano comunemente in commercio, offrono prodotti che permettono di ottenere immagini a risoluzioni elevate (8 megapixel) a costi contenuti (al di sotto dei 1000 euro). Inoltre i software di fotorestituzione come Photomodeler e i computer attuali offrono prestazioni tali che con meno di 4000 euro si possono avere a disposizione tutti gli strumenti che occorrono per effettuare campagne di rilievo con la Fotogrammetria.
- **Acquisizione di oggetti di grandi dimensioni:** anche questo metodo permette di eseguire in maniera abbastanza agevole e con una notevole efficacia il rilievo di oggetti di dimensioni rilevanti come edifici o navi.

SVANTAGGI

- **Impostazione del rilievo:** il rilievo richiede una pianificazione attenta. Dal momento che esso avviene attraverso l'elaborazione di immagini fotografiche, è opportuno che le immagini stesse abbiano una risoluzione elevata e che "descrivano" meglio possibile l'oggetto senza lasciare zone d'ombra.
- **Sensibilità alle condizioni al contorno:** nella fase di rilievo ha molta importanza la luce ambientale. Occorre adottare delle lampade nel caso in cui si operi in un ambiente chiuso, facendo attenzione a dosare bene la luce in modo che le immagini fotografiche non risultino sovresposte e quindi piatte. Operando all'aperto è preferibile non operare in condizioni

tali che la luce sia troppo riverberata (cosa che succede con il cielo coperto) in modo che le immagini fotografiche abbiano il giusto contrasto. Inoltre è preferibile che l'oggetto da rilevare sia ben inquadrabile e quindi accessibile da tutte le angolazioni per poterlo fotografare.

- **Processing complesso dei dati:** anche in questo caso, a valle del rilievo si va ad elaborare una nuvola di punti più o meno fitta. E può capitare che vi sia una mancanza di dati in alcune zone della nuvola di punti e che quindi occorre integrare tale nuvola agendo all'interno di programmi di fotorestituzione come Photomodeler o di programmi particolarmente dedicati all'elaborazione di nuvole di punti, come Geomagic o Rapidform, che offrono degli algoritmi dedicati a questo tipo di operazioni. Appare evidente quanto sia importante il know-how dell'operatore sia nella fase di impostazione della campagna di rilievo che in quella di processing dei dati.

*Capitolo II***Acquisizioni e ricostruzioni di carene navali****2.1 Introduzione**

Lo scopo di questo lavoro è studiare il rilievo di forme di carene attraverso tecniche di RE e il confronto fra le tecniche ottiche utilizzate.

Inoltre in questo lavoro si valuterà il livello di precisione ottenuto nel rilievo fotogrammetrico confrontando in alcuni casi i risultati con quelli ottenuti dal rilievo per mezzo della scansione con scanner laser 3D.

Normalmente una scansione *Laser* comprende le seguenti operazioni:

- Opacizzazione della superficie da rilevare, se questa si presenta riflettente;
- Studio del numero di scansioni (*patch*) da effettuare e della distanza alla quale sistemare il sistema *laser* dalla superficie di rilievo in base al livello di accuratezza (*accuracy*) desiderato e di disturbo accettabile (*noise*);
- Scansioni;
- Assemblaggio delle *patch* ottenute;
- Ricostruzione della superficie;

Senza alcun dubbio qualsiasi sistema *Laser* è in grado di fornire una nuvola molto densa di punti in un tempo relativamente breve, ma i costi necessari all'acquisto di un sistema *Laser* sono elevati.

La Fotogrammetria permette una forte riduzione dei costi e, come si potrà vedere, la densità dei punti e della precisione rispetto alla loro reale collocazione nello spazio dipende soprattutto dalle capacità dell'operatore e, quindi, dal tempo dedicato all'operazione di *referencing*.

Per la creazione della nuvola di punti con la tecnica fotogrammetrica è stato utilizzato il *software* PhotoModeler mentre la successiva ricostruzione della superficie è stata eseguita con l'ausilio del Raindrop Geomagic e Rapidform.

All'inizio di ogni progetto fotogrammetrico il Photomodeler apre una procedura guidata necessaria all'inserimento di alcuni dati che sono necessari al *software* per elaborare il modello digitale. Infatti, dopo aver chiesto il valore della focale si apre una finestra come quella di figura 1.

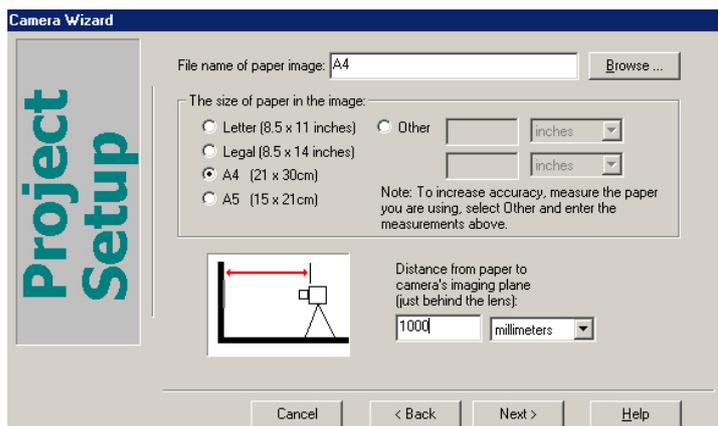


Figura 2.a: Wizard

In questa finestra viene richiesto di porre un foglio di formato noto ad una distanza nota dalla macchina fotografica utilizzata durante il rilievo e scattare una fotografia. Nel caso della figura 1 si è usato un foglio formato A4 e si è scelta la distanza di 1000 mm.

Dopo aver scattato la foto la procedura guidata chiede di inserire il *file* della foto digitale del foglio A4 e di procedere ad una sorta di calibratura in cui è necessario evidenziare gli spigoli del foglio A4. Il procedimento descritto serve al *software* per calcolare le coordinate ξ_0, η_0 del Punto Principale, che costituiscono, assieme al valore della focale inserito in precedenza, i parametri di Orientamento Interno. Inoltre, con tali valori, il *software* calcola il formato delle foto realizzate con quel tipo di macchina fotografica.

Infine, l'inserimento del *file* della foto del foglio A4 viene utilizzato anche per conoscere la risoluzione, in numero di *pixel*, che raggiungono le fotografie.

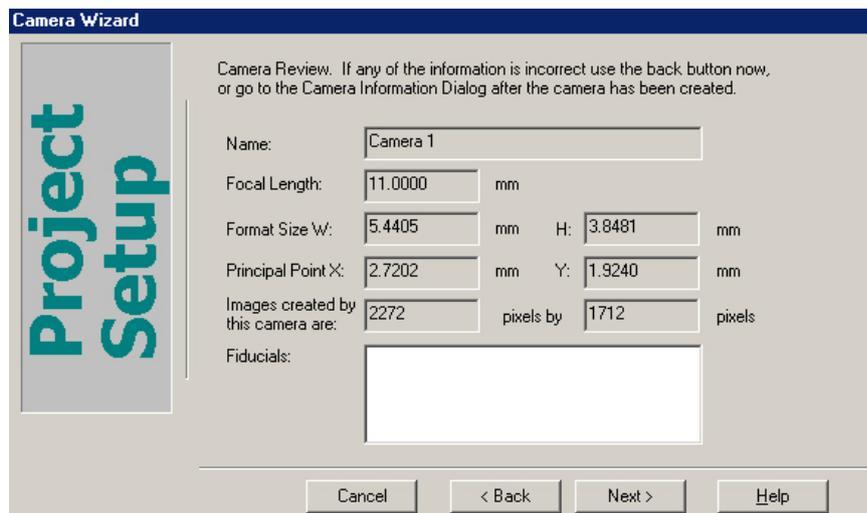


Figura 2.b: Riepilogo dei parametri calcolati dal software a valle del *wizard*

La fase di ricostruzione CAD delle superfici si ha a partire dalla elaborazione della nuvola di punti acquisiti, mediante la creazione dei modelli delle superfici di partenza adattando reticoli poligonali o superfici NURBS che tengano conto dei tratti spigolosi e di ogni dettaglio necessario come, ad esempio, contorni, bordi e fori.

Il modello CAD così ottenuto consente l'analisi di ogni possibile soluzione progettuale ed, in particolare, la realizzazione di modifiche dell'oggetto in esame.

Qui descriviamo in via generale le fasi principali che è possibile seguire col Geomagic per ottenere una superficie:

- 1) Importazione della nuvola di punti, valutazione sulle eventuali modifiche da apporre e sulla eliminazione di punti che non caratterizzano realmente l'oggetto;
- 2) Fase dei Poligoni (*wrap*), che consiste in una poligonalizzazione della nuvola di punti. Tale operazione è effettuata automaticamente dal programma e consiste nel poggiare delle piccole superfici triangolari applicando i loro vertici sui punti. Inoltre, si esegue la formatura e il miglioramento della superficie poligonalizzata;
- 3) Passaggio alla creazione della superficie (fase *shape*) ;
- 4) Individuazione di contorni, spigoli e zone di elevata variazione di curvatura da preservare: analisi delle *feature* e delle *boundaries*.
Per garantire che la superficie finale conservi la forma effettiva della nuvola di punti è necessario creare delle linee dette *features* che passino per gli spigoli in considerazione. Le *boundaries*,

invece, sono delle linee necessarie alla creazione di una griglia uniforme. L'operatore può arbitrariamente definire tali linee scegliendo dei punti tra quelli della nuvola ed impone che per essi passino le une o le altre linee. Scegliendo le *feature* lungo gli spigoli si riesce ad ottenere un risultato accettabile;

- 5) Applicazione della griglia di appoggio: fase di *grids*. Tale griglia è lo strato sottostante la superficie rappresentata da una maglia fitta di linee aventi una tensione definita dall'operatore. Infatti un parametro importante che caratterizza questa fase è la tensione (*tension*), con la quale le superfici devono essere poggiate sulla nuvola di punti. Se si imponesse, ad esempio, alla superficie il semplice passaggio per tutti i punti della nuvola, questa risulterebbe fortemente irregolare. Assegnando opportunamente un valore alla tensione compreso nell'intervallo 0-1, l'operatore decide di quanto deve essere "forzata" la continuità della superficie dei punti. Qualsiasi irregolarità che essa presenta verrà visualizzata anche sulla superficie NURBS;
- 6) Applicazione della superficie NURBS sulla griglia.

2.2 RILIEVI CON FOTOGRAMMETRIA E LASER

Imbarcazioni prese in esame:

1. Nada
2. Tomahawk
3. Santarosa
4. Carema di un fisherman
5. Stampo di carena da 7,50 m

RILIEVO NADA

Nada è un'imbarcazione a vela il cui anno di costruzione è il 1897. Nasce come un 10.50 m Stazza Internazionale ed ha subito negli anni una serie di interventi alla poppa ed alla coperta, con un innalzamento del piano di coperta di circa 30 cm, che probabilmente ne hanno allontanato le forme dalle intenzioni iniziali del progettista. Attualmente la barca è conservata all'interno del giardino di una villa di Napoli esposta ad ogni tipo di azione distruttiva da parte degli agenti atmosferici.

La barca si presenta nelle condizioni mostrate nella seguente immagine:



Figura 2.1

Dalla **Figura 2.1** si notano le particolari condizioni in cui è conservata la barca che non facilitano il rilievo per mezzo della fotogrammetria dal momento che le immagini scattate contengono oggetti interposti tra la fotocamera e barca e che nascondono in parte la geometria della carena soprattutto nella zona centrale in corrispondenza della chiglia (v. fig. 2.2).



Figura 2.2



Figura 2.3

In ogni caso si è proseguito al rilievo della carena ottenendo dei risultati soddisfacenti, nonostante le evidenti difficoltà.

FASI DEL RILIEVO

La campagna di rilievo della Nada si snoda attraverso le seguenti fasi:

- 1- Acquisizione delle immagini della carena senza i markers
- 2- Disposizione dei markers sulla carena
- 3- Acquisizione delle immagini della carena con i markers ed elementi di dimensioni note
- 4- Misurazioni di massima
- 5- Calibrazione macchina fotografica
- 6- Elaborazione immagini con Photomodeler
- 7- Trasferimento della nuvola di punti al CAD e ricostruzione superfici
- 8- Intavolatura piano di costruzione

Fase 1: Acquisizione immagini della carena senza markers

In questa fase della campagna di rilievo si è provveduto a fotografare la carena prima dell'apposizione dei markers, per avere un riscontro di quali potessero essere le angolazioni utili per ottenere le immagini più adatte alla elaborazione con Photomodeler. Si è pensato in un primo momento di utilizzare tali immagini come textures da sovrapporre alla superficie elaborata nell'ultima fase al CAD.

Fase 2: Disposizione dei markers sulla carena

Per il rilievo di una carena di dimensioni rilevanti come quella oggetto di questa campagna di rilievo, si è pensato di utilizzare, come markers, delle strisce di carta adesiva di colore nero e bianco (v. fig. 2.4) da usare rispettivamente nelle zone bianche e rosse della barca sfruttando così il contrasto tra i colori dei nastri e della barca. Inoltre si sono considerati gli incroci tra le strisce di carta adesiva come punti forti utili da poter rilevare con Photomodeler, e proprio in questi punti sono stati disposti i markers elettronici con il software di fotorestituzione.

Si sono utilizzati inoltre come punti forti da rilevare anche gli incroci tra le strisce di carta disposte in verticale (per ordinate) ed i corsi di fasciame del fianco della barca.

**Figura 4**

Fase 3: Acquisizione immagini della carena con i markers ed elementi di dimensioni note

Oltre i markers sulla carena è importante utilizzare degli elementi di dimensioni note o facilmente deducibili dalle immagini fotografiche come ad esempio una squadretta che può essere disposta sul ponte od in una posizione ben visibile dalle immagini fotografiche. Tutto ciò al fine di avere in alcune immagini degli oggetti dalla cui misura delle dimensioni si possono dedurre facilmente le dimensioni di massima dell'oggetto rilevato, così da poterlo poi riportare nella scala reale nella fase di elaborazione al CAD della nuvola di punti.

Fase 4: Misurazioni di massima

In questa fase si effettuano delle misurazioni di massima sulla carena andando a rilevare a mano, con l'ausilio di un metro alcune dimensioni. Naturalmente i punti tra i quali vengono fatte tali misurazioni devono poi essere ben visibili nelle immagini fotografiche. Dal confronto poi tra le misurazioni fatte e le dimensioni di oggetti noti precedentemente disposti sulla barca è possibile ricondurre le dimensioni della barca, nel file che viene elaborato con Photomodeler, a quelle della barca al vero.

Fase 5: Calibrazione macchina fotografica

A questo punto si entra nel vivo della campagna di rilievo con la taratura degli strumenti utilizzati per la stessa. In particolare si procede con la calibrazione della macchina fotografica digitale in modo da poterla interfacciare con il software al fine di ottenere dei risultati quanto più possibile immuni da effetti di distorsione introdotti dall'obiettivo della fotocamera.

Per calibrare la fotocamera si procede con il fotografare da una distanza nota un oggetto dalle dimensioni note come ad esempio un foglio A4 (210mm x 297mm) (v. fig. 2.5). In questo caso si è fotografato il foglio A4 da una distanza di 2805mm, distanza tra il piano che contiene il foglio ed il punto di fuoco dell'obiettivo della fotocamera solitamente indicato dal costruttore con una tacchetta posta sopra l'obiettivo.

**Figura 2.5**

L'immagine fotografica verrà poi utilizzata dal software che riconoscerà le proprietà delle immagini scattate con una ben precisa fotocamera (nel caso del rilievo della Nada si tratta di una Nikon 4500 Collpix) e le caratteristiche del gruppo ottico della macchina stessa. Le immagini usate per la calibrazione della fotocamera sono le seguenti:

**Figura 2.6**

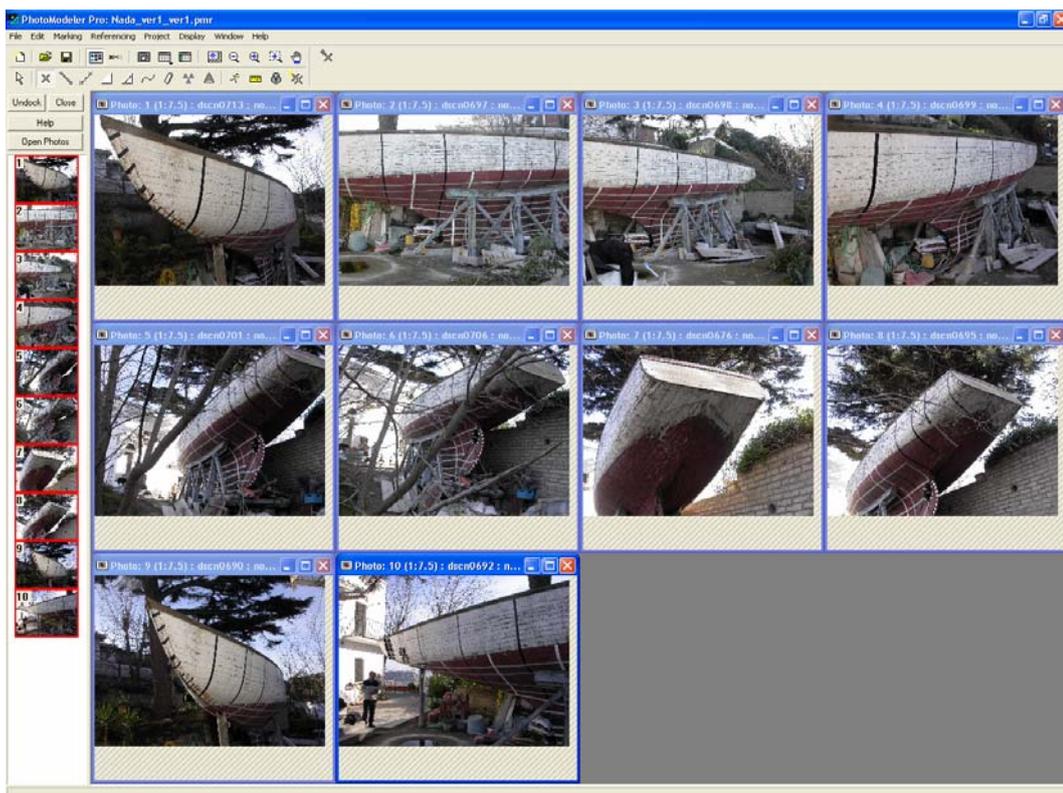
**Figura 2.7**

Il file di calibrazione letto dal Photomodeler può essere riutilizzato poi per eventuali successive campagne di rilievo in cui verrà utilizzata eventualmente la stessa fotocamera.

Fase 6: Elaborazione immagini con Photomodeler

A questo punto si procede con l'introdurre in Photomodeler le immagini fotografiche della carena con i markers costituiti appunto dalle strisce di carta adesiva disposte per ordinate e per linee d'acqua (v. fig. 2.8).

Si procede poi con l'individuare i punti in comune tra le varie immagini "segnandoli" con i markers elettronici, utilizzando il comando **Mark Points** del menu a discesa **Mark>Mark Points**

**Figura 2.8**

La fase successiva consiste nel mettere in relazione i punti in comune tra le varie immagini con il comando **Reference Mode**. Successivamente utilizzando il

comando **Process** tali punti verranno disposti nello spazio creando una nuvola di punti (v. fig. 2.9).

Fase 7: Trasferimento della nuvola di punti al CAD e ricostruzione superfici

La nuvola di punti generata attraverso Photomodeler (fig. 2.9) può essere esportata in formato DXF per essere letta da un programma CAD di modellazione tridimensionale di superfici

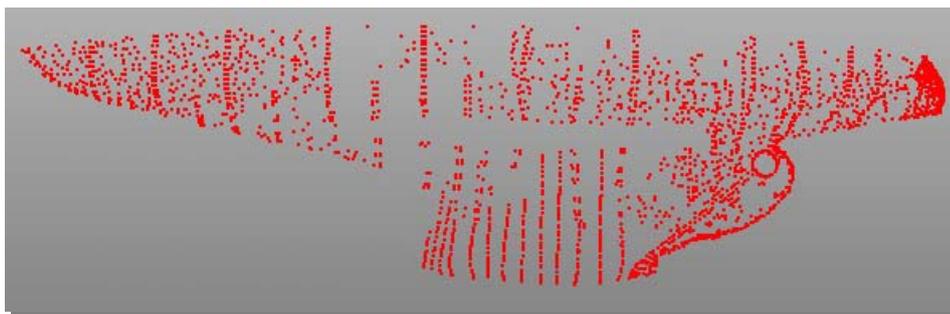
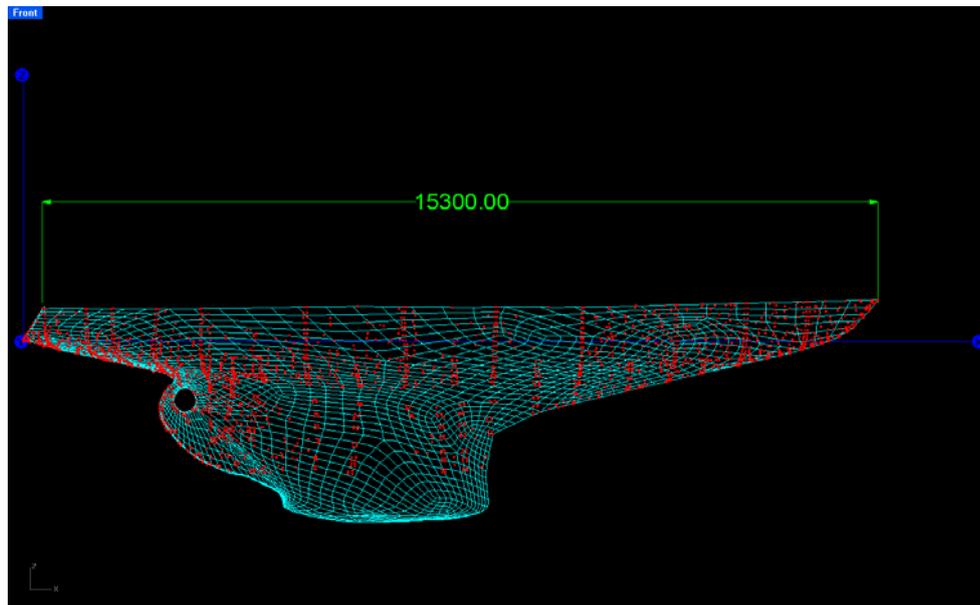


Figura 2.9

Attraverso questa nuvola di punti si fa quindi passare una superficie la cui qualità sarà poi valutata con gli strumenti opportuni offerti dal CAD. Questo modello 3D verrà poi scalato per essere ricondotto alle dimensioni effettive della barca al vero (v. fig. 2.10).

**Figura 2.10**

Il prossimo passo consiste nell'avviare la superficie ottenuta tracciando delle opportune sezioni trasversali da riavviare e da utilizzare poi come base da cui ripartire per tracciare una superficie avviata. Le superfici ricostruite della barca si presentano come in fig. 2.11 dove è raffigurato un modello renderizzato della Nada.

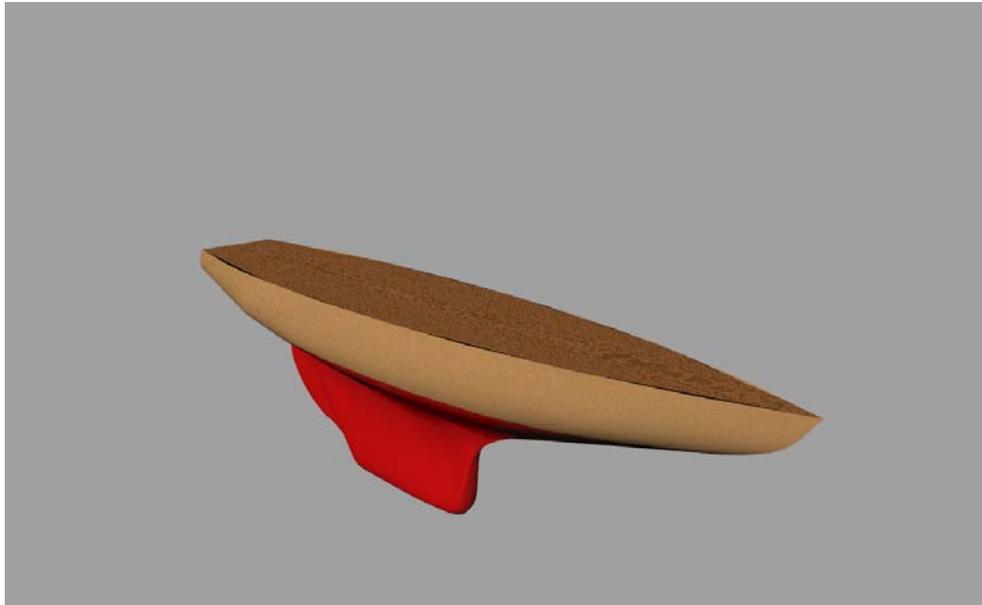


Figura 2.11

Fase 8: Intavolatura piano di costruzione

Dalle superfici ottenute si possono ottenere quindi tutte le curve per disegnare il piano di costruzione che si presenta come nella fig. 2.12.

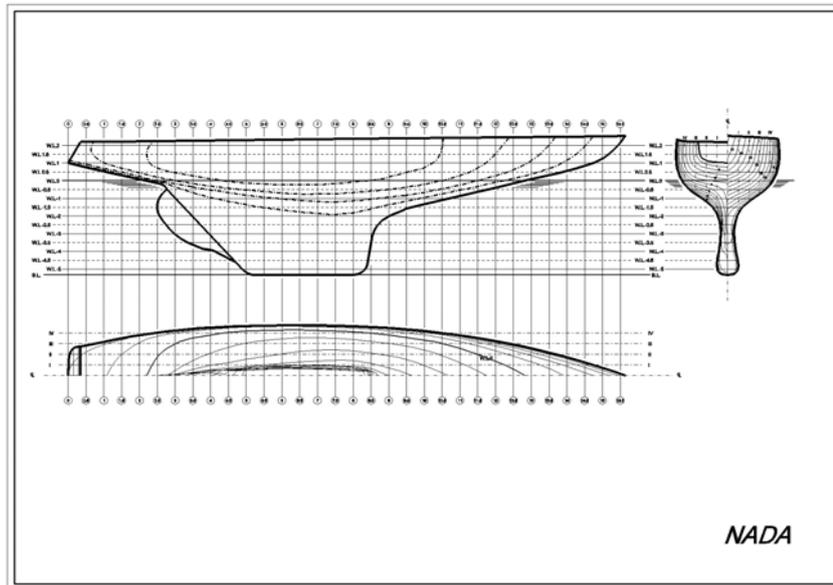


Figura 2.12

RILIEVO SANTAROSA

La SANTAROSA è una barca del 1946 e dalla lunghezza 7.50m e dalla larghezza di 1.80m.

Per questa imbarcazione è stato fatto un rilievo con il laser in alternativa alla fotogrammetria. Gli strumenti utilizzati sono i seguenti:

1. *Scanner Laser VI 900 (VIVID 900) della Minolta*
2. *Computer portatile*
3. *Spray opacizzanti*
4. *Markers*
5. *Telone*

Fase 1: Preparazione della carena

La fase di preparazione della carena ha presentato non poche difficoltà. È stato necessario utilizzare degli spray opacizzanti (smacchiatori) che avevano il compito di rendere visibile al laser la parte dell'opera viva verniciata di nero e che assorbendo molta luce non era facilmente rilevabile.

Sono stati poi disposti sulla carena dei markers che avevano il compito di facilitare la sovrapposizione delle patches dal momento che per le dimensioni della barca l'acquisizione è stata fatta in più riprese.

Inoltre le condizioni della luce non erano quelle ideali dal momento che il cielo era coperto e la luce filtrando attraverso le nubi creava un fastidioso riverbero che ha dettato la necessità di utilizzare un telone per ricoprire la barca cercando così di ovviare almeno in parte a tale problema.

Anche la posizione della barca non ha certo facilitato il compito dal momento che quest'ultima era parzialmente coperta nella zona di poppa da alcuni cespugli.



Figura 2.13

Fase 2: Misurazioni di massima

Per riportare il modello CAD nella giusta scala è opportuno prendere delle misure come la lunghezza fuori tutto e la larghezza max.

Fase 3: Acquisizione

Per il tipo di laser utilizzato è stata scelta una lente di tipo *wide*, tra le tre disponibili, dotando così lo scanner una lunghezza focale di 8 mm, potendo disporre così di un campo di visibilità più ampio. Inoltre nella fase di acquisizione la distanza dello scanner dalla carena era di circa 1m.

Il tipo di lente e la distanza dalle superfici da rilevare hanno permesso di ottenere delle *patch* più grandi con delle nuvole di punti meno dense.

Inoltre la sensibilità dello scanner alle condizioni di luce ha richiesto l'utilizzo di un telone per coprire la barca durante l'acquisizione ed inoltre ha imposto l'uso di spray opacizzanti per rendere visibili allo scanner le zone scure della barca, dal momento che in presenza di colori scuri la radiazione *laser* viene assorbita ed il sensore CCD non riceve alcuna informazione.

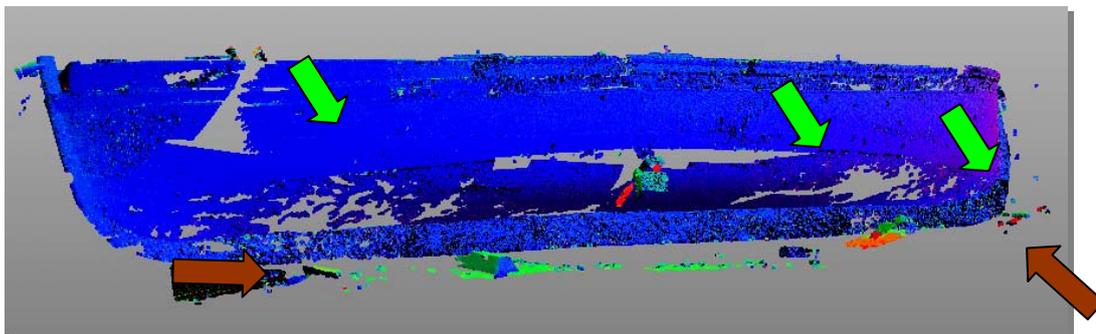
**Figura 2.14**

Inoltre per le dimensioni dello scafo sono state acquisite 32 patch durante la scansione, con un tempo di acquisizione di circa 2 ore.

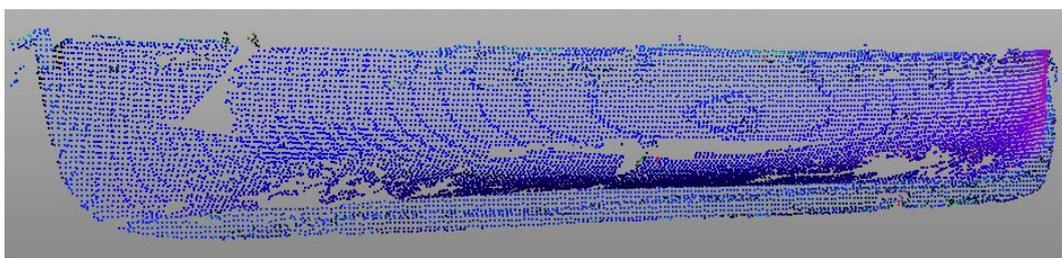
Fase 4: Ricostruzione delle superfici

Le nuvole di punti sono state quindi unite a formarne una sola collegando le nuvole contigue sovrapponendo tre punti in comune tra le patch contigue. Per questa fase del lavoro sono state spese circa 40 ore.

La nuvola di punti finale è composta di 1552054 generando un file CAD di dimensioni piuttosto elevate. Ciò ha imposto la riduzione dei punti a 13945 in modo da rendere il file CAD più facilmente gestibile con un calcolatore di uso comune.

**Figura 2.15**

Nella **fig. 2.15** si possono notare delle discontinuità nella nuvola di punti nonché la presenza di elementi come gli appoggi in legno sui quali si trovava la barca.

**Figura 2.16**

Nella **fig. 2.16** si può osservare la nuvola di punti notevolmente semplificata. Dall'immagine si può notare la presenza di discontinuità che è indice del fatto che in alcune zone la luce del laser è stata assorbita senza la possibilità di restituire quindi informazioni sulla superficie della carena.

Tali discontinuità possono essere eliminate manipolando la nuvola di punti con un programma adatto allo scopo che utilizza le informazioni sulla

disposizione nello spazio dei punti di contorno delle discontinuità, permettendo di ricavare quindi una nuvola di punti finale corretta.

Il passo successivo riguarda la tracciatura di una superficie NURBS sulla nuvola di punti con un programma CAD, ottenendo i risultati di **fig. 2.17**.



Figura 17

Fase 5: Avviamento della superficie e disegno del piano di costruzione

Per ottenere il piano di costruzione della barca è necessario tagliare la superficie della carena con 3 famiglie di piani mutuamente ortogonali tra loro. Da queste intersezioni dei piani con la carena vengono generate quindi le tre famiglie di curve (linee d'acqua, ordinate e sezioni longitudinali) che descrivono in maniera significativa le forme della carena. Appare evidente quindi che la qualità

delle curve generate attraverso il sezionamento della superficie dipende dalla qualità della superficie stessa.

In questo caso si è ritenuto opportuno procedere all'avviamento della superficie della della carena attraverso i seguenti passi:

- Generazione di sezioni trasversali distanti tra loro 250mm
- Correzione delle sezioni trasversali agendo sull'ordine delle curve, sul numero e sulla posizione dei punti di controllo (cfr. fig. 2.18).
- Disegno della superficie sulle sezioni trasversali corrette e successivo controllo della qualità della superficie con eventuali correzioni nelle zone che lo richiedevano.
- Controllo delle linee d'acqua ed eventuali correzioni locali (cfr. fig. 2.19)

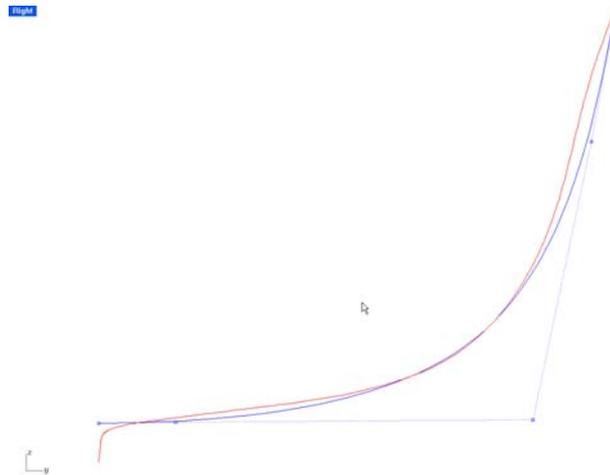
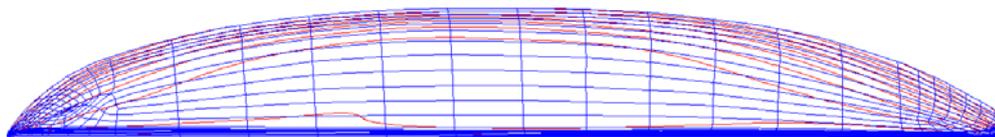
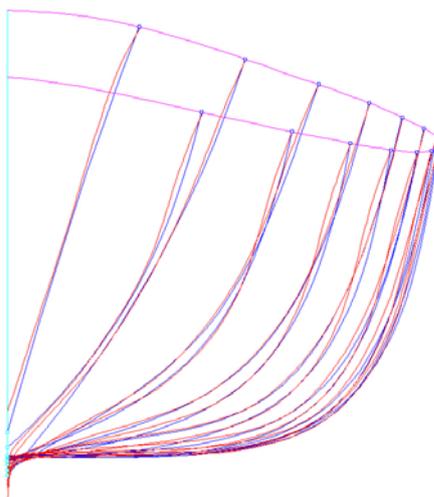


Figura 18

**Figura 19**

Nell'immagine seguente sono visibili le sezioni trasversali prima (rosse) e dopo (blu) l'avviamento.

**Figura 20**

Inoltre lo scanner laser ha praticamente ignorato alcune zone della barca come la cinta, per cui dal confronto con le foto della barca e la superficie “stesa” al CAD sulla nuvola di punti ciò appare ben evidente (fig. 2.21).

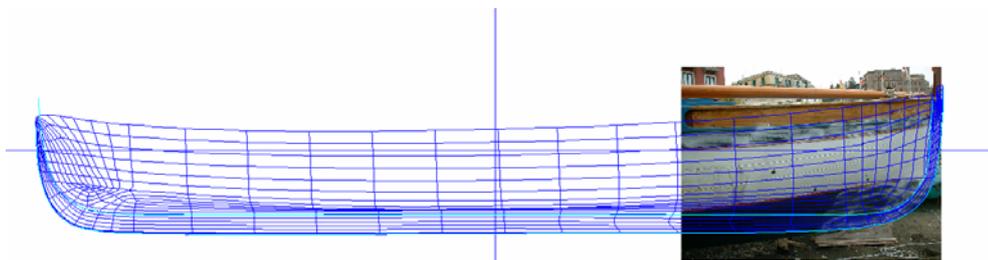


Figura 2.21

L'immagine seguente mostra il Piano di Costruzione della carena della Santarosa. Alcuni difetti di curvatura sono imputabili ad una non corretta sovrapposizione delle *patch*.

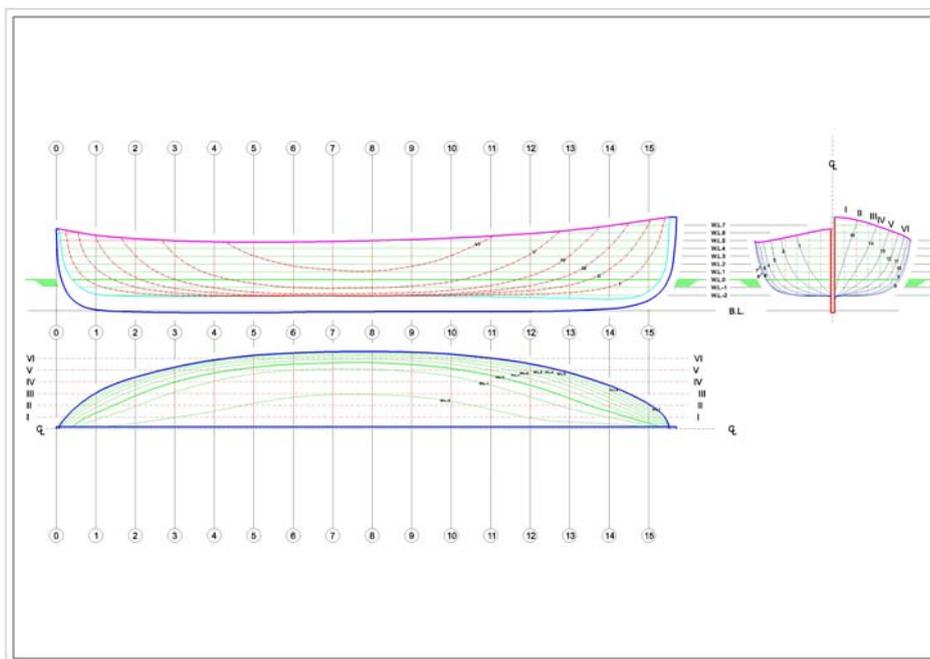


Figura 2.22

RILIEVO TOMAHAWK**Rilievo fotogrammetrico**

Il rilievo è stato effettuato sul mezzo modello dell'imbarcazione a vela Tomahawk custodito all'interno del Circolo Italia di Napoli. Tale modello è in scala 1:20 della classe 12m S.I., lunga 21,2 m e larga 3,72 m.

La barca è stata progettata nel 1938 e costruita nel 1939.

Dalla fig. 2.23 risulta evidente che la prua del modello è lievemente scollata dalla tavola di legno su cui è collocato il modello stesso.



Figura 2.23

Questo difetto del modello è risultato ben evidente nella fase di elaborazione delle immagini con Photomodeler.

I passi effettuati durante la campagna di rilievo sono identici a quelli fatti nel rilievo della Nada:

- 1- Acquisizione delle immagini della carena senza i markers
- 2- Disposizione dei markers sulla carena
- 3- Acquisizione delle immagini della carena con i markers ed elementi di dimensioni note
- 4- Misurazioni di massima
- 5- Calibrazione macchina fotografica
- 6- Elaborazione immagini con Photomodeler
- 7- Trasferimento della nuvola di punti al CAD e ricostruzione superfici
- 8- Intavolatura piano di costruzione

Fase 1: Acquisizione immagini della carena senza markers



Figura 2.24

Le acquisizioni delle immagini del modello senza i markers sono state fatte per gli stessi motivi per i quali sono state fatte per la Nada.

Fase 2: Disposizione dei markers sulla carena

Per questa campagna di rilievo sono stati utilizzati 50 singoli *markers* quadrati del lato di 10 mm e 70 *markers* rettangolari di lati 1 mm x 30 mm. Per un modello di questa grandezza queste sembrano essere le dimensioni ideali dei *markers* ma va detto che le stesse dipendono anche dalla tecnica e dalle abitudini dell'operatore.

I markers impiegati sono rappresentati in figura 2.25



Figura 25

Per questo modello la disposizione dei markers sulla carena ha visto l'alternanza dei due tipi di markers per facilitare le operazioni di *Referencing* nella fase di elaborazione delle immagini con Photomodeler. La scelta del colore dei markers, così come per la Nada, è avvenuta in base alla necessità di rendere visibili gli stessi sul colore della carena.

Il modello dopo la disposizione dei markers si presentava come nell'immagine seguente:

**Figura 2.26**

Bisogna inoltre osservare che l'adesivo della striscia di carta usata per ottenere i markers non è molto tenace, onde evitare di danneggiare la rifinitura superficiale del modello.

Fase 3: Acquisizione immagini della carena con i markers ed elementi di dimensioni note

Nella fase di acquisizione non sono stati fotografati elementi di dimensioni note o deducibili dalle immagini (es. righelli o squadrette) perché operando su di un modello di dimensioni particolarmente contenute come in questo caso, è stato più facile rilevare a mano alcune misure fondamentali.

Fase 4: Misurazioni di massima

Per poter riportare il modello nella giusta scala si sono effettuate alcune misurazioni di massima anche sui bordi della tavola che contiene il mezzo modello.

Fase 5: Calibrazione macchina fotografica

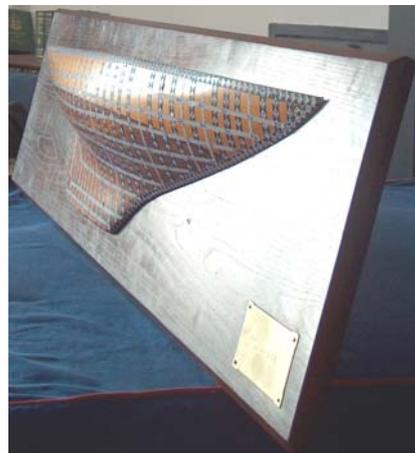
Per la calibrazione della macchina fotografica si è usato un foglio A4 disposto a 1340 mm dall'obiettivo. Ciò potrebbe permettere di avere una nuvola di punti finale in scala 1:1 col modello in legno.

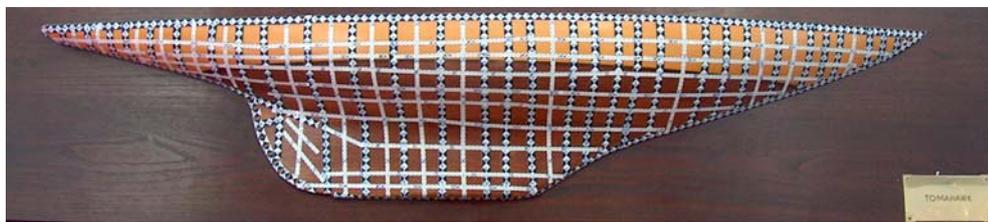
Per assicurare ulteriormente un risultato in scala, si è scelto di eseguire tutte le fotografie necessarie al progetto alla stessa distanza di 1340 mm dal modello.

La macchina fotografica utilizzata è stata una Hp Photosmart 850 da 4.1 MegaPixel con lente focale di 7.6 mm.

Fase 6: Elaborazione immagini con Photomodeler

Per l'utilizzo di Photomodeler si è pensato inizialmente di utilizzare solo le seguenti tre immagini per la costruzione della nuvola di punti.

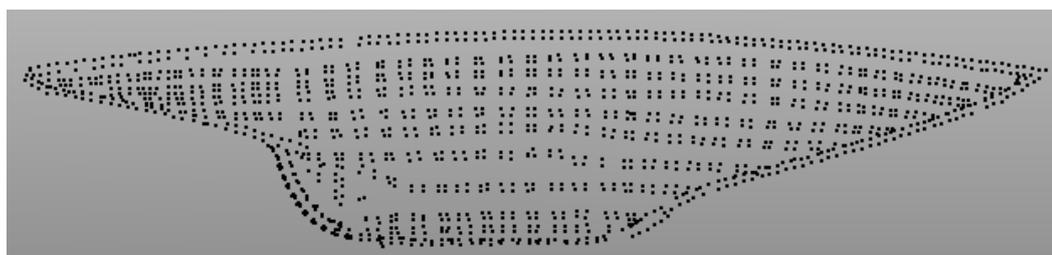


**Figura 2.27**

Queste immagini però si sono rivelate inefficaci nel permettere di ricavare informazioni dettagliate sui bordi inferiori del modello, per cui sono state inserite nel progetto da elaborare con Photomodeler due ulteriori immagini (v. fig. 2.28).

**Figura 2.28**

Si è proceduto poi nel disporre i markers elettronici in Photomodeler, e poi mettendo in relazione tra loro le immagini in Reference Mode si è ricavata la nuvola di 1492 punti (v. fig. 2.29).

**Figura 2.29**

Fase 7: Trasferimento della nuvola di punti al CAD e ricostruzione superfici

In questa fase la nuvola di punti costruita attraverso la fotogrammetria è stata esportata in formato Dxf e quindi rielaborata al CAD per ottenere una superficie di prima approssimazione.

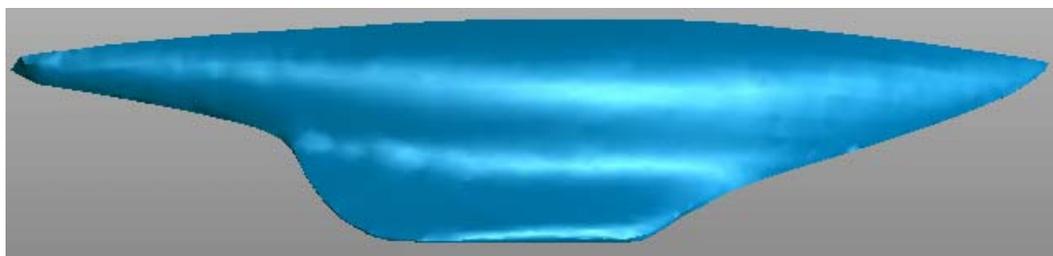


Figura 2.30

Di questa superficie sono state effettuate tutte le misurazioni per verificare la scala del modello CAD. Dal confronto con le misurazioni fatte sul modello ed in particolare sulla tavola di legno sul quale esso è incollato, si è visto che la lunghezza reale della tavola era di 1242mm, mentre quella fornita attraverso la fotogrammetria era di 1274mm, si è potuto accertare che la fotogrammetria ha restituito un modello di 1.025 volte l'originale. Questo errore è stato poi corretto al CAD.

Questa superficie è stata poi avviata al CAD e da quest'ultima sono state poi ricavate tutte le curve necessarie per disegnare il piano di costruzione.



Figura 2.31

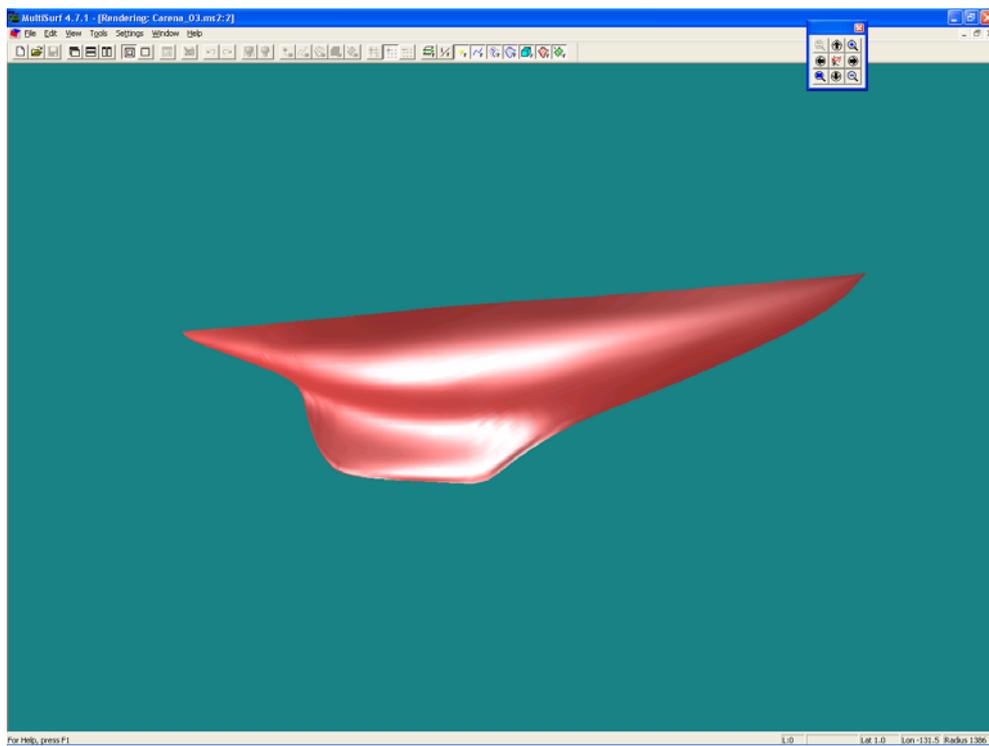


Figura 2.32

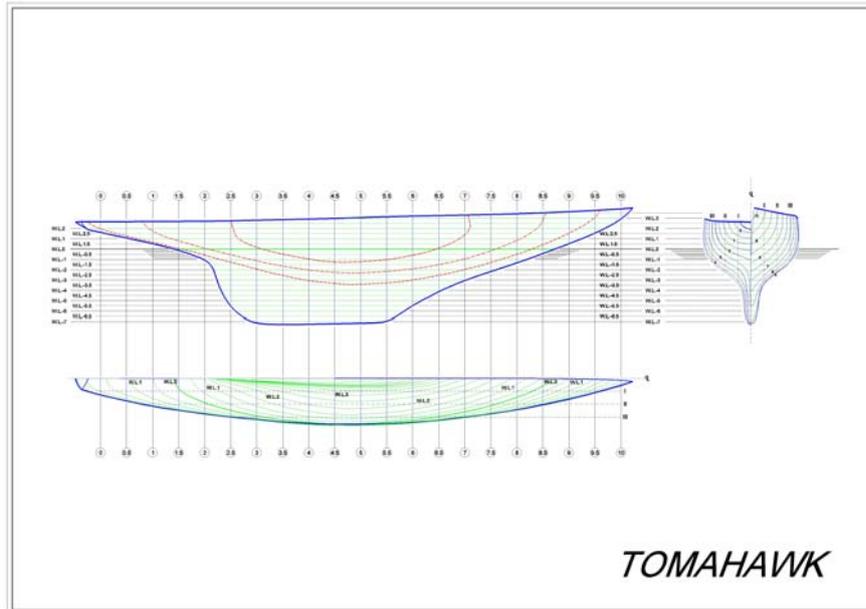


Figura 2.33

La tabella seguente è una schematizzazione di come si sono succedute le varie fasi del rilievo con i relativi tempi.

Fasi	Tempo impiegato
Preparazione dei markers	1 ora
Applicazione dei markers adesivi	50 minuti
Esecuzione fotografie	10 minuti
Rimozione markers	10 minuti

Tabella 1: Fasi e relativi tempi impiegati

Acquisizione *Laser*

Il rilievo del modello in legno della Tomahawk con tecnologia laser ha consentito di apprezzare realmente la qualità del risultato ottenuto con la fotogrammetria.

Per l'esecuzione della scansione *laser* si è fatto uso delle attrezzature di cui si è parlato nell'acquisizione dello scafo Santarosa.

In più si è fatto uso di:

- Tavola rotante;
- Sistema di illuminazione artificiale con lampade alogene;
- Panno nero per lo sfondo.

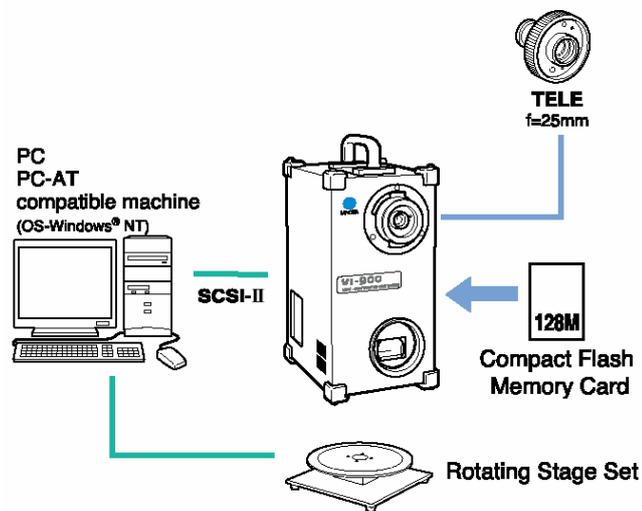


Figura 2.34: Collegamenti periferici al Vivid 900

Per le dimensioni contenute del modello si è preferito trasportarlo direttamente nella sala in cui era sistemato il sistema *Laser* e procedere alla sistemazione accurata degli attrezzi.



Figura 2.35: Tomahawk

Il modello in legno è stato posto su una tavola rotante alla distanza di circa 1 metro dallo *scanner laser* che, a sua volta, è stato posizionato su un treppiede.



Figura 2.36: Sistema laser su treppiede.

Dietro al modello è stato posizionato un telo di colore: il colore nero assorbe completamente l'emissione *laser* e consente di ridurre al minimo il rilievo di corpi che non interessano. Inoltre, la proprietà assorbente del colore nero assicura che non ci siano riflessioni negli obiettivi dovute a illuminazione artificiale presente alle spalle dello *scanner*.

Infine, si è fatto uso di due lampade alogene per l'illuminazione artificiale dotate di treppiede, orientabili in posizione e di potenza variabile. Tali lampade sono state disposte in modo da ottenere le migliori condizioni ambientali per migliorare il rilievo nelle zone d'ombra.

La tecnologia usata dal VI 900 consiste nella emissione di un piano *laser* sull'oggetto e lettura, tramite una speciale videocamera, della riflessione creata dai rilievi. Il piano *laser* si sposta dall'alto verso il basso "scansionando" l'oggetto in un tempo inferiore ad 1 secondo. L'acquisizione laser è per tal motivo molto rapida. Inoltre il Vivid 900 acquisisce anche un'immagine fotografica dell'oggetto (*texture*): tale caratteristica consente di poter sfruttare anche le discontinuità di colore del modello per la successiva fase di unione delle *patch* per la formazione della nuvola di punti totale.



Figura 37: Scelta delle lenti focali

Per il rilievo del modello è stato utilizzato un obiettivo medio e sono state realizzate tre acquisizioni.



Figura 2.38: *Patch* rilevate col sistema *laser Vivid 900*

A valle delle tre scansioni si è provveduto ad unire le relative nuvole di punti tramite un comando di Registrazione fornito dal *Polygon Editing Tool*. Tale registrazione può essere di tipo automatico oppure manuale. Si è provveduto all'utilizzo di quella manuale mediante il riconoscimento di tre punti che le *patch* contigue avevano in comune. Il risultato ottenuto è la nuvola di 73870 punti riportata nelle figura sottostante.

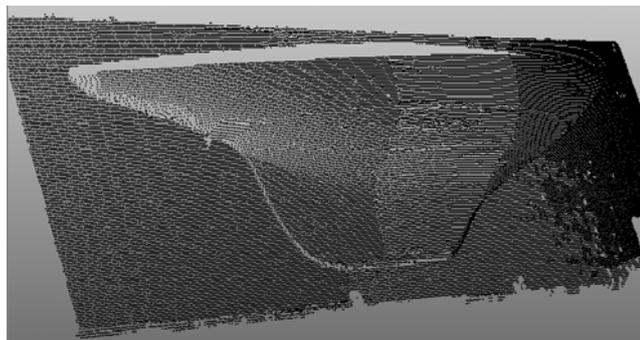


Figura 2.39: Nuvola di punti ottenuta dall'unione delle tre *patches*

Come si può notare, tale nuvola comprende anche zone relative alla tavola sui cui è posto il modello; apparentemente, l'ottenimento di punti relativi alla tavola in legno sembrerebbe essere cosa completamente inutile; invece, essi sono

stati utilizzati per il riconoscimento delle zone comuni delle *patches* al fine di registrarle tra loro.

Minolta Scan Vivid 900		
Modello Tomahawk	Tempo di scansione totale	20 min
	Numero di punti	73868
	Dimensione totale file	16.6 MB
	Note	Utilizzo della tavola rotante

Tabella 2: Caratteristiche dell'acquisizione

Ricostruzione della seconda superficie

Una volta ottenuta la nuvola si è passati alla riduzione dei punti in eccesso, cioè quelli appartenenti alla tavola ed altri punti di disturbo (*noise*). Il modello dello scafo Tomahawk nella sua parte essenziale è riportato in figura 40; esso è costituito da 28446 punti.

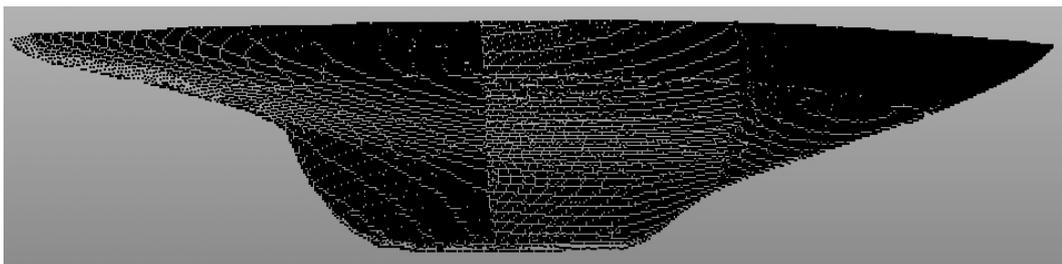


Figura 2.40: Nuvola di punti ottenuta dal rilievo *Laser*

Il primo difetto che si è notato è stato la mancanza di alcuni punti nella parte inferiore della deriva e ciò è dovuto alla scarsa illuminazione in quella zona.

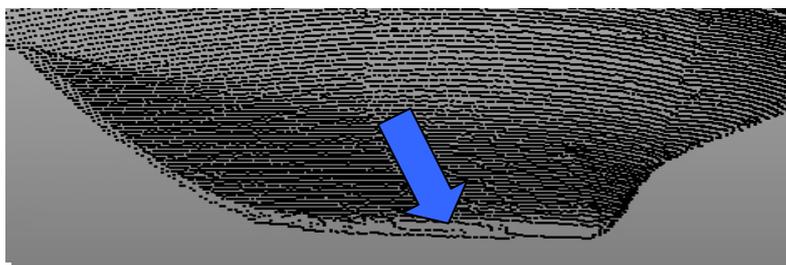


Figura 2.41: Mancanza di punti nella parte inferiore della deriva

Poiché si è fatto uso di due apposite lampade artificiali e si è posta molta attenzione affinché il laser riuscisse a rilevare tutti gli spigoli, si può comprendere quanto questo tipo di sistema sia estremamente sensibile al tipo di illuminazione presente all'atto della scansione.

Nella fase di poligonalizzazione, conseguentemente alla mancanza dei punti di cui si è parlato, è stato necessario chiudere i fori (*fill holes*).

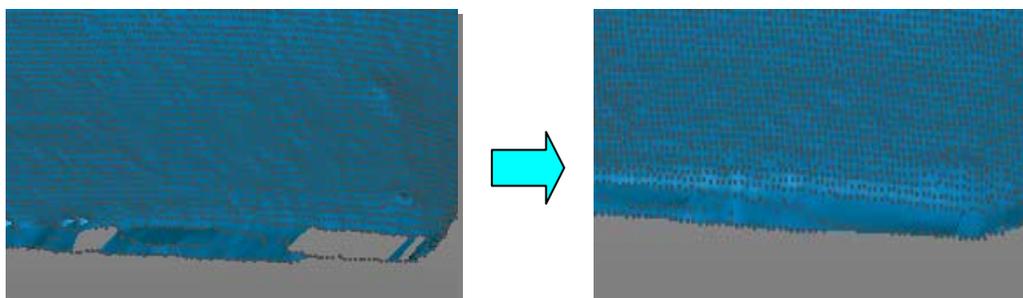


Figura 2.42: *Fill Holes*

Appena iniziata la fase di poligonalizzazione è stato possibile notare immediatamente un altro piccolo difetto del rilievo. Come già detto, gli oggetti di colore nero assorbono quasi completamente la radiazione *laser* e non vengono quindi, rilevati dal sensore CCD. Come si può notare dalla figura 2.42 la linea di galleggiamento della Tomahawk è di colore marrone scuro.

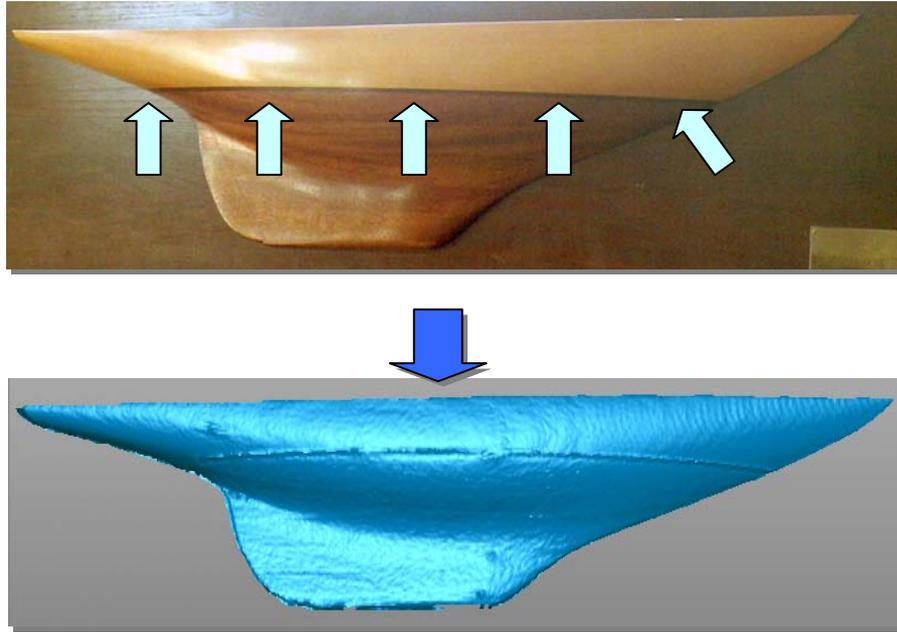


Figura 2.43: Difetto alla linea di galleggiamento

Tale linea non è stata “vista” correttamente dal sistema *laser* e quindi i punti sono stati posizionati erroneamente (figura 2.43). Con operazioni di rimozione delle punte triangolari (*remove spikes*) si è provveduto a correggere le incertezze descritte.

Successivamente, si è passati alla creazione delle *features* e delle curve *boundaries* e loro sistemazione, ricordando che esse svolgono un ruolo fondamentale nella modellazione della superficie, in quanto fungono da contorni delle *patch* di NURBS e, quindi, la loro disposizione deve presentare molta regolarità.

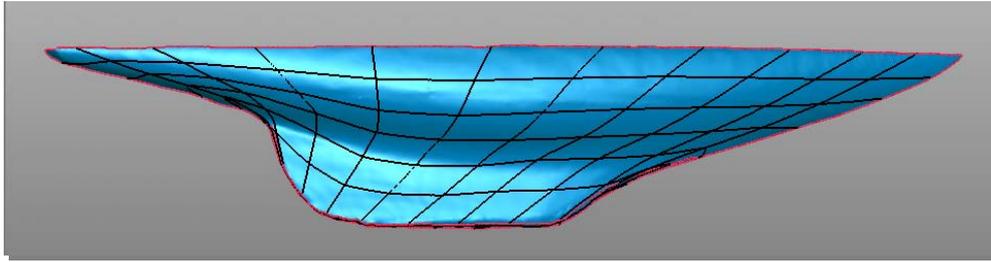


Figura 2.44: Features e Boundaries

In seguito, si è passati al rilassamento delle *boundaries*, alla creazione di una griglia di risoluzione pari a 40 ed all'immissione di una superficie NURBS composta di più *patch*. La NURBS è stata creata con un numero di punti di controllo pari a 6. Un valore così basso ha consentito di controllare meglio la superficie evitando l'insorgere di bruschi cambi di curvatura.

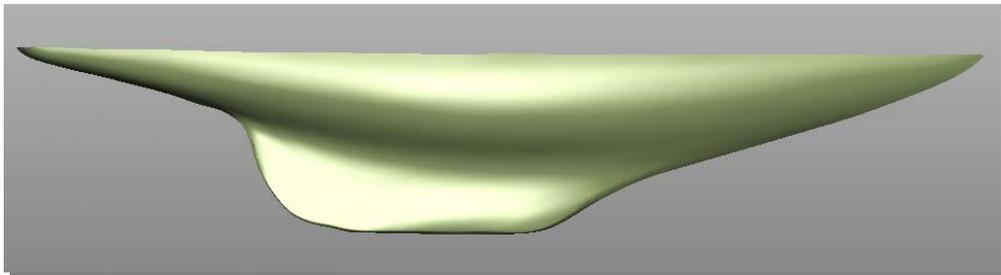


Figura 2.45: Superficie NURBS ottenuta con scansione Laser

Confronto tra i risultati ottenuti a valle dei rilievi fotogrammetrico e *Laser*

Come anticipato nell'introduzione ai metodi di acquisizione la tecnica *laser* vanta di indubbia affidabilità nel restituire precise repliche degli oggetti sottoforma di nuvole di punti. Lo scopo ultimo ma di maggior interesse nello studio effettuato, consiste nel valutare i risultati ottenibili con la fotogrammetria in campo navale.

Avendo acquisito il modello della Tomahawk con entrambe le tecniche si è pensato di effettuare un confronto tra i due risultati ottenuti. Per far ciò è stato utilizzato il *software* Geomagic che offre la possibilità di realizzare un'analisi degli scostamenti tra superfici e nuvole di punti di qualsivoglia oggetto utilizzando il comando *Analysis*.

Dunque è stato fatto un confronto tra la superficie ottenuta a valle del rilievo *laser* con la nuvola di punti rilevata con la tecnica fotogrammetrica. Il Geomagic permette di visualizzare gli scostamenti tramite una analisi cromatica che ben rende i valori delle distanze tra i due enti geometrici (fig. 2.46).

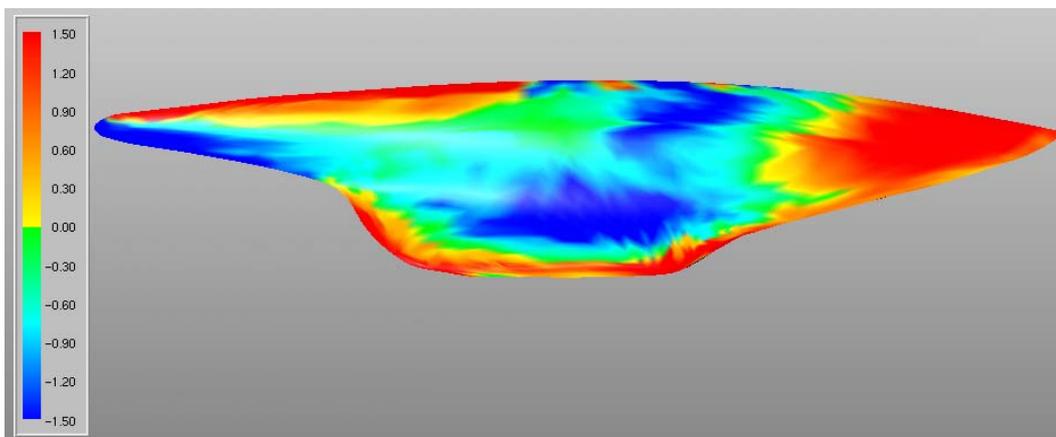


Figura 2.46: Analisi cromatica degli scostamenti

Si ricordi che il modello della Tomahawk ha una misura, relativamente alla diagonale maggiore, pari a 1100 mm circa. Come si può notare dall'analisi effettuata il valore massimo misurato pari a ± 1.50 mm. Invece il valore dell'*Average Distance* (scostamento medio) è di ± 1.25 mm; i colori giallo e arancione indicano zone in cui lo scostamento raggiunge un valore pari a 0.53 mm, mentre il verde e l'azzurro denotano lo stesso scostamento ma di segno opposto.

Con semplici calcoli si conclude che il rilievo effettuato ha comportato uno scarto massimo che corrisponde quasi alla millesima parte delle dimensioni massime dello scafo. Così ad esempio con la Nada di dimensioni, alla diagonale maggiore, pari a 17 m, si avrebbe uno scostamento al massimo di 17 mm circa, valore bassissimo.

Piani di costruzione e avviamento della superficie

Avviare la superficie di una carena navale significa eliminarne le imperfezioni e gli inutili cambi di curvatura, in modo da renderla il più possibile regolare. Per fare ciò, il metodo è quello di sezionare lo scafo con più piani paralleli a tutti e tre i piani coordinati ed ottenerne delle curve, la cui forma indica quali fra esse vanno avviate. Dopo aver riavviato un gruppo di curve si riapplica una superficie NURBS in modo da ripetere le operazioni fatte di sezionamento e successivo avviamento, finché tutte le curve non sono regolari. Si instaura un processo ciclico (correzione → stesura della superficie → sezionamento di questa → nuova correzione), fino a convergere sulla forma finale.

Per ottenere la maggiore quantità di informazioni risultanti dal sezionamento dello scafo, si è reputato opportuno importare sia la nuvola di punti che la superficie realizzata al Geomagic all'interno del *software* Rhinoceros 3.0.

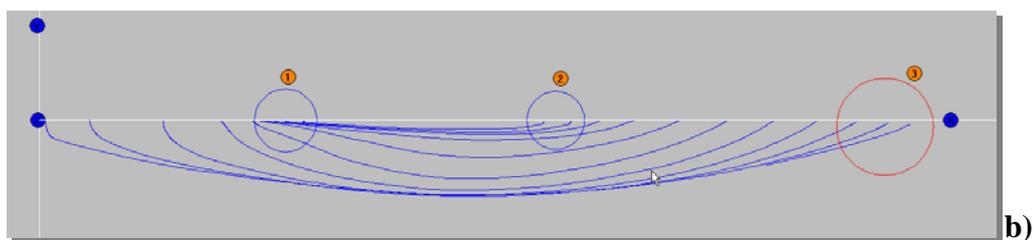
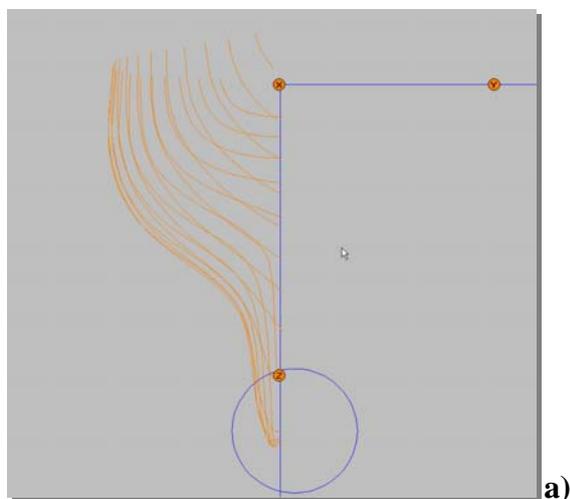
C'è da dire, infatti, che la superficie realizzata al Geomagic approssima la nuvola di punti di partenza e inevitabilmente se ne discosta nelle zone di maggiore curvatura o che presentano spigoli vivi. Per tal motivo se si fosse importata solo la superficie il sezionamento avrebbe coinvolto solo alcune zone dello scafo trascurando bordi ed estremi della poppa e di prua.

A questo punto il primo passo da fare è procedere all'orientamento di entrambe le entità secondo il sistema globale suggerito dal *software*. L'origine degli assi può essere posta in qualsiasi zona dello scafo; secondo le preferenze

americane essa va posta in prossimità della prua; nel nostro caso si è deciso di posizionarla all'estremo della poppa.

La seconda fase è quella del sezionamento con piani paralleli ai piani principali xy , xz , yz e posti alla distanza di 50 mm l'uno dall'altro. Le proiezioni di tali sezioni dello scafo sui suddetti piani rappresentano i piani di costruzioni utilizzati per la stima della qualità delle carene e per le modifiche da apportare.

Il risultato dei sezionamenti della carena con i piani detti è una serie di curve; le curve arancione sono dette *curve trasversali*, le curve blu sono le *linee d'acqua* (*water lines*) e le curve rosse sono le *curve longitudinali* (*buttock*). Per poter valutare la qualità di tali curve è necessario guardare le viste principali e considerarne un tipo alla volta (fig. 2.47).



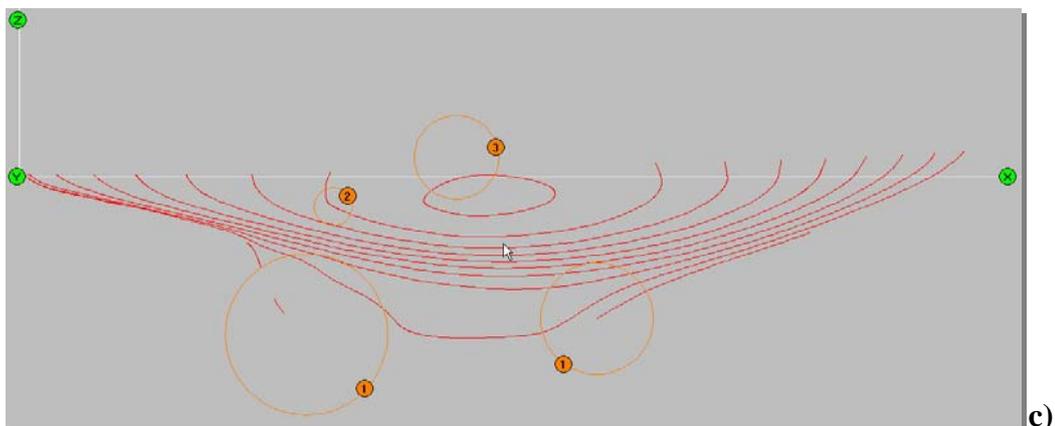


Figura 47: Tre viste: a) vista frontale, b) vista in pianta, c) vista del profilo

Ad esempio, dalla figura 2.47 a) è possibile valutare le curve trasversali, in particolare sono indicate delle curve che non terminano, come dovrebbero, sul piano diametrale. Qui si riporta un ingrandimento:

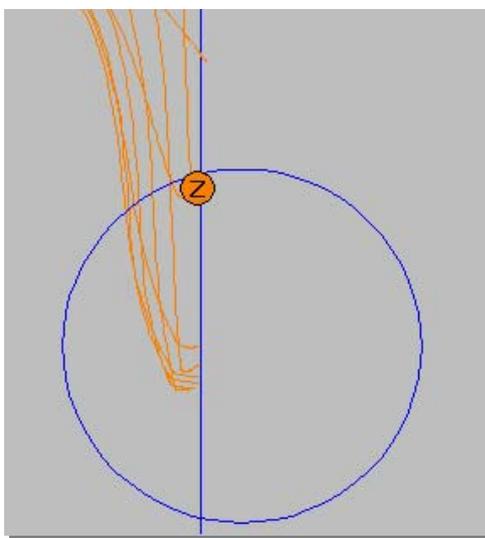


Figura 2.48: Ingrandimento delle parti finali relative alle curve trasversali

Lo stesso tipo di difetto è riscontrabile con l'aiuto delle linee d'acqua (cerchi blu nella fig. 2.47 b)). Infine, sulla vista di profilo, sono indicate con i

cerchi (1) tre curve longitudinali che denotano sicuramente delle imperfezioni da correggere in quanto lo scafo interseca addirittura il piano diametrale.

Osservazioni positive possono essere fatte invece nel resto delle curve longitudinali: le curve cerchiata con i numeri (2) e (3) in figura 2.47 c) sono esempio di buon rilievo della superficie. Infatti, il risultato dei sezionamenti longitudinali è una serie di ellissi che denotano il reale rientro della murata all'altezza della linea di cinta.

Alla prora si è notato, invece, uno scostamento della stessa dal piano diametrale; un ingrandimento delle linee d'acqua lo conferma.

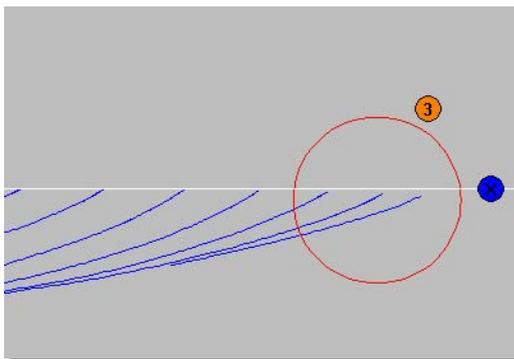


Figura 2.49: Scostamento della prora dal piano diametrale

Ciò significa dire che il modello in origine non presenta continuità con la tavola in legno che funge da supporto. In effetti ciò è confermato dalla figura 50: modello e tavola non sono costituiti di un unico pezzo lavorato e la parte terminale della prua si allontana dalla tavola in legno.



Figura 2.50: Prora distaccata dalla tavola di supporto

Ciò è di conforto, in quanto si può ritenere che il metodo fotogrammetrico è riuscito a rilevare tale discontinuità. Si è pensato di non correggerla in questa prima fase: il suo discostamento dalla tavola è cosa naturale ed una eventuale correzione viene fatta in un secondo momento.

Si è passati, invece, a tracciare una *outline*; essa è una curva ottenuta dalla traccia della carena sul piano di simmetria. Poi, si è tracciata anche la linea di cinta (curve verdi).

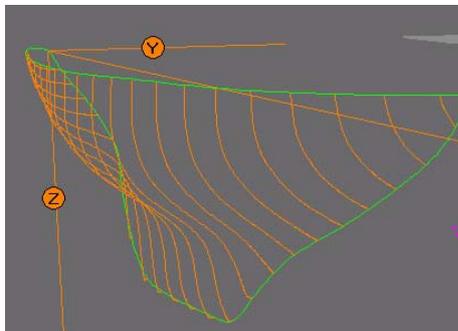


Figura 2.51: Outline e linea di cinta

Per esse, l'avviamento è stato immediatamente eseguito riducendo il numero di punti di controllo col comando *Rebuild Curve*. Infatti, riducendo il numero di punti di controllo la curva risulta maggiormente controllabile e si sono quindi eliminate tutti gli errati cambi di curvature.

Dunque, una volta esaminati i problemi da affrontare, si è dato inizio alla vera e propria fase di avviamento.

In primis, si è lavorato sulle curve trasversali proprio con l'aiuto del piano diametrale che è servito per disporre correttamente tutti i punti finali (*end point*). È possibile notare queste correzioni nelle figure 2.52 in cui le linee arancione errate sono state corrette e avviate secondo le linee blu.

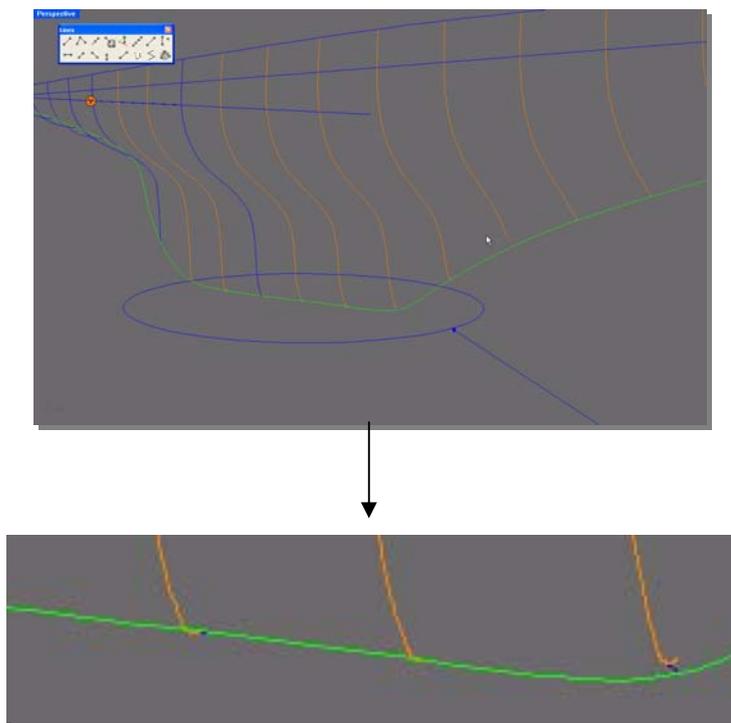


Figura 2.52: Correzione degli *end point*

Poi, si è passati all'avviamento di dette curve trasversali. Per semplificare l'operazione si è pensato di ridurre prima i punti di controllo da 80 a circa 10: ciò consente di controllare meglio le curvature. Quindi, si sono modificate le loro posizioni lungo ogni piano di giacitura (*fairing*) (fig. 2.53).



Figura 2.53: *Fairing*

Ripetuto tale procedimento per tutte le curve trasversali si è passati alla creazione di una superficie NURBS, approssimante le curve trasversali, per risaltare eventuali altri difetti. Le nuove *water lines* ottenute hanno evidenziato piccole incertezze (1 e 2 di fig. 2.54).

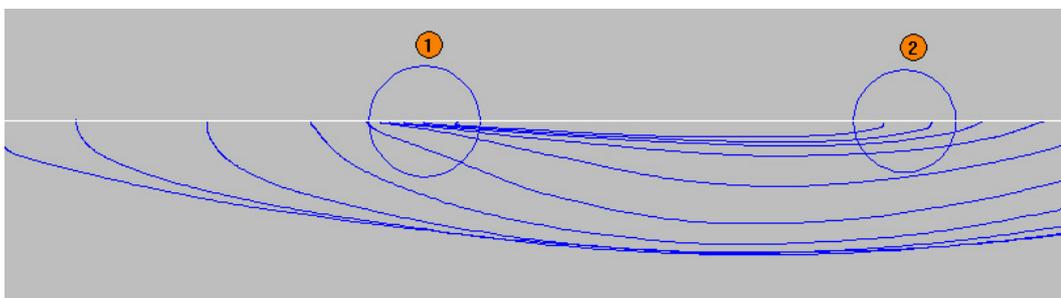


Figura 2.54: *Waterlines*

Con correzioni alternate delle linee d'acqua e delle linee trasversali si è giunti alla superficie NURBS ben avviata riportata nella figura 2.55.

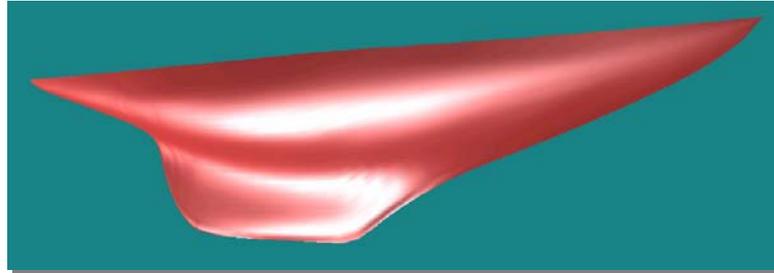


Figura 2. 55: Superficie avviata del modello Tomahawk

Si riportano i tre tipi di curve avviate sovrapposte alle curve di partenza (in nero). È possibile notare tutte le correzioni apportate.

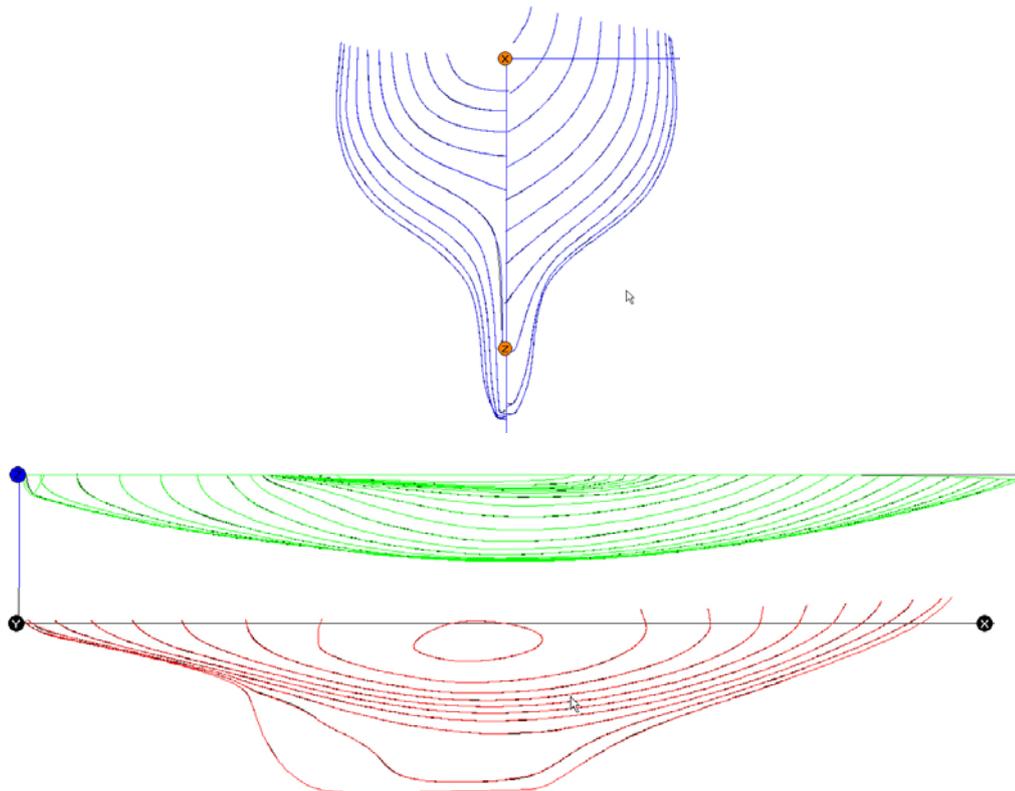


Figura 2.56: Confronto tra le curve modificate (blu, verde, rosso) e quelle di partenza (nero)

A questo punto si è passati al raddrizzamento della prua in modo da poter, poi, costruire lo scafo interamente. Per fare ciò è bastato considerare solo la prua e ruotarla rispetto ad un asse perpendicolare al piano di galleggiamento. Tale asse è stato scelto lì dove lo scafo finiva di essere realmente attaccato alla tavola (il punto O rappresenta il centro di rotazione).

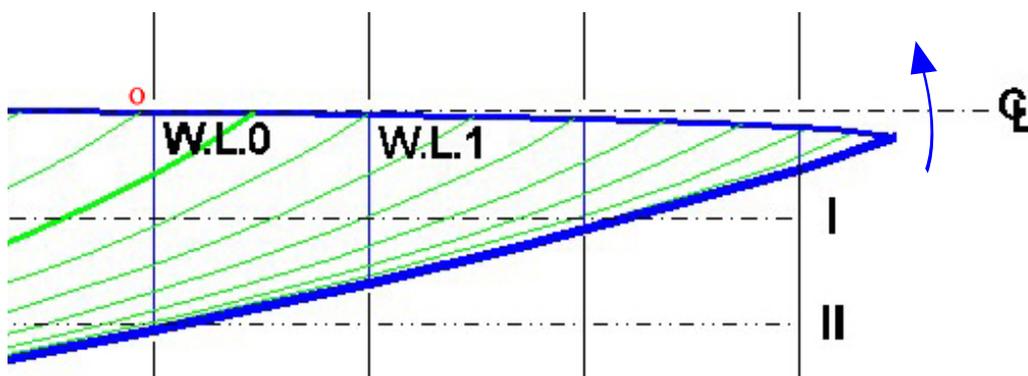


Figura 2.57: Correzione della prua

Ovviamente, dopo la rotazione è stato necessario riavviare le curve relative a quella zona e riapplicare le NURBS come fatto in precedenza.

Il risultato finale, dunque, è rappresentato dai *piani di costruzione*, strumento, sia di analisi per eventuali modifiche aggiuntive, sia guida per la costruzione di uno scafo reale.

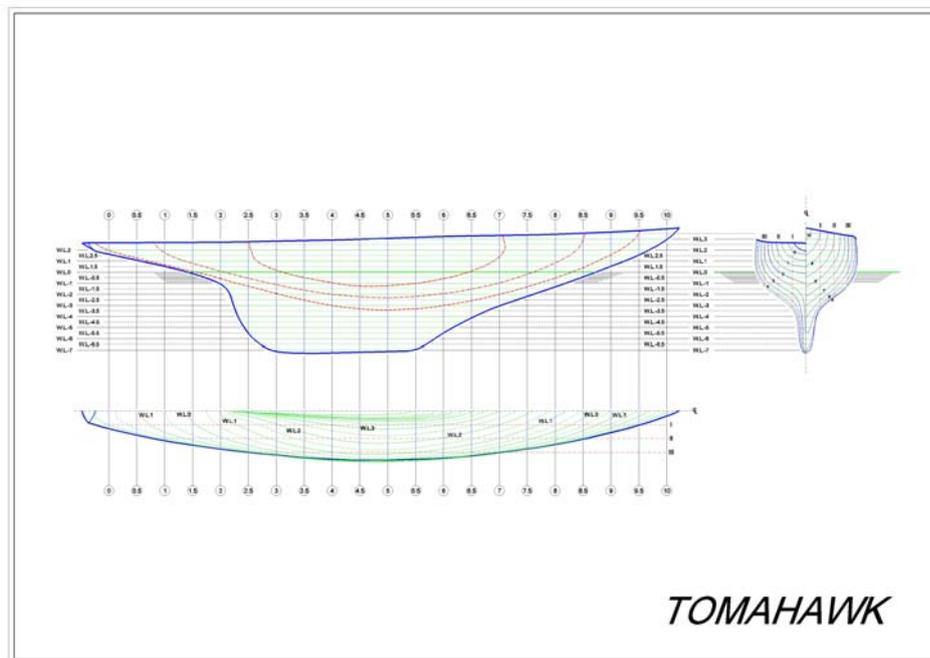


Figura 2.58: Piani di Costruzione della Tomahawk

A questo punto si è voluto completare la ricostruzione ricreando un aspetto estetico simile a quello del modello in legno. Semplici strumenti grafici hanno permesso di ottenere la riproduzione fedele nei colori (fig. 2.59).

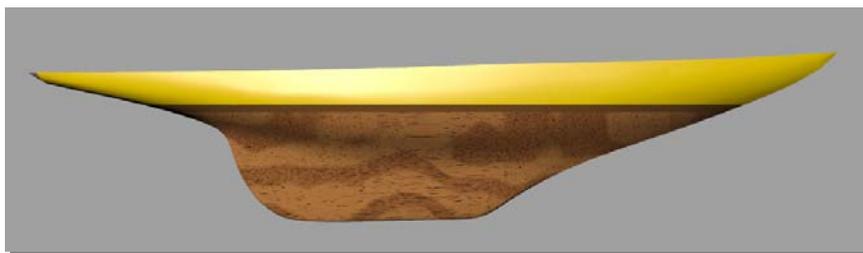


Figura 2.59: Modello digitale della Tomahawk

Infine, si è ricostruita una superficie speculare (babordo) di quella ottenuta (tribordo) ed, unendole, si è ottenuto lo scafo per intero (fig. 2.60).



Figura 2.60: Tomahawk in formato digitale

Conclusioni

Con l'utilizzo dei due metodi di rilievo ottici è stato possibile raggiungere il primo obiettivo preposto, ossia quello di acquisire carene di imbarcazioni di valore storico e di generare le relative superfici. Anche il secondo obiettivo è stato raggiunto, portando all'idealità le superfici ottenute, tramite operazioni di avviamento e, infine, realizzando i Piani di Costruzione delle imbarcazioni.

È stato condotto, inoltre, un confronto fra diverse tecniche di acquisizione di tipo ottico e, dunque, non a contatto: dai risultati ottenuti si è potuto giungere alla conclusione che la fotogrammetria ben si presta al rilievo di forme di carene navali. Lo scarto individuato, accettabile per l'uso richiesto dal RE in applicazioni navali, è stato ottenuto adoperando comuni macchine fotografiche digitali, non professionali. Inoltre, tale tecnica offre un sicuro vantaggio economico rispetto a quella *laser*.

Si riporta una tabella che riassume le differenze rilevanti tra le due tecniche.

Tabella 1: Caratteristiche principali dei tecniche utilizzate

	LASER	FOTOGRAMMETRIA
Costi	<ul style="list-style-type: none"> • Scanner Laser: da 20000 euro • Software di gestione: 3000 euro • Lampade: 200 euro • Tavola rotante: 300 euro 	<ul style="list-style-type: none"> • Macchina fotografica da 4.0 Mpixel: 200 euro • Software di Fotogrammetria: circa 1000 euro (Photomodeler)
Pesi	<ul style="list-style-type: none"> • Scanner: 11 Kg. • Tavola rotante: 30 Kg. • Lampada: 10 Kg. • Pc portatile: 8 Kg. 	<ul style="list-style-type: none"> • Macchina fotografica: 100 g. • Markers: 5-50 g. • Calibro/metro: 100 g.
Attrezzature supplementari	<ul style="list-style-type: none"> • Lampade • Tavola rotante • Personal computer • Opacizzante 	<ul style="list-style-type: none"> • Markers • Calibro/metro
Condizioni di illuminazione	Devono essere ottimali, protezione dalla luce diretta etc.	E' richiesto un buon livello di illuminazione (possibilità di usare il flash)
Condizioni ambientali	<ul style="list-style-type: none"> • Richiesta pavimentazione stabile • E' necessario avvicinare il sistema a circa 1 m dall'oggetto da rilevare 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualsiasi (in dipendenza delle capacità dell'operatore)
Colore dell'oggetto da rilevare	Se scuro è necessario utilizzare al meglio lo spray opacizzante	Se unico è necessario utilizzare markers di colore contrastante
Preparativi dello scafo	Opacizzare se il colore è scuro	Applicazione di markers
Facilità d'uso	BUONA	BUONA
Tempo di acquisizione	<ul style="list-style-type: none"> • Modelli: 20 minuti • Scafi: anche 2 ore 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelli: 20 minuti • Scafi: 20 minuti
Tempo di elaborazione (completamento dell'intera nuvola di punti)	<ul style="list-style-type: none"> • Modelli: 15 minuti • Scafi: anche giorni 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelli: 3 ore / 30 minuti • Scafi: 4 ore
Densità della nuvola di punti	Densa	La densità dipende dall'impegno dell'operatore

C'è da precisare che nel caso del rilievo effettuato col sistema *laser* il **tempo di elaborazione** comprende il tempo necessario all'operatore per concatenare tutte le nuvole di punti acquisite fino a formare un'unica nuvola rappresentante l'oggetto d'interesse.

Nel caso del rilievo effettuato con la fotogrammetria il **tempo di elaborazione** comprende il tempo di effettivo riconoscimento dei punti comuni nelle fotografie (*referencing*).

Dalle applicazioni effettuate si è avuto conferma del fatto che, per acquisire la forma di uno scafo, non è necessario ottenere il maggior quantitativo di punti; è rilevante, invece, ottenere punti di zone caratteristiche della carena, come linea di chiglia, linea di cinta e zone di forte curvatura. In tal caso, il tempo necessario a completare l'operazione di *referencing* potrebbe ragionevolmente dimezzarsi, diventando la fotogrammetria fortemente competitiva nei confronti del *laser*.

Invece, nel rilevare scafi di maggiori dimensioni la fotogrammetria dimostra di essere sicuramente più rapida.

Bisogna ammettere che il *laser* restituisce nuvole di punti molto dense; tuttavia nel campo navale non sussiste la necessità che esse lo siano, per le ragioni esposte sopra.

Per questi motivi è ragionevole ammettere che la fotogrammetria ben si presta al rilievo di scafi. Inoltre, il livello tecnologico che caratterizza gli oggetti di uso comune, come le macchine fotografiche digitali, sta crescendo a velocità elevate, a fronte di costi sempre più convenienti.

Lo sviluppo futuro dell'attività di ricerca prevede, per quanto riguarda le acquisizioni con la tecnica *laser*, l'utilizzo di sistemi *laser* commerciali, caratterizzati da volumi di lavoro più grandi.

Per quanto riguarda, invece, le acquisizioni con la tecnica della Fotogrammetria lo sviluppo prevede l'utilizzo di fotocamere digitali metriche, dotate cioè di certificato di calibrazione, in modo da raggiungere precisioni ancora più elevate.

Nelle applicazioni future basterà acquisire un numero minore di punti e, soprattutto, solo quelli di maggior interesse, cioè relativi alla chiglia, alla linea di cinta e alle zone di maggiore curvatura.

Un'alternativa all'applicazione di *markers* adesivi potrebbe essere l'utilizzo combinato di un proiettore ottico che crei una serie di *markers* "non a contatto".

Infine, la pratica effettuata, ha dimostrato che con la tecnica fotogrammetrica si è in grado di rilevare anche oggetti in movimento. Le future applicazioni, quindi, saranno rivolte all'acquisizione di componenti di barche a vela in vera grandezza ed in esercizio.

ACQUISIZIONE DELLA CARENA DI UN FISHERMAN**Rilievo fotogrammetrico**

Il lavoro illustrato di seguito mostra le fasi del rilievo della carena di un'imbarcazione da diporto dalla lunghezza fuori tutto di 6,80 m.

Lo scopo di questo lavoro è quello di acquisire gli elementi geometrici della carena per poter poi eseguire tutti i calcoli strutturali (ISO 12215-5) e di stabilità (ISO 12217-1) per l'ottenimento dell'omologazione CE.

Inoltre questa imbarcazione nasce con una motorizzazione entrofuoribordo, per cui lo scopo di questo rilievo è anche quello di acquisire le forme di carena al fine di poter studiare nuove modifiche per nuove versioni con motorizzazione fuoribordo.

Anche in questo caso, come per la Nada, l'accessibilità limitata all'imbarcazione per poter scattare delle immagini fotografiche senza interferenza di oggetti esterni ed ad una opportuna distanza hanno causato non poche difficoltà nella fase dell'organizzazione della campagna di rilievo.

Le fasi del rilievo sono identiche a quelle per le altre imbarcazioni

1. Acquisizione delle immagini della carena senza i markers
2. Disposizione dei markers sulla carena
3. Acquisizione delle immagini della carena con i markers ed elementi di dimensioni note
4. Misurazioni di massima
5. Elaborazione immagini con Photomodeler
6. Trasferimento della nuvola di punti al CAD e ricostruzione superfici

Si può notare che le immagini fotografiche sono state scattate da distanze piuttosto ravvicinate; questo perché nelle immediate vicinanze c'erano altre imbarcazioni sugli invasi. Inoltre l'invasatura della barca ha causato qualche difficoltà nel rilievo della zona del fondo della barca.

Tutte le difficoltà incontrate non sono state tali da impedire il rilievo o da causare delle zone di vuoto nella nuvola di punti ricostruita con il software di fotorestituzione. Questo perché le esperienze acquisite nell'organizzazione delle campagne di rilievo, e nell'elaborazione dei dati, è tale da permettere di superare le difficoltà incontrate nelle prime esperienze fatte, come ad esempio nel caso della Nada.



Figura 2.61

Dall'immagine precedente si possono osservare come la limitata accessibilità alla barca e come l'invasatura ostacolino il rilievo.

**Figura 2.62****Figura 2.63**

Le immagini mostrano la carena sulla quale sono stati fissati dei markers (marcatori) circolari.

Ad ognuno di questi markers adesivi verrà associato, dai software di elaborazione delle immagini fotografiche, un marker elettronico.

Tutti i markers contenuti nelle immagini permetteranno, quindi, di mettere in relazione tra loro tutte le varie immagini utilizzate per il rilievo.

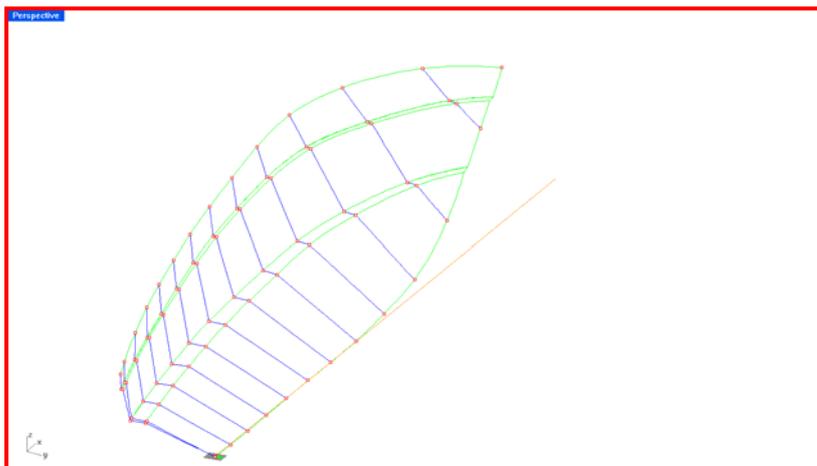
Questo costituisce un passaggio importante che ha luogo per mezzo del programma di fotorestituzione digitale Photomodeler. Essi sono una base fondamentale per la costruzione di una nuvola di punti. Inoltre Photomodeler permette di tracciare le curve fondamentali della cinta, degli spigoli e della chiglia. Queste curve saranno i bordi delle superfici ricostruite poi al CAD.

A differenza di quanto fatto per la Nada, dove per markers si sono utilizzate delle strisce adesive, in questo caso si sono adottati dei marcatori adesivi di forma circolare. Il software di fotorestituzione, Photomodeler, riconosce in maniera automatica questi markers permettendo di costruire in modo rapido una prima nuvola di punti.

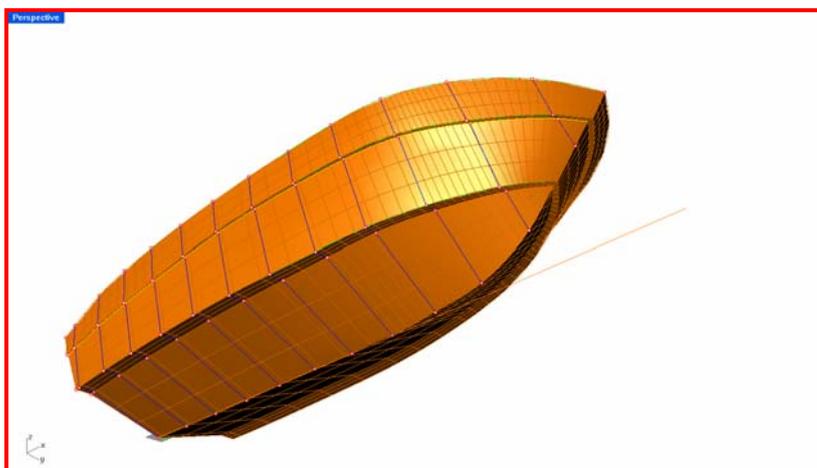
Le immagini fotografiche risulteranno quindi calibrate e cioè in relazione tra loro. Questo permette di utilizzare delle funzioni automatiche di Photomodeler piuttosto utili, come ad esempio l'*automarking* che consiste in una procedura mediante la quale il software di fotorestituzione digitale infittisce la nuvola di punti andando a disporre in maniera automatica dei nuovi markers.

Una volta calibrate le immagini è stato possibile disporre dei nuovi markers elettronici sulle curve di chiglia, degli spigoli e della cinta dell'imbarcazione avviando quindi, sempre all'interno del programma di fotorestituzione le curve che poi costituiranno i bordi delle superfici da ricostruire al CAD.

L'immagine seguente mostra le curve ricostruite all'interno del software di fotorestituzione ed elaborate successivamente con un programma CAD.

**Figura 2.64**

Di queste curve sono stati quindi controllati gli avviamenti. Questo controllo ha messo in evidenza la bontà della procedura, dal momento che le curve costruite in una prima fase hanno subito lievi interventi di fairing. Questi interventi, seppure di lieve entità, si sono resi necessari a causa del fenomeno di distorsione introdotto dall'obiettivo della macchina fotografica a causa della ridotta distanza dalla carena ed in alcuni casi dall'eccessiva angolazione della carena stessa rispetto alla fotocamera. Nell'immagine seguente sono visibili le superfici di carena ricostruite su tali curve.

**Figura 2.65**

L'utilizzo delle opzioni di riconoscimento automatico dei markers con Photomodeler insieme alla forma della carena, con sezioni piuttosto semplici e prive di concavità o convessità nelle zone del fianco e del fondo, hanno permesso per questa barca, un rilievo in tempi abbastanza ridotti.

Fasi del rilievo	Tempi
Posizionamento markers	1 ora
Acquisizione immagini	15 min
Misurazioni di massima	1 ora
Elaborazione con Photomodeler	3 ore
Ricostruzione superfici	3 ore
Totale 8 ore e 15 min	

Tabella 1: Tempi rilievo carena Fisherman

Dalla tabella si può osservare che i tempi delle misurazioni di massima sono lunghi se paragonati a quelli dell'elaborazione della nuvola di punti e delle ricostruzioni al CAD, dal momento che la chiglia dell'imbarcazione era parzialmente nascosta all'obiettivo della fotocamera dall'invasatura.

Questo ha richiesto una misurazione classica della chiglia rilevando l'altezza di quest'ultima rispetto al suolo in tre sezioni poste a distanza di 1m l'una dall'altra, misurando a partire dallo specchio di poppa. Questa misurazione

si è rivelata poi cautelativa, in quanto l'andamento della chiglia in quelle sezioni era rettilineo.

Le immagini di seguito mostrano poi come la carena sia stata utilizzata per elaborare nuovi layout della coperta per la versione con motorizzazione fuoribordo.

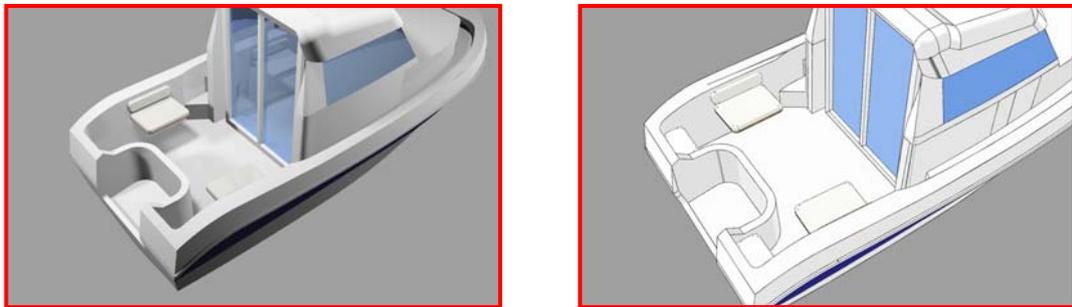


Figura 2.66

RILIEVO DELLO STAMPO DI UNA MONOCARENA DA 7,50m

Il lavoro illustrato in questa sezione riguarda il rilievo della carena di una imbarcazione da 7,50m operando all'interno dello stampo.

Questa campagna di rilievo è stata impostata diversamente dalle precedenti. Non sono stati posti markers adesivi, ma si è sfruttata la possibilità di Photomodeler di riconoscere dei markers tondi stampati su un foglio A4 insieme a dei "markers codificati" che il programma, attraverso un algoritmo per il riconoscimento di markers codificati, vede in automatico. Dal confronto di poche immagini contenenti i markers codificati, Photomodeler calibra le immagini stesse disponendole nello spazio, riconoscendo le mutue distanze tra i vari markers e la posizione della fotocamera, che ha scattato le varie foto dai diversi punti di ripresa, rispetto all'oggetto da rilevare.

Ai markers codificati vengono associati univocamente dei markers elettronici disposti nello spazio tridimensionale.

Questa procedura permette di utilizzare degli algoritmi del programma che garantiscono una notevole precisione del rilievo ed un notevole risparmio del tempo necessario per l'apposizione dei markers adesivi sulle superfici della carena.

Un altro vantaggio considerevole consiste nella possibilità di ricalcare sulle immagini calibrate le curve della cinta, della chiglia e degli spigoli, all'interno del programma Photomodeler, utilizzando gli appositi comandi per il disegno delle curve.

Utilizzando i comandi per il disegno delle curve all'interno di Photomodeler si perviene in maniera abbastanza rapida all'ottenimento di curve di qualità già molto buona per poter essere utilizzate come curve di bordo per il disegno delle superfici della carena

Un esempio di foglio contenente alcuni markers codificati, utile per la calibrazione della fotocamera digitale, è riportato nell'immagine seguente:

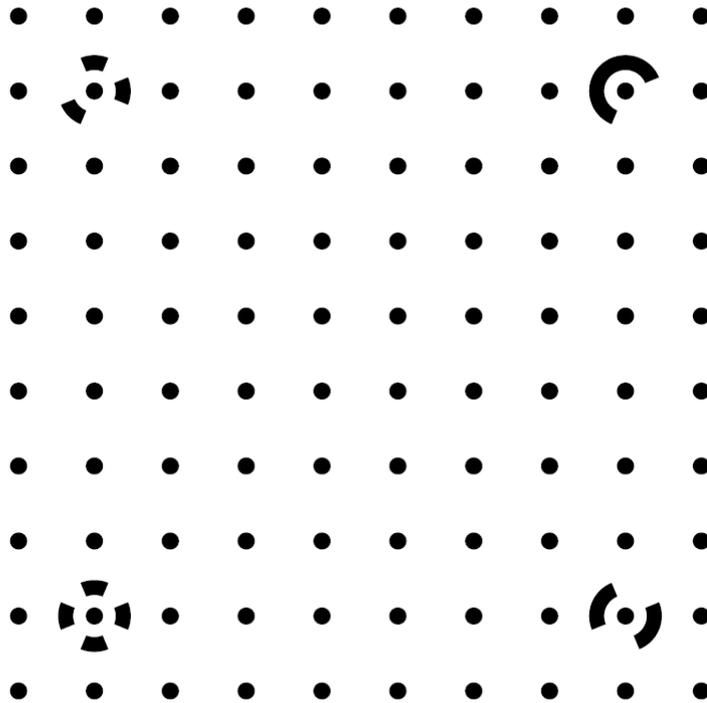


Figura 2.67

La campagna di rilievo si è svolta attraverso le seguenti fasi:

1. Disposizione dei fogli con i markers codificati sullo stampo della carena
2. Acquisizione delle immagini con i markers ed elementi di dimensioni note
3. Misurazioni di massima
4. Elaborazione delle immagini con Photomodeler
5. Trasferimento al CAD della nuvola di punti ricavata e delle curve costruite in prima approssimazione, e ricostruzione delle superfici.

1. Disposizione dei fogli con i markers codificati

Questa operazione si è svolta in maniera molto rapida proprio per il fatto che questa volta non è stato necessario porre dei marcatori adesivi in posizioni predeterminate ad una distanza nota l'uno dall'altro, ma il tutto si è svolto attaccando alla superficie interna dello stampo alcuni fogli in formato A4 contenenti i markers codificati ed una serie di markers circolari di dimensioni note e a distanze mutue note.



Figura 2.68



Figura 2.69

**Figura 2.70**

2. Acquisizione delle immagini con i markers ed elementi di dimensioni note

Nelle figure da 68 a 70 sono illustrate rispettivamente le zone di poppa, centro e prua della barca, ognuna contenente un foglio con i markers codificati. Questi ultimi, insieme ai markers elettronici aggiunti con Photomodeler, e per il fatto che le varie foto scattate dalle diverse angolazioni contengono delle parti di barca in comune, hanno permesso al Photomodeler di mettere in relazione tra loro le varie immagini, calibrandole.

Inoltre nelle immagini sono ben visibili le squadre che costituiscono gli elementi di dimensioni note che permetteranno poi di riportare il modello ricostruito alla vera grandezza.

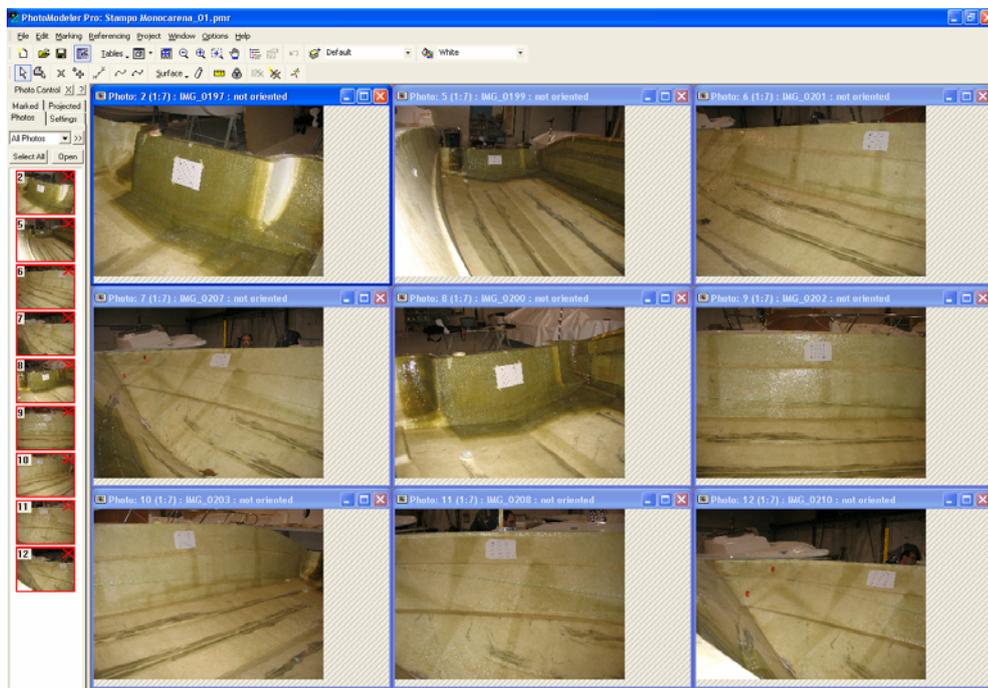
3. Misurazioni di massima

Le misure delle dimensioni principali della barca sono state rilevate con il metodo di rilievo tradizionale che prevede l'impiego di rulline metriche e fili a piombo permettendo così un migliore controllo delle dimensioni della barca nella fase in cui questa verrà scalata al CAD per essere riportata alle dimensioni originali.

4. Elaborazione delle immagini con Photomodeler

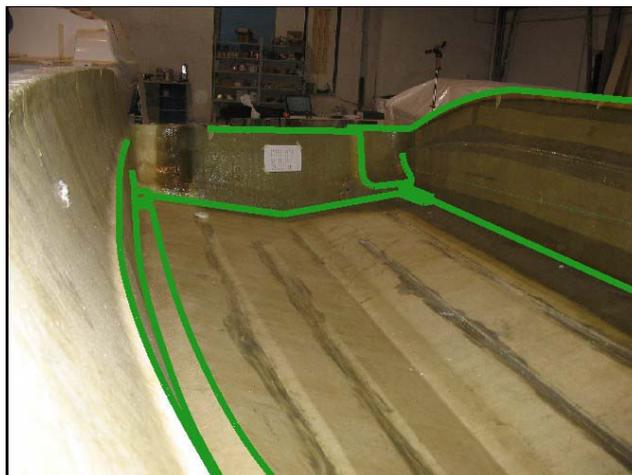
L'immagine seguente mostra alcune fasi della calibrazione delle immagini all'interno della finestra di lavoro di Photomodeler.

Qui sono visibili le immagini utilizzate in partenza e che hanno permesso la ricostruzione della carena

**Figura 2.71**

La fase immediatamente successiva alla calibrazione delle immagini è stata quella dell'inserimento di ulteriori markers elettronici alle estremità delle curve di chiglia, di cinta e degli spigoli.

Questi markers sono stati poi utilizzati come estremità delle curve di cinta, chiglia e spigoli e come punti di passaggio per queste stesse curve per mettere in relazione tra loro le curve parzialmente disegnate su ciascuna immagine all'interno dell'ambiente di lavoro di Photomodeler.

**Figura 2.72****Figura 2.73**

Le figure 2.72 e 2.73 mostrano le fasi della ricostruzione delle curve all'interno di Photomodeler. L'avviamento di tali curve è stato poi fatto successivamente al CAD.

5. Elaborazione nuvola di punti e curve al CAD

Questa fase finale comprende tutte quelle elaborazioni volte ad ottenere un risultato finale ottimizzato. Le immagini seguenti mostrano le curve importate ed avviate all'interno di un software CAD tridimensionale. Le curve hanno richiesto

solo pochi interventi di avviamento, mentre l'intervento sostanziale è stato fatto sull'ordine delle curve e contenere il numero di punti di controllo, per poi utilizzare queste stesse come base per ottenere delle superfici pulite e con pochi punti di controllo.

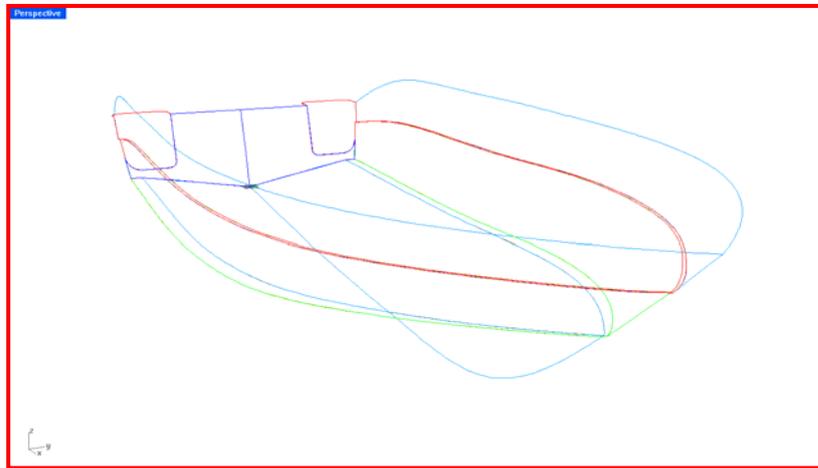


Figura 2.74

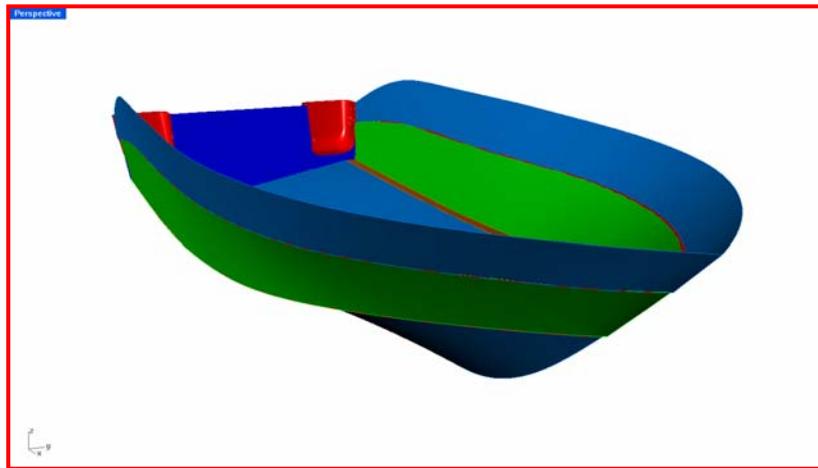


Figura 2.75

CONCLUSIONI

In questo lavoro si sono utilizzate alcune peculiarità del software di fotorestituzione per ricostruire le superfici di una carena con la fotogrammetria. In particolare si è usata la possibilità di disegnare le curve direttamente sulle immagini fotografiche unitamente alla funzione di riconoscimento automatico di target codificati.

Tutto questo ha portato ad una notevole riduzione dei tempi per la preparazione del modello da rilevare, ed una forte riduzione dei tempi per l'elaborazione dei dati in uscita dal software di fotorestituzione digitale.

Fasi del rilievo	Tempi
Posizionamento markers	10 min
Acquisizione immagini	15 min
Misurazioni di massima	1 ora
Elaborazione con Photomodeler	2 ore
Ricostruzione superfici	2 ore
Totale 5 ore e 25 min	

Tabella 2: Tempi rilievo stampo di monocarena da 7,50m

*Capitolo III***Controlli di qualità con l'uso della fotogrammetria****3.1 Introduzione**

In questo capitolo si valuterà l'affidabilità della fotogrammetria allo scopo di valutare la qualità nella costruzione di carene navali.

La fotogrammetria è già largamente utilizzata nelle verifiche di qualità della costruzione di alcuni manufatti nel settore industriale ed in particolare nella valutazione delle deformazioni delle lamiere dopo la giunzione per mezzo della saldatura.

**Figura 3.1**

**Figura 3.2**

Nelle immagini sono mostrate delle operazioni di saldatura di rinforzi strutturali su alcune lamiere sulle quali sono stati inizialmente posti dei target codificati che costituiscono i marcatori ai quali verrà associato, all'interno della finestra di lavoro del software di fotorestituzione digitale, un marcatore elettronico.

Una volta applicati i markers sulle lamiere, verranno acquisite le immagini con una fotocamera digitale.

Queste immagini saranno poi elaborate con il software di fotorestituzione digitale allo scopo di valutare la posizione iniziale dei target prima del procedimento di saldatura.

**Figura 3**

Alla fine del procedimento di saldatura verranno acquisite ulteriori immagini delle lamiere con le strutture saldate, e queste nuove immagini verranno messe in relazione con le immagini fotografiche scattate prima delle operazioni di saldatura allo scopo di verificare gli spostamenti dei markers e quindi le effettive deformazioni delle lamiere dopo la saldatura delle strutture.

In particolare questa procedura può essere utile per valutare l'entità della deformazione introdotta utilizzando due tipi di saldatura differenti, di cui uno prevede l'esecuzione a mano ed l'altro la saldatura in automatico.

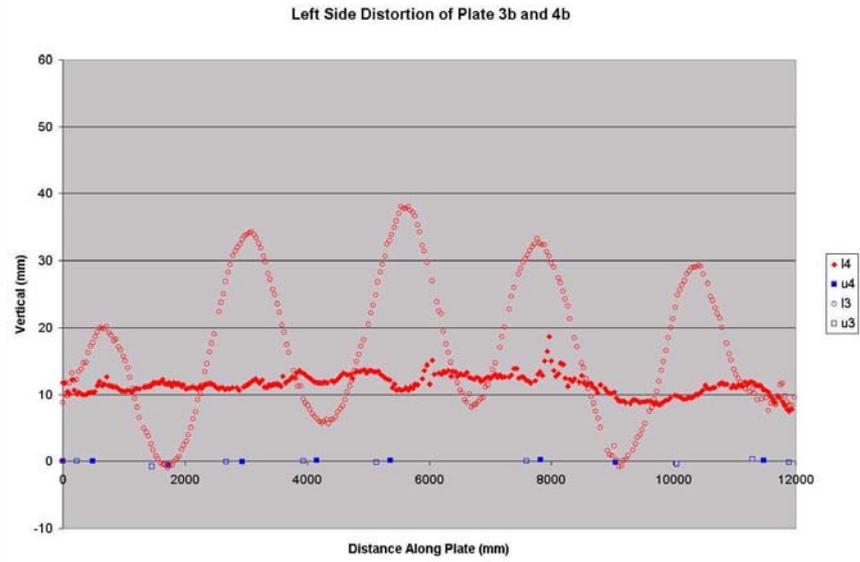


Figura 3.4

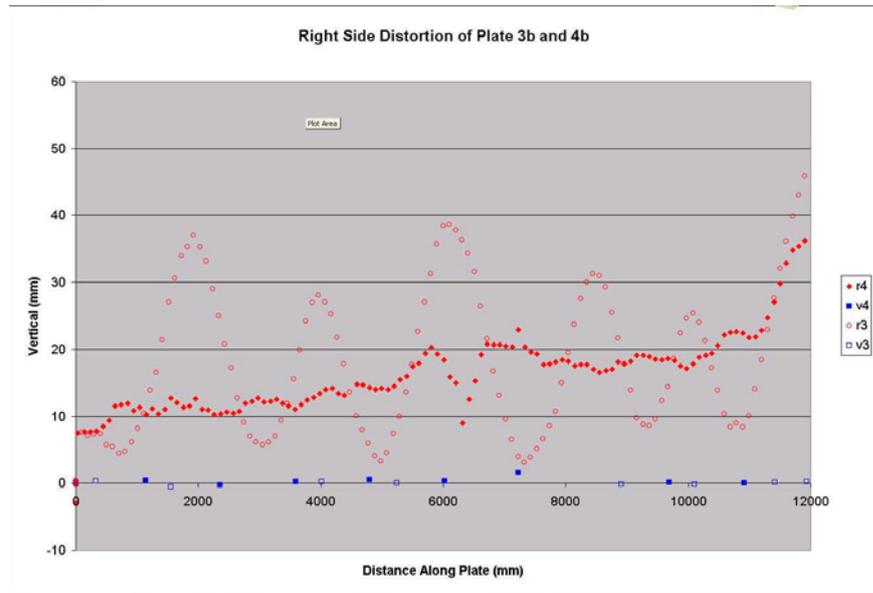


Figura 3.5

Nelle immagini 3.4 e 3.5 sono riportati i grafici relativi alla valutazione della deformazione delle lamiere utilizzando due metodi di saldatura differenti.

In particolare i cerchi rossi e vuoti si riferiscono al procedimento di saldatura a mano, mentre i cerchi rossi pieni si riferiscono ad un procedimento di saldatura in automatico, possibile su pannelli piani come quelli delle immagini precedenti.

Un ulteriore esempio di controllo di qualità con la fotogrammetria è il successivo lavoro che mostra la verifica delle dimensioni di un manufatto in acciaio, nella fase di costruzione, relazionando, attraverso le immagini fotografiche ed il software di fotorestituzione, il disegno al CAD con l'oggetto in fase di costruzione.

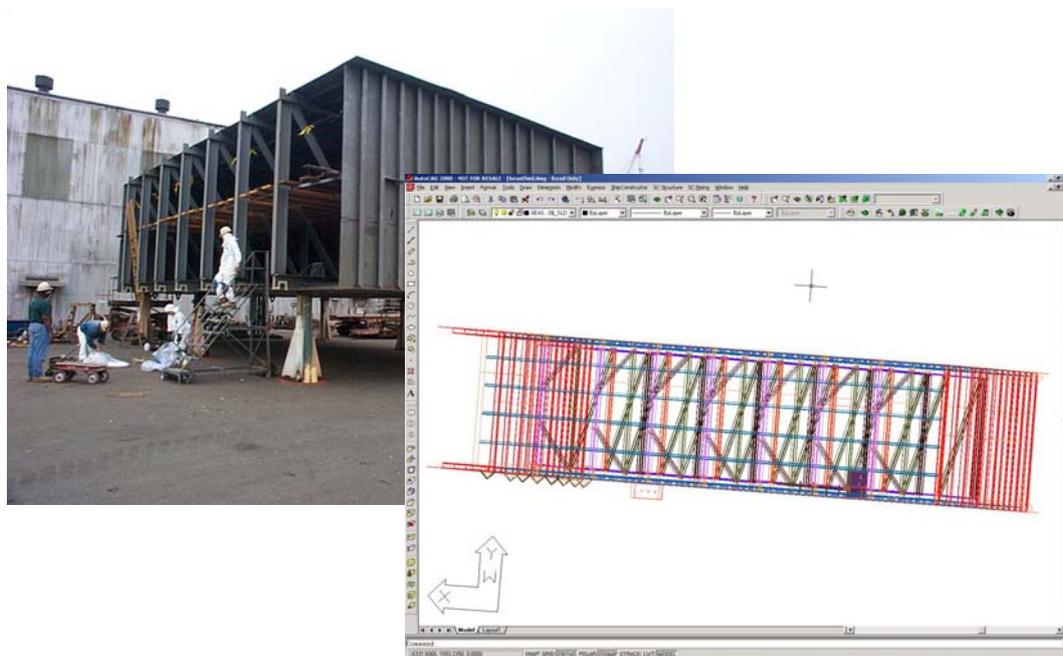


Figura 3.6

Nell'immagine successiva è mostrata la struttura in acciaio nella fase di costruzione.



Figura 3.7

Anche in questo caso la fase di rilievo passa attraverso la disposizione dei markers codificati sull'oggetto da rilevare, in questo caso la struttura in acciaio.

In seguito poi l'oggetto è stato fotografato da diversi punti di vista per ottenere una visione completa del manufatto.

Nella fase successiva le immagini vengono messe in relazione tra loro allo scopo di ricostruire l'oggetto in costruzione per poterlo poi confrontare con quello che era stato inizialmente disegnato al CAD, da cui sono stati ricavati i disegni esecutivi per la costruzione in cantiere

Nella figura 3.8 è riportato il disegno al CAD della struttura. All'interno del disegno sono visibili degli elementi di forma piramidale che rappresentano i punti da cui sono state acquisite le immagini fotografiche.

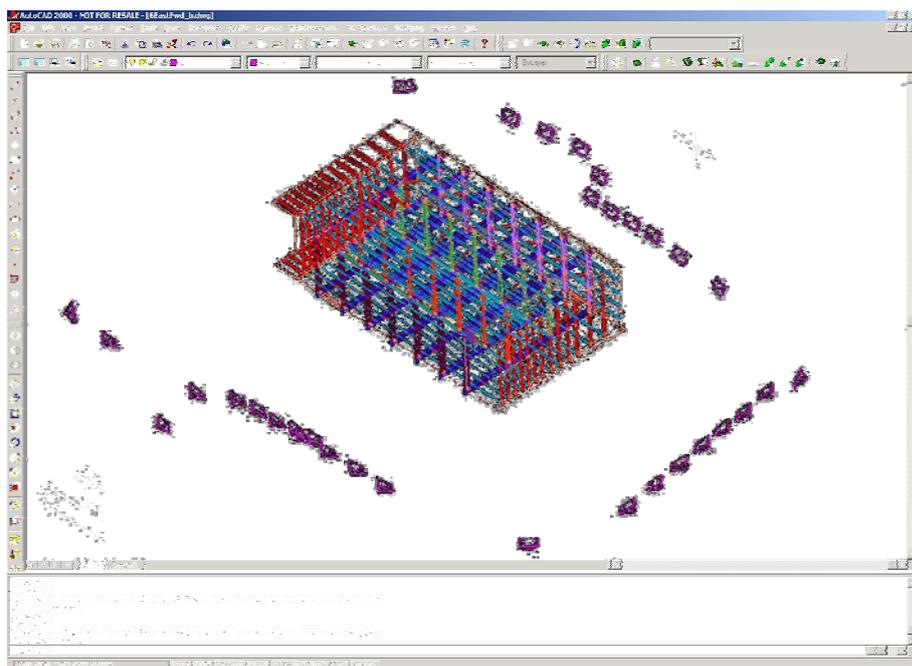


Figura 3.8

I punti di ripresa sono riconosciuti dal programma di fotorestituzione a valle di un processo di calibrazione delle immagini fotografiche, cioè a valle di un processo in cui le immagini fotografiche di un oggetto vengono relazionate tra di loro attraverso i punti comuni a due immagini contigue.

Di questo tipo di procedimento si è già ampiamente parlato nei rilievi illustrati in precedenza.

Il passo successivo per il controllo di qualità in fase di costruzione è quindi il confronto tra il disegno al CAD del progetto (Fig. 3.9)

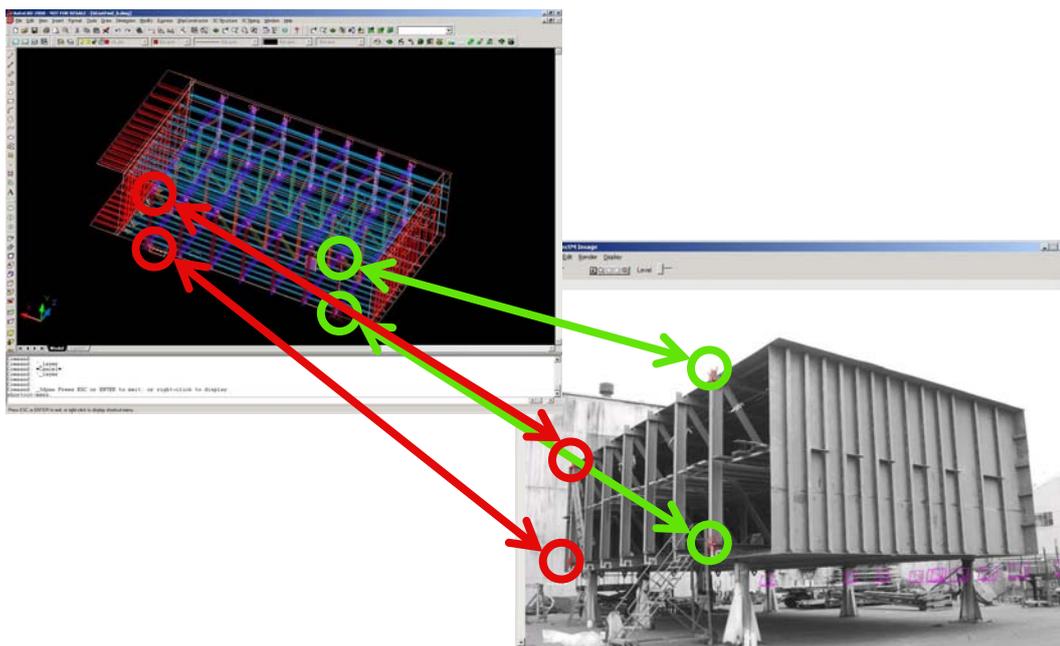


Figura 3.9

Questo confronto viene fatto valutando la posizione nello spazio dei markers ne programma di fotogrammetria e gli omologhi punti nel disegno al CAD e quindi tabellando sia le posizioni che gli scostamenti.

In questo caso la fotogrammetria si è rivelata uno strumento utile per il controllo di qualità in fase di costruzione fornendo elementi utili alla valutazione delle tolleranze nella realizzazione di un progetto.

Gli esempi appena riportati riguardano comunque delle valutazioni fatte su oggetti formati da varie parti e che costituiscono quindi un insieme complesso fatto di oggetti dalle forme semplici come possono essere le forme delle lamiere e degli elementi di rinforzo.

In un lavoro di questo tipo la difficoltà consiste sostanzialmente nell'elaborazione delle forme di oggetti complessi, mentre gli errori intrinseci sono legati al fenomeno di distorsione dell'obiettivo della fotocamera che si trova ad una distanza considerevole dall'oggetto per poterlo riprendere meglio nella sua interezza.

Tali errori possono essere naturalmente superati ricorrendo all'utilizzo di fotocamere professionali ad alta risoluzione (oltre gli 8 Megapixel), ed ad un'attenta procedura della fase di calibrazione della macchina fotografica stessa, per il riconoscimento della focale) con un programma di fotorestituzione come Photomodeler o altri programmi equivalenti.

3.2 Controlli di qualità su un modello di carena

In questa sezione viene illustrato il rilievo della carena centrale di un trimarano costruito all'interno del Dipartimento di Ingegneria Navale dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II".

Lo scopo di questo rilievo è verificare la possibilità di effettuare dei controlli di qualità per mezzo della fotogrammetria e con l'ausilio degli strumenti di cui si è fin qui trattato.

Inoltre in questo caso si tratta di rilevare delle superfici con delle curvature piuttosto variabili, e questo può costituire un terreno utile per l'esplorazione della possibilità di fare dei controlli con la fotogrammetria e quindi con un programma come Photomodeler.

Questo lavoro si differenzia dagli altri rilievi perché già si dispone del disegno 3D al CAD della carena del modello da rilevare, per cui dal modello al vero verrà ricostruito un modello CAD, procedendo quindi all'inverso, e verranno fatte delle misurazioni confrontando il modello ricostruito al CAD con il disegno 3D di partenza.

Per questo rilievo si sono rispettate le seguenti fasi:

1. Acquisizione delle immagini senza markers, e con elementi di dimensioni note
2. Misurazioni di massima
3. Elaborazione delle immagini con Photomodeler

4. Trasferimento al CAD della nuvola di punti ricavata, e ricostruzione delle superfici.
5. Confronto tra le misurazioni fatte con Photomodeler e sul disegno CAD originale

1. Acquisizione delle immagini senza markers

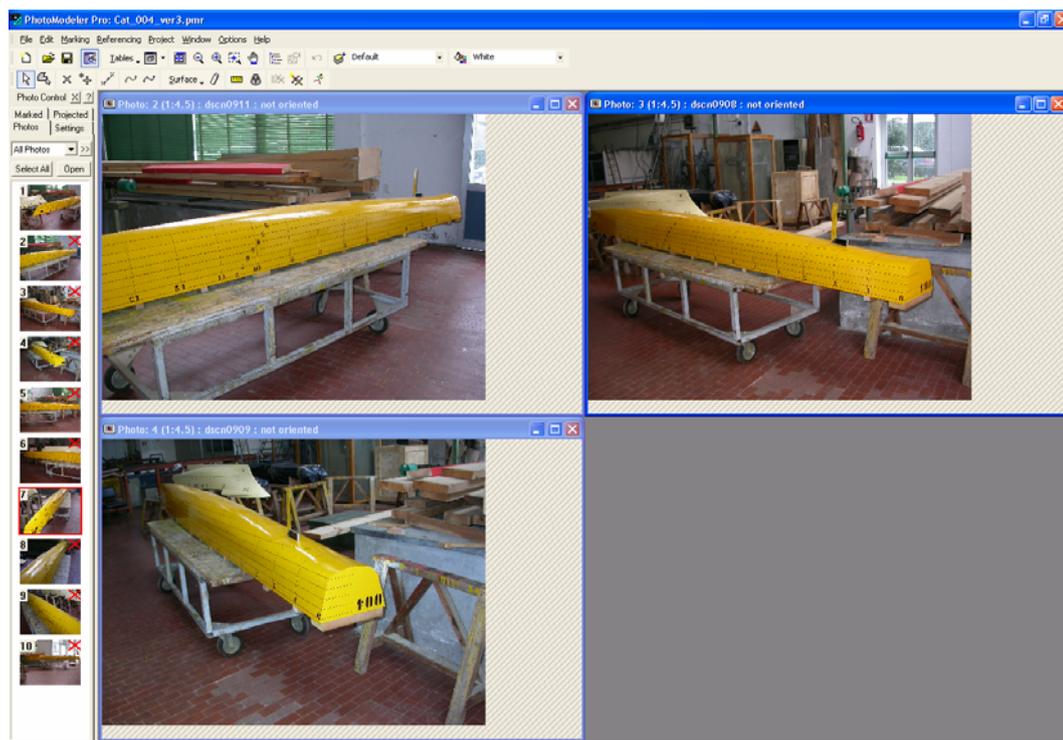


Figura 3.10

Nella figura 3.10 sono visibili alcune immagini della carena, all'interno dell'area di lavoro di Photomodeler.

Sulla chiglia del modello si può notare la disposizione di una squadretta che è un elemento noto utile poi per riportare alle dimensioni originali il modello ricostruito con Photomodeler prima e con il CAD poi.

2. Misurazioni di massima

In questa fase vengono rilevate con rulline metriche e filo a piombo le dimensioni principali del modello che saranno poi utili, unitamente all'esame degli elementi di dimensioni note all'interno delle immagini, a riportare alle dimensioni originali il modello ricostruito per poi eseguire i controlli di qualità.

3. Elaborazione delle immagini con Photomodeler.

In questo lavoro non sono stati utilizzati markers adesivi, ma si sono sfruttati gli incroci delle linee d'acqua con le ordinate tracciate sulla superficie del modello in legno durante la sua costruzione in officina.

Queste tracciature sono infatti molto ben visibili nelle immagini fotografiche unitamente alla linea di chiglia che, anche se priva di tracciatura, risulta anch'essa ben visibile.

Nella figura 3.11 si possono notare i markers elettronici posti sugli incroci tra le ordinate e linee d'acqua, e come questi vengano messi in relazione tra loro

nelle due immagini all'interno della finestra di Photomodeler con il comando **Referencing Mode** dal menu **Reference**.

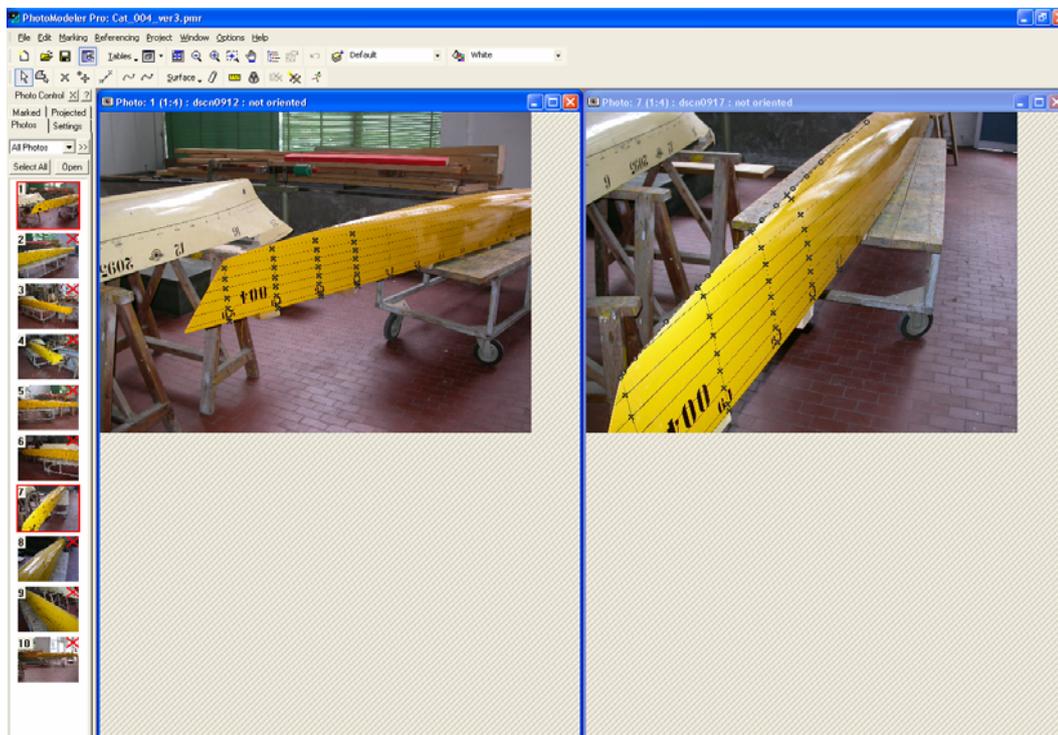


Figura 3.11

Una volta terminata l'operazione di Referencing, attraverso il comando **Process** è stata eseguita la calibrazione delle immagini, avente come conseguenza la creazione della nuvola di punti nello spazio.

La nuvola di punti è stata poi incrementata utilizzando le funzioni di automarking del programma ed inoltre sono state disegnate direttamente sulle immagini le curve di chiglia e di cinta.

4. Trasferimento al CAD della nuvola di punti.

L'immagine seguente mostra la nuvola di punti così come è stata ricostruita con Photomodeler.

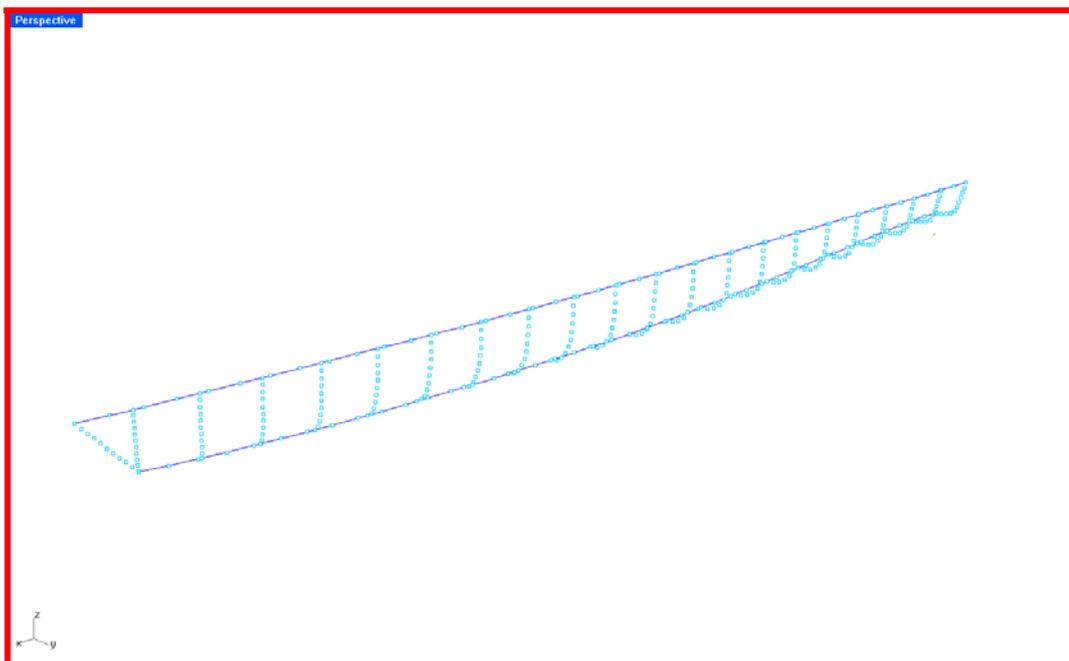


Figura 3.12

I punti sulle 21 sezioni trasversali sono in parte quelli ricavati ponendo dei markers elettronici sugli incroci tra ordiate e linee d'acqua come mostrato in precedenza, ed in parte sono ottenuti da incrementi fatti con i comandi di *Automatic Target Marking* di Photomodeler.

La finalità dell'incremento di tali punti è quella di poter tracciare, attraverso questi punti, curve quanto più avviate possibili per poi poter ricostruire la superficie della carena.

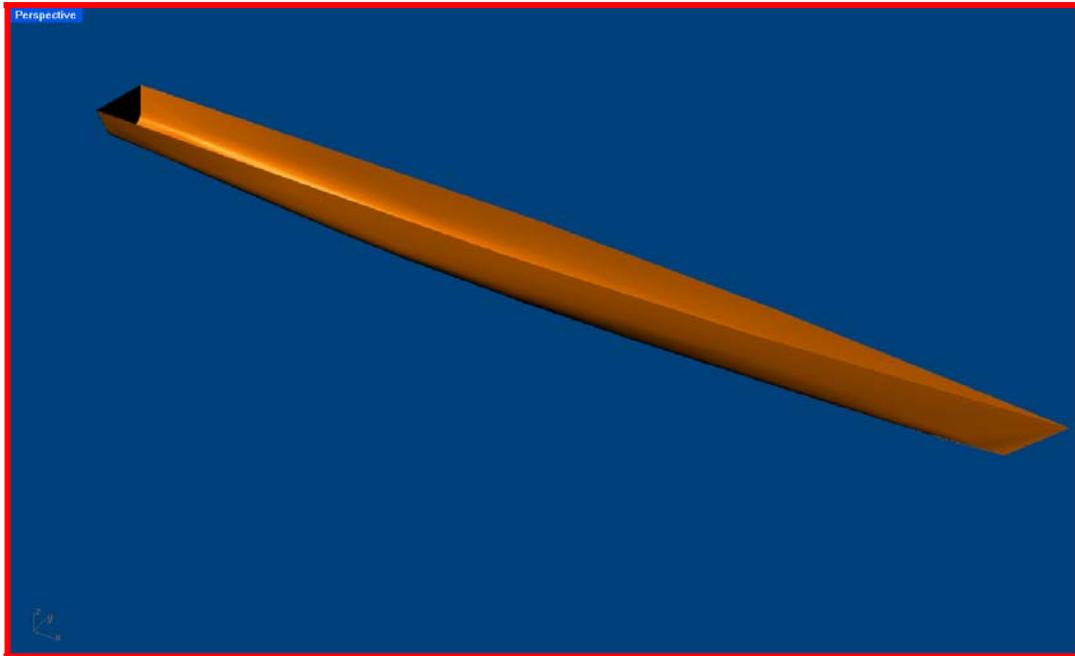


Figura 3.13

In figura 3.13 è rappresentata la superficie della carena ricostruita e renderizzata.

Si è pervenuti quindi alla ricostruzione delle superfici della carena centrale del trimarano utilizzando in parte alcune delle funzioni automatiche del programma di fotorestituzione.

5. Confronto tra le misurazioni fatte con Photomodeler e sul disegno CAD originale

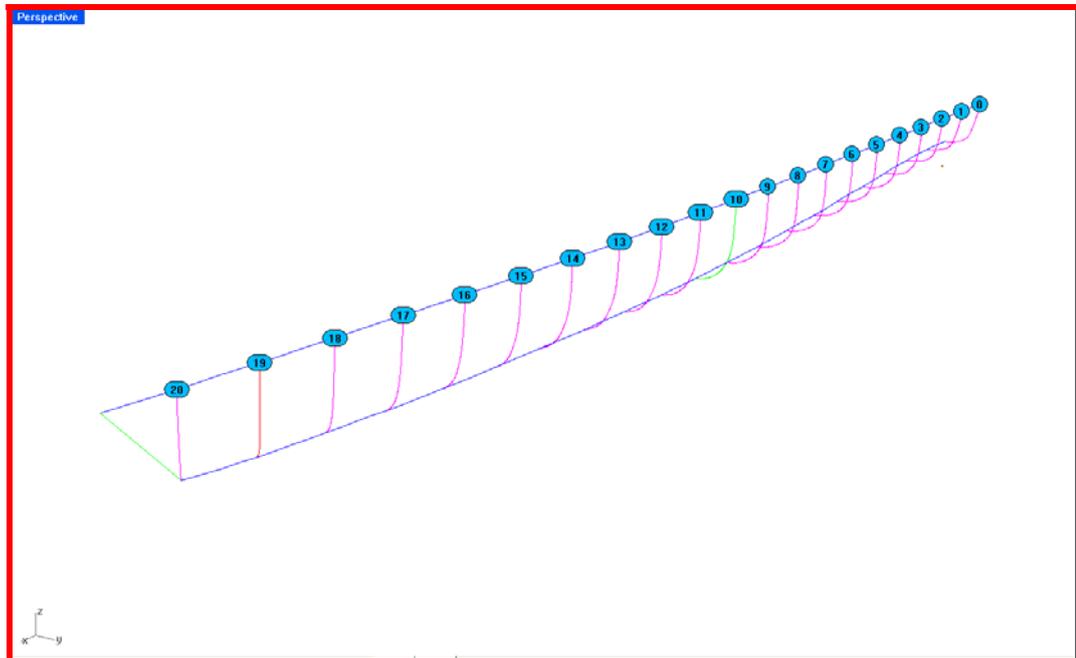
Si ricorda che lo scopo di questo lavoro è di effettuare un controllo di qualità rilevando una carena per mezzo della fotogrammetria, ricostruendola al CAD e confrontandola con il modello al CAD con cui è stato costruito il modello utilizzato per le prove in vasca.

Interpolando i punti rilevati sul modello si sono tracciate le 21 curve che sulla carena presa in esame sono numerate da 0 a 20 a partire dallo specchio di poppa.

Ognuna delle curve è stata quindi confrontata con la corrispondente del disegno CAD da cui è stato costruito il modello.

Nell'immagine seguente sono rappresentate le curve in corrispondenza delle sezioni trasversali dallo specchio di poppa a prua.

Il procedimento per il controllo di qualità del modello realizzato si basa sul confronto tra le due famiglie di curve valutando gli scostamenti tra le curve a determinate quote dalla linea di costruzione e diagrammando gli scarti tra le curve.

**Figura 3.14**

La carena è stata quindi tagliata da una famiglia di piani orizzontali distanti tra loro 30mm. L'intersezione di tale famiglia di piani con le sezioni trasversali ha generato su ogni sezione una serie di punti che sono stati quindi gabellati secondo la tabella seguente.

In questa tabella inoltre sono presenti gli scarti tra le posizioni dei punti sulle curve generatrici del modello e quelle ricostruite.

SEZ DI PARTENZA			SEZ RILEVATE			SCARTI	MEDIE
x	y	z	x	y	z		
SEZIONE 0	96.5567	150	SEZIONE 0	94.5530	150	2.0037	
	119.9344	180		118.9350	180	0.9994	
	130.6084	210		131.6200	210	-1.0116	
	138.3636	240		138.3620	240	0.0016	
	145.9249	270		145.3400	270	0.5849	
	153.4571	300		153.8000	300	-0.3429	0.3725
SEZIONE 1	105.9725	150	SEZIONE 1	106.3400	150	-0.3675	
	127.3744	180		126.2500	180	1.1244	
	137.5181	210		137.9000	210	-0.3819	
	145.2296	240		144.2230	240	1.0066	
	151.3194	270		151.8000	270	-0.4806	
	156.7021	300		157.4000	300	-0.6979	
161.6080	330	163.6230	330	-2.0150	-0.2588		
SEZIONE 2	59.6139	120	SEZIONE 2	61.6200	120	-2.0061	
	121.6242	150		123.6180	150	-1.9938	
	137.7966	180		136.7760	180	1.0206	
	146.0757	210		148.0748	210	-1.9991	
	151.0226	240		150.2000	240	0.8226	
	154.9239	270		156.2250	270	-1.3011	
158.6830	300	159.8700	300	-1.1870			
162.0472	330	162.5000	330	-0.4528	-0.8871		
SEZIONE 3	106.4872	120	SEZIONE 3	107.8700	120	-1.3828	
	133.6426	150		131.5400	150	2.1026	
	146.4453	180		143.2132	180	3.2321	
	152.1454	210		151.1600	210	0.9854	
	155.1833	240		155.1821	240	0.0012	
	157.5710	270		158.5700	270	-0.9990	
160.0478	300	161.0462	300	-0.9984			
162.2077	330	163.5120	330	-1.3043	0.2046		
SEZIONE 4	76.7176	90	SEZIONE 4	79.7200	90	-3.0024	
	122.7941	120		124.3000	120	-1.5059	
	142.7992	150		140.7920	150	2.0072	
	151.8971	180		150.8950	180	1.0021	
	156.0963	210		158.1230	210	-2.0267	
	158.2221	240		159.2100	240	-0.9879	
159.6742	270	159.2000	270	0.4742			
161.0697	300	162.3560	300	-1.2863			
162.2916	330	163.4100	330	-1.1184	-0.7160		
SEZI ONE 5	103.6508	90	SEZI ONE 5	105.8800	90	-2.2292	
	135.1003	120		133.4210	120	1.6793	
	148.7948	150		149.8120	150	-1.0172	
	155.4099	180		154.1000	180	1.3099	

	158.7576	210		159.7480	210	-0.9904	
	160.3579	240		161.3562	240	-0.9983	
	161.1977	270		161.8900	270	-0.6923	
	161.8250	300		161.8232	300	0.0018	
	162.4607	330		163.5500	330	-1.0893	-0.4473
SEZIONE 6	72.7788	60	SEZIONE 6	74.5000	60	-1.7212	
	122.3366	90		124.8000	90	-2.4634	
	143.9822	120		145.1000	120	-1.1178	
	153.5396	150		152.3000	150	1.2396	
	158.1620	180		158.6000	180	-0.4380	
	160.5110	210		161.4000	210	-0.8890	
	161.5643	240		162.1000	240	-0.5357	
	162.0336	270		162.5000	270	-0.4664	
	162.3544	300		163.0000	300	-0.6456	
162.7675	330	163.2000	330	-0.4325	-0.7470		
SEZIONE 7	98.9646	60	SEZIONE 7	99.1000	60	-0.1354	
	133.4723	90		135.6000	90	-2.1277	
	149.6745	120		151.4650	120	-1.7905	
	156.5549	150		155.3400	150	1.2149	
	159.6984	180		161.4000	180	-1.7016	
	161.2046	210		160.2000	210	1.0046	
	161.8430	240		162.1000	240	-0.2570	
	162.2086	270		162.7800	270	-0.5714	
	162.5679	300		163.4000	300	-0.8321	
162.9711	330	163.2000	330	-0.2289	-0.5425		
SEZIONE 8	59.0172	30	SEZIONE 8	61.3000	30	-2.2828	
	111.2565	60		110.2510	60	1.0055	
	137.5192	90		138.1320	90	-0.6128	
	151.1291	120		152.2470	120	-1.1179	
	156.8370	150		155.8210	150	1.0160	
	159.4484	180		158.2000	180	1.2484	
	160.6703	210		159.2150	210	1.4553	
	161.2401	240		160.2200	240	1.0201	
	161.7083	270		161.3000	270	0.4083	
162.2180	300	162.2120	300	0.0060			
162.6793	330	162.6766	330	0.0027	0.1954		
SEZIONE 9	75.8784	30	SEZIONE 9	73.4910	30	2.3874	
	114.0973	60		112.1200	60	1.9773	
	135.4897	90		138.4760	90	-2.9863	
	147.9759	120		148.1100	120	-0.1341	
	154.0840	150		154.7200	150	-0.6360	
	157.1634	180		156.2340	180	0.9294	
	158.7427	210		158.7410	210	0.0017	
	159.6107	240		159.6100	240	0.0007	
	160.2856	270		160.2830	270	0.0026	
160.9354	300	160.9366	300	-0.0012			

	161.4568	330		161.6570	330	-0.2002	0.1219
SEZIONE 10	78.4300	30	SEZIONE 10	77.4320	30	0.9980	
	110.8553	60		112.9700	60	-2.1147	
	129.6366	90		127.6343	90	2.0023	
	141.8737	120		140.8721	120	1.0016	
	148.8958	150		151.8923	150	-2.9965	
	152.8496	180		150.8476	180	2.0020	
	155.1382	210		155.1390	210	-0.0008	
	156.5589	240		156.5450	240	0.0139	
	157.5557	270		156.5620	270	0.9937	
	158.3426	300		158.3410	300	0.0016	
	158.8955	330		158.3200	330	0.5755	0.2251
SEZIONE 11	74.9032	30	SEZIONE 11	76.7010	30	-1.7978	
	104.4325	60		103.4200	60	1.0125	
	121.5655	90		120.5100	90	1.0555	
	133.9599	120		135.9700	120	-2.0101	
	141.8242	150		139.8100	150	2.0142	
	146.5624	180		146.5620	180	0.0004	
	149.6125	210		149.6150	210	-0.0025	
	151.6944	240		151.7200	240	-0.0256	
	153.0883	270		153.0820	270	0.0063	
	154.0137	300		154.0300	300	-0.0163	
	154.5392	330		154.5450	330	-0.0058	0.0210
SEZIONE 12	68.2748	30	SEZIONE 12	71.2756	30	-3.0008	
	96.1769	60		93.1830	60	2.9939	
	112.0816	90		113.0825	90	-1.0009	
	124.6234	120		122.6234	120	2.0000	
	133.2533	150		133.2510	150	0.0023	
	138.4602	180		137.4400	180	1.0202	
	142.0313	210		142.0230	210	0.0083	
	144.6416	240		142.3150	240	2.3266	
	146.3789	270		146.3600	270	0.0189	
	147.4443	300		147.4230	300	0.0213	
	147.9467	330		147.9520	330	-0.0053	0.3986
SEZIONE 13	56.0131	30	SEZIONE 13	58.0330	30	-2.0199	
	84.6243	60		83.6420	60	0.9823	
	100.9367	90		102.9375	90	-2.0008	
	113.6239	120		113.6231	120	0.0008	
	122.8385	150		124.8300	150	-1.9915	
	128.4416	180		126.4420	180	1.9996	
	132.2013	210		132.4500	210	-0.2487	
	134.9928	240		135.4934	240	-0.5006	
	136.9037	270		137.1910	270	-0.2873	
	138.1324	300		138.1334	300	-0.0010	
	138.8029	330		138.8400	330	-0.0371	-0.3731
100	42.6729	30	100	44.6738	30	-2.0009	

	71.7825	60		72.5120	60	-0.7295	
	87.8379	90		88.4210	90	-0.5831	
	100.3918	120		101.3960	120	-1.0042	
	109.5643	150		107.5670	150	1.9973	
	115.5553	180		115.6200	180	-0.0647	
	119.5157	210		119.5520	210	-0.0363	
	122.4130	240		122.4100	240	0.0030	
	124.5160	270		124.5280	270	-0.0120	
	126.0252	300		126.5500	300	-0.5248	
	127.0807	330		127.0950	330	-0.0143	-0.2700
SEZIONE 15	28.8462	30	SEZIONE 15	25.8520	30	2.9942	
	58.4862	60		57.4820	60	1.0042	
	73.7930	90		73.7980	90	-0.0050	
	85.0727	120		85.6700	120	-0.5973	
	93.6296	150		94.6720	150	-1.0424	
	99.5764	180		99.5890	180	-0.0126	
	103.8347	210		103.8400	210	-0.0053	
	106.9639	240		106.9642	240	-0.0003	
	109.4100	270		108.2410	270	1.1690	
	111.3707	300		110.3550	300	1.0157	
112.9850	330	111.9840	330	1.0010	0.5019		
SEZIONE 16	14.3191	30	SEZIONE 16	16.3160	30	-1.9969	
	44.0961	60		43.0300	60	1.0661	
	58.9585	90		56.9480	90	2.0105	
	68.4628	120		68.6800	120	-0.2172	
	76.0156	150		75.0134	150	1.0022	
	81.4484	180		79.4210	180	2.0274	
	85.6542	210		85.6510	210	0.0032	
	89.0718	240		89.5500	240	-0.4782	
	91.9692	270		92.9645	270	-0.9953	
	94.5451	300		94.1000	300	0.4451	
96.8528	330	96.8511	330	0.0017	0.2608		
SEZIONE 17	28.2828	60	SEZIONE 17	26.3210	60	1.9618	
	42.8786	90		41.8793	90	0.9993	
	51.1782	120		53.1743	120	-1.9961	
	57.4314	150		55.4210	150	2.0104	
	62.3862	180		62.9800	180	-0.5938	
	66.1068	210		66.1072	210	-0.0004	
	69.5182	240		69.5230	240	-0.0048	
	72.7654	270		71.7644	270	1.0010	
	75.9933	300		76.3300	300	-0.3367	
79.0826	330	79.0810	330	0.0016	0.3042		
SEZION E 18	13.6852	60	SEZION E 18	11.6920	60	1.9932	
	27.0213	90		27.9900	90	-0.9687	
	33.7464	120		34.7330	120	-0.9866	
	38.6255	150		36.6254	150	2.0001	
	42.7512	180		42.3760	180	0.3752	

	46.2288	210		46.2100	210	0.0188	
	49.2905	240		51.2870	240	-1.9965	
	52.6239	270		52.6120	270	0.0119	
	56.2379	300		56.2323	300	0.0056	
	59.9957	330		59.9820	330	0.0137	0.0467
SEZIONE 19	11.9197	90	SEZIONE 19	10.1770	90	1.7427	
	17.6861	120		16.3410	120	1.3451	
	20.8419	150		18.9150	150	1.9269	
	23.6355	180		23.1200	180	0.5155	
	26.2336	210		25.2312	210	1.0024	
	29.0321	240		29.4600	240	-0.4279	
	32.2589	270		31.2510	270	1.0079	
	35.8777	300		35.9200	300	-0.0423	
39.7818	330	41.7823	330	-2.0005	0.5633		
SEZIONE 20	1.2346	120	SEZIONE 20	1.6800	120	-0.4454	
	3.0124	150		2.2550	150	0.7574	
	5.0059	180		5.6200	180	-0.6141	
	7.2315	210		8.1020	210	-0.8705	
	9.6643	240		9.3190	240	0.3453	
	12.2766	270		11.7830	270	0.4936	
	15.1081	300		14.6500	300	0.4581	
	18.4641	330		18.4655	330	-0.0014	0.0154

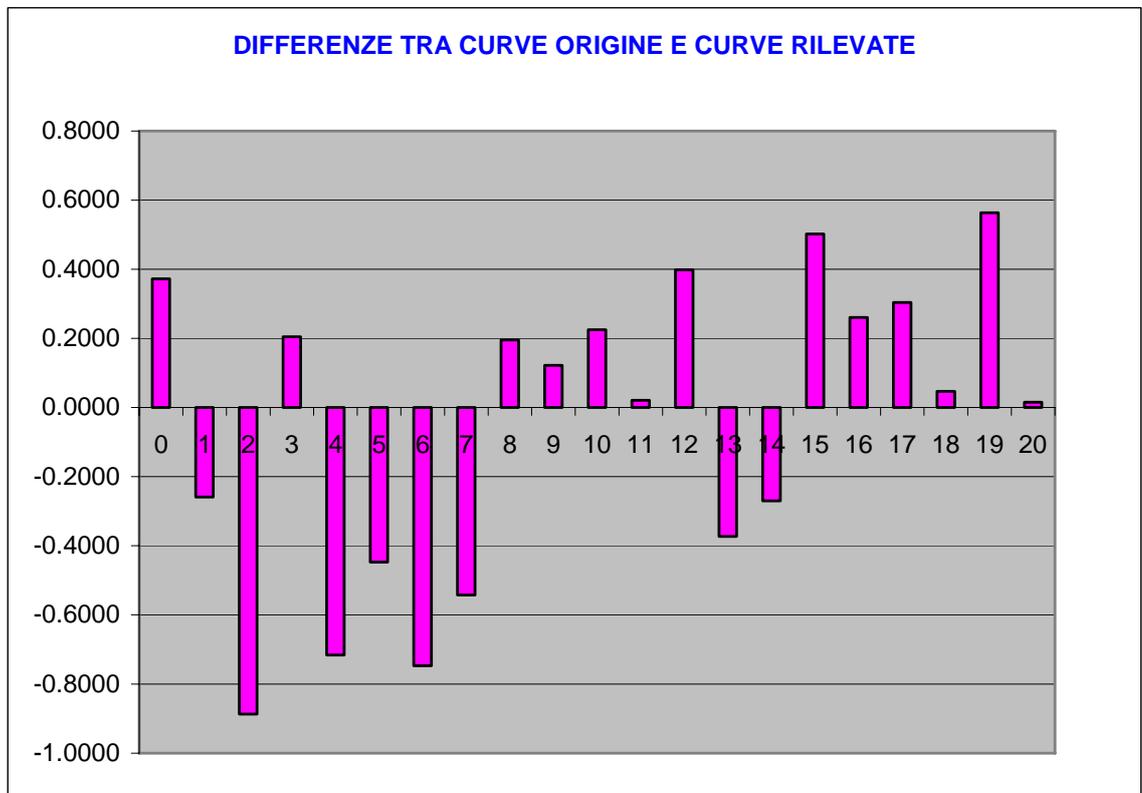


Figura 3.15

Il grafico mostra le differenze tra le curve originali del disegno CAD da cui è stato costruito il modello e le curve ricostruite con il rilievo fotogrammetrico.

Si può osservare che gli scarti esistenti sono dell'ordine del millimetro, e si presentano con maggiore ripetibilità nelle zone della superficie in cui risulta essere più basso il valore locale del raggio di curvatura, e cioè nei pressi del ginocchio della carena. Questo scostamento può essere dovuto anche ad un fenomeno di distorsione dell'immagine fotografica, ma rappresenta comunque un errore trascurabile se riferito alle dimensioni del modello di carena rilevato.

Questo dimostra che il rilievo fotogrammetrico è uno strumento di precisione che si propone come alternativa vantaggiosa anche in termini economici ad un rilievo con scanner laser 3D.

CONCLUSIONI

Lo scopo di questa tesi è stato investigare sulle nuove tecnologie nel settore del rilievo con tecniche di reverse engineering. Si sono valutate le ampie possibilità offerte dal metodo che prevede l'uso dello scanner laser 3D, ma si è inteso soprattutto esplorare le possibilità offerte dalla fotogrammetria.

Quest'ultima si è rivelata uno strumento flessibile e dinamico tanto da costituire, sulla base dell'esperienza fatta, una valida alternativa all'utilizzo degli scanner laser. A suo vantaggio c'è soprattutto l'economicità oltre al fatto che oggi le case produttrici di software di fotorestituzione come Photomodeler, o vari software alternativi (Australis o RealViz), propongono strumenti corredati di una serie di algoritmi che ben si adattano al rilievo di oggetti dalle forme più varie. Inoltre anche l'attrezzatura necessaria è molto ridotta in termini di volumi e di pesi, e questo è un fattore non trascurabile per il fatto che l'hardware si compone di una macchina fotografica digitale, di un computer portatile, con i programmi a corredo, e di una rullina metrica per le misurazioni di massima.

Appendice

Cenni sull'uso di PHOTOMODELER

1- STRUMENTI

1. Macchina fotografica digitale con una risoluzione minima di 4 megapixel con supporto a treppiede.
2. Computer portatile
3. Software di editing fotografico (es. Adobe Photoshop)
4. Software di visualizzazione immagini (es. ACD See)
5. Software di fotorestituzione digitale (Photomodeler)
6. Fogli adesivi con i markers
7. Filo a piombo
8. Blocco notes
9. Strumenti di misura (rullina metrica di circa 20m, metro di circa 5m)
10. Livella
11. Squadretta di riscontro per verificare le dimensioni dell'imbarcazione direttamente dalle foto

2- PROCEDURA

Preparazione del modello o della carena in vera grandezza da rilevare:

1 – Scelta di un sistema di riferimento adeguato ed inequivocabilmente individuabile nelle immagini fotografiche durante la fase di elaborazione delle stesse immagini con il software di fotorestituzione.

2 – Scelta di posizioni strategiche da cui fotografare la carena per far in modo che in ogni immagine da ogni angolazione sia contenuta una porzione molto grande di carena e che siano bene in evidenza le curve principali (cinta, chiglia, profili di poppa e di prua)

3 – Scelta della distanza da cui fotografare la carena al fine di evitare l'uso dello zoom della macchina fotografica per ridurre al minimo l'errore in fase di elaborazione dovuto alla distorsione della lente della fotocamera. Inoltre sarebbe anche utile cercare di fare in modo che la distanza della fotocamera dall'oggetto sia sempre costante al variare delle angolazioni, questo sempre per ridurre i problemi introdotti dalla distorsione delle immagini.

4 – Valutazione della luce nell'ambiente in cui si effettua il rilievo ed eventualmente adeguandola con delle lampade.

Scelta dei markers e relativo posizionamento

La scelta dei markers viene fatta in base alle dimensioni della carena da rilevare dal momento che essi devono risultare visibili nelle immagini

fotografiche che possono essere scattate anche da distanze piuttosto rilevanti nel tentativo di catturare una porzione piuttosto ampia di carena in ogni immagine.

I markers possono avere diverse forme ma è importantissimo che risultino ben visibili sulle immagini fotografiche, ragion per cui è opportuno che siano di due colori con un contrasto molto elevato (es. bianco e nero) e sui quali sia possibile trovare un punto ben definito dato dall'incrocio dei colori ed inequivocabilmente individuabile da tutte le ragionevoli angolazioni utili da cui vengono scattate le foto.

Il posizionamento dei markers è una delle operazioni più delicate nella campagna di rilievo per mezzo della fotogrammetria. La posizione dei markers deve mettere in risalto i riferimenti presi sulla carena che devono servire ad orientare rapidamente nello spazio la nuvola di punti rilevata e quindi la superficie ricostruita all'interno di un ambiente CAD. I markers devono inoltre mettere bene in evidenza le curve fondamentali della carena (chiglia, cinta, profili di prua e di poppa, nonché eventuali appendici particolari.

Misure delle dimensioni principali

1 – E' importante rilevare le misure principali della carena (o di elementi caratteristici facilmente riscontrabili nelle immagini fotografiche) al fine di poter lavorare con il giusto fattore di scala nella fase di elaborazione della carena al CAD.

queste misure sono:

L_{OA} (lunghezza fuori tutto)

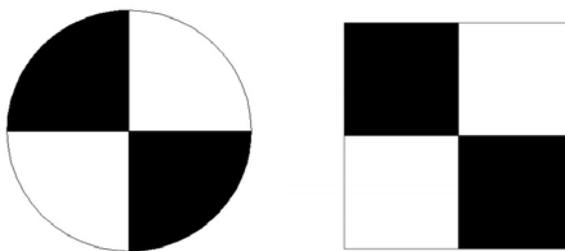
B_{MAX} (larghezza massima)

Larghezza in corrispondenza dello specchio di poppa.

FASE OPERATIVA

1. Posizionamento dei marker:

- È opportuno posizionare dei marker di forma quadrata o tonda (vedi immagini) in punti strategici come ad esempio lungo la linea di chiglia per poter poi orientare il modello coerentemente con il sistema di riferimento (terna trirettangola e levogira) che vede l'asse x appartenente al pino diametrale e orientato verso prua, l'asse z orientato verso l'alto e l'asse y orientato di conseguenza.
- A prescindere dalla grandezza della carena può essere conveniente e più rapido applicare come markers delle strisce di carta adesiva di un colore contrastante con quello della carena da rilevare (per evidenti ragioni di visibilità nelle immagini fotografiche) disponendole per linee d'acqua, ordinate, lungo la chiglia, la cinta utilizzando gli incroci tra tali strisce come punti forti su cui posizionare i punti della nuvola di punti che descrive la carena.

**Figura 1**

L'immagine precedente mostra due esempi di markers in cui è facile riconoscere il centro in cui porre manualmente un marcatore elettronico con il software di fotorestituzione digitale.

Oltre a questo tipo di marker si può disporre anche di markers codificati che il programma individua in maniera univoca all'interno delle immagini fotografiche e che può essere quindi collocato dal programma stesso all'interno dello spazio virtuale.

**Figura 2: Esempio di marker codificato**

2. Impostazioni fotocamera

- Le impostazioni devono essere tali da ottenere le immagini alla risoluzione più alta possibile, con un contrasto elevato per meglio evidenziare le curve principali della carena evitando inoltre di utilizzare lo zoom per non introdurre ulteriori distorsioni.

3. Acquisizione immagini

- È opportuno utilizzare un supporto a treppiede per avere la fotocamera ad un'altezza costante ed alla distanza voluta. Le immagini fotografiche che utilizzeremo dovranno essere nel minor numero possibile per ridurre i tempi di elaborazione delle stesse, ragion per cui è conveniente fare in modo che esse vengano scattate da posizioni tali da acquisire ad ogni scatto la maggior quantità di informazioni possibile. Possono essere sufficienti 5 fotografie scattate disponendo la fotocamera su una ideale traiettoria semicircolare partendo da un estremo della imbarcazione fino all'altro acquisendo le immagini. Inoltre bisogna fare in modo che dalle angolazioni da cui si effettuano gli scatti le immagini non risultino appiattite a causa di una illuminazione non corretta o di peggio ancora da riflessi sulla carena che rendano confuse le immagini.

**Figura 3**

Nell'immagine precedente è visibile il modello della carena 2084 costruito all'interno dell'officina del Dipartimento di Ingegneria Navale dell'Università "Federico II" di Napoli.

La carena si presenta ricoperta da una serie di strisce adesive orizzontali e verticali i cui incroci sono stati utilizzati come markers per questo rilievo.

INTERFACCIA DI PHOTOMODELER

Photomodeler è un programma di fotorestituzione che, utilizzando i principi alla base della fotogrammetria, è in grado di fornire un modello elaborabile con un CAD di un elemento, contenuto all'interno di immagini fotografiche scattate da angolazioni differenti, mettendo in relazione i punti in comune tra le immagini ricavando, quindi, informazioni sulle dimensioni nello spazio dell'oggetto stesso e traendo quindi dei dati tridimensionali da immagini bidimensionali.

La procedura da seguire (riferita all'uso di Photomodeler 5) per l'elaborazione delle immagini si compone dei seguenti passi:

1. Avviare il programma e scegliere il comando *New Project* dal menu a discesa *File>New Project* e apparirà la finestra di comando Project Wizard che ci guiderà nelle scelte preliminari dell'impostazione del progetto.

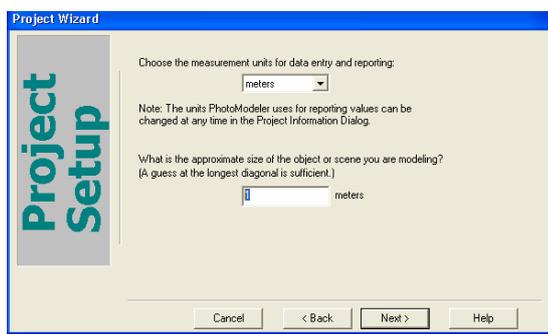


Figura 4

2. In questa finestra di dialogo si impostano le unità di misura con le quali si

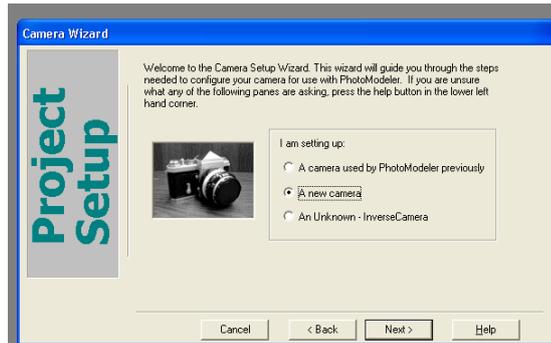
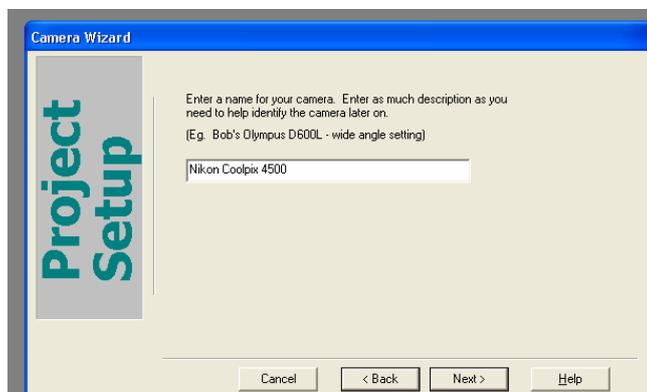


Figura 5

intende operare (solitamente in mm) e le dimensioni di massima dell'oggetto in esame. Cliccando su *Next* si passa alla schermata seguente.

3. In questa fase si forniscono al programma i dati relativi alla fotocamera utilizzata. Nel nostro caso si seleziona la casella corrispondente a *A new camera*. e si prosegue con *Next*.

**Figura 6**

4. Nelle finestre di dialogo seguenti si inseriscono i dati relativi alla macchina fotografica, partendo dal modello, dal tipo di macchina (digitale, 35mm standard film camera ecc.), e si verifica se la fotocamera adoperata coincide con una presente nel database di macchine fotografiche che è a corredo del programma. Nel caso in cui si utilizzasse una camera non compresa nel database si procede selezionando la casella *My camera is not listed above*. Il passo successivo consiste nel fornire informazioni sull'eventuale uso dello zoom e la lunghezza focale che solitamente è facilmente individuabile sull'obiettivo della macchina.

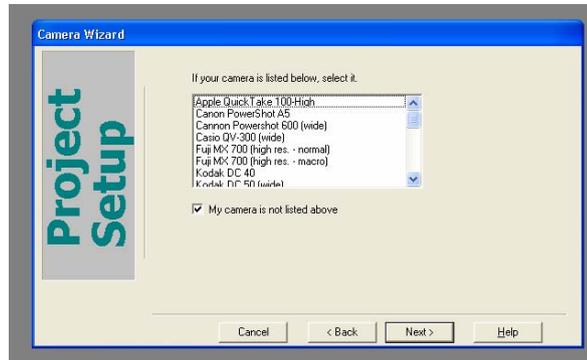


Figura 7

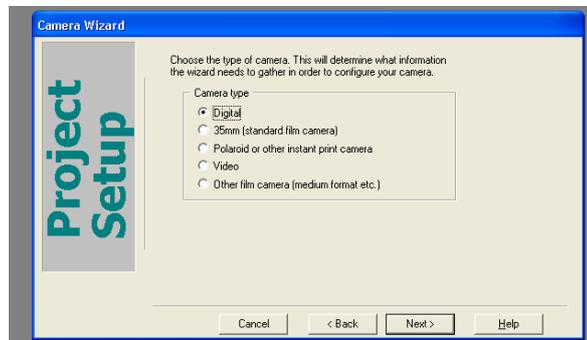


Figura 8

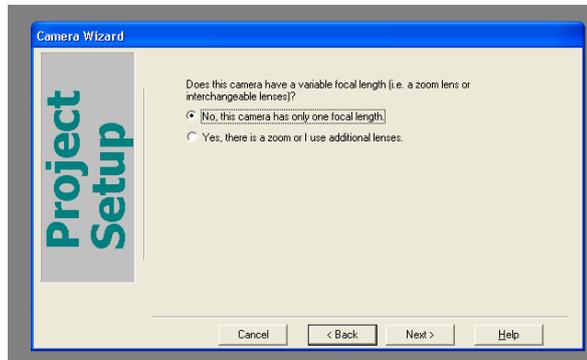


Figura 9

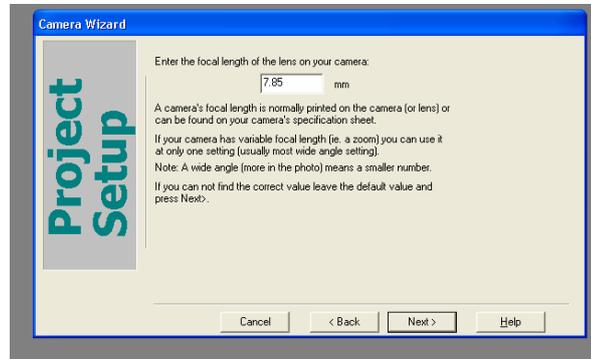


Figura 10

5. A questo punto il programma richiede di utilizzare un'immagine in cui è ripreso un oggetto dalla geometria semplice e di cui sono note le dimensioni come ad esempio un foglio di carta di formato A4 (210mm per 297mm) affisso ad una parete ad una distanza nota (es. 2 m) dal punto di fuoco della fotocamera solitamente individuabile da una tacca posizionata dal costruttore sopra l'obiettivo.

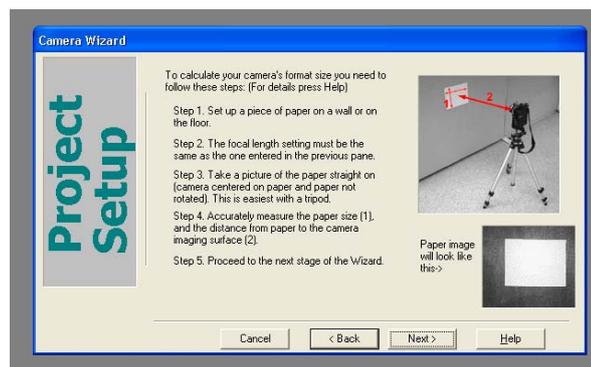


Figura 11

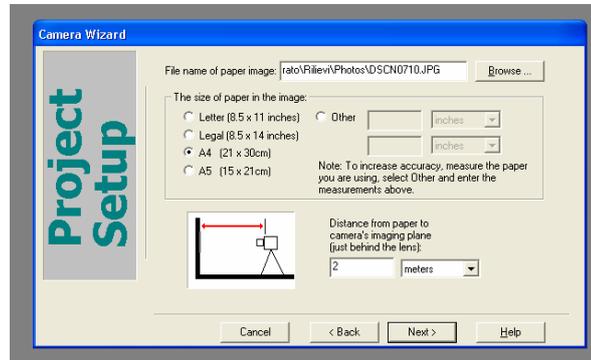


Figura 12

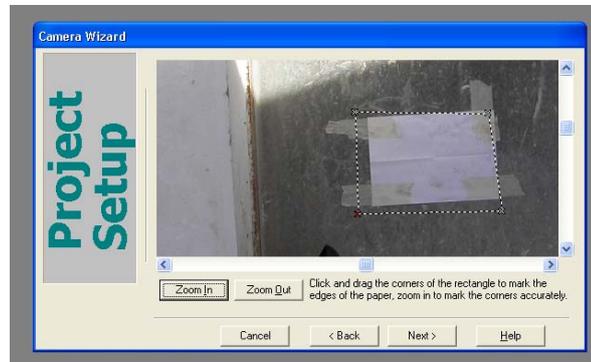


Figura 13

6. A questo punto si fanno coincidere dei markers elettronici, spostandoli con il mouse, con gli angoli del foglio A4 fornendo così al programma gli ultimi dati utili per il settaggio e la calibrazione della macchina fotografica.

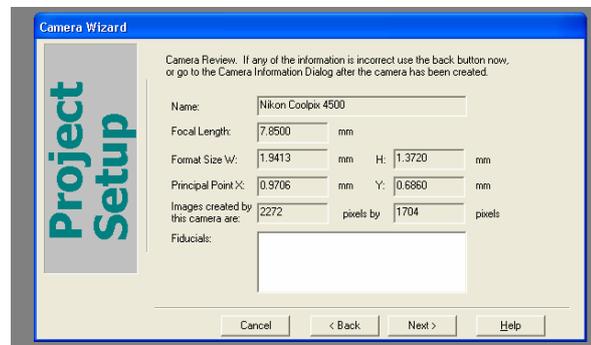


Figura 14

7. Il prossimo passo consiste nell'importare in Photomodeler le immagini da elaborare.

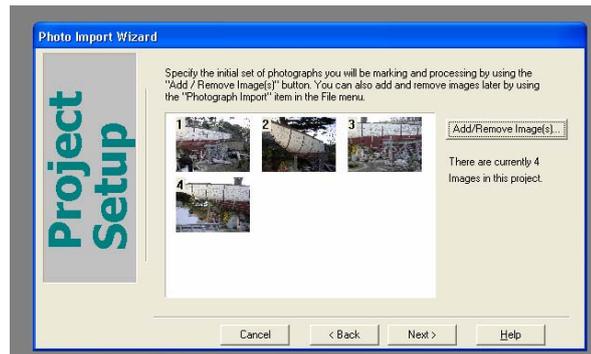
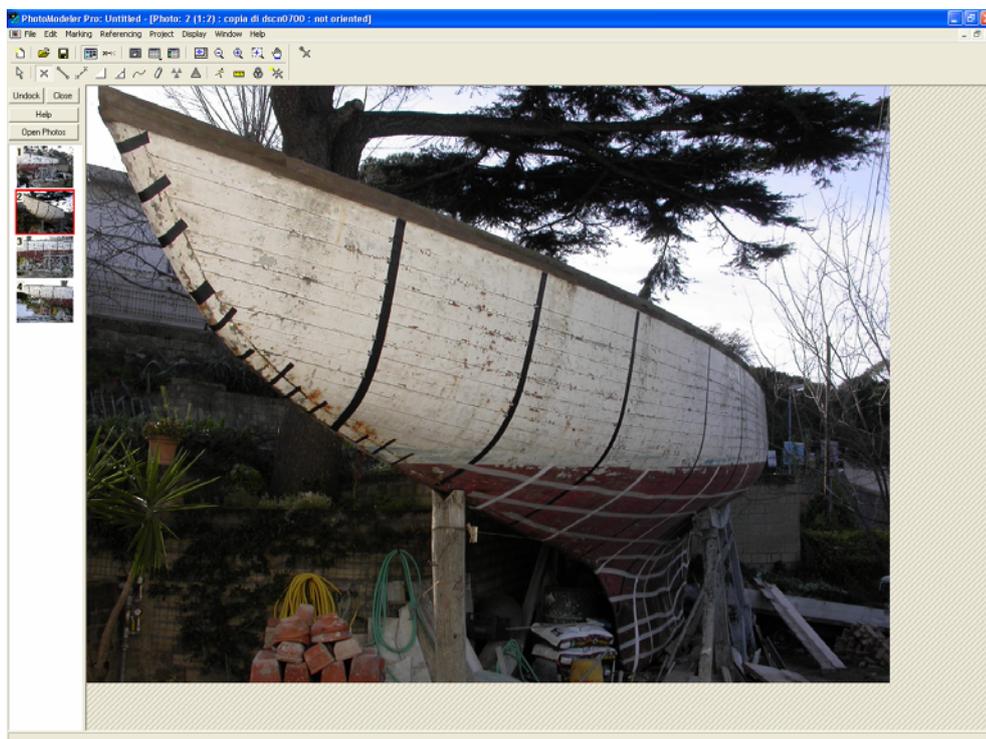


Figura 15

8. A questo punto si cominciano a marcare i vari punti da rilevare sulla carena selezionando il comando **Mark points** dal menu a discesa **Mark>Mark points**

**Figura 16**

9. Si troveranno poi i corrispondenti punti nelle altre immagini mettendoli in relazione tra loro attraverso il comando **Reference** mode dal menu a discesa **Reference>Reference mode**.
10. Una volta messi in relazione i vari punti si prosegue con il comando **Process** in modo che il programma possa calibrare le immagini collocando i punti inseriti come markers nello spazio.
11. Da questo momento in poi, dal momento che le immagini sono state orientate e quindi messe in relazione tra loro, se si introducono altri markers in un'immagine il programma collocherà automaticamente i markers corrispondenti nelle altre immagini utilizzate nel progetto. In

questa fase Photomodeler ci dà già la possibilità di effettuare delle misure sulla carena che stiamo rilevando.

12. A questo punto si procede cercando di incrementare la nuvola di punti là dove sono presenti delle zone a raggio di curvatura più piccolo e soprattutto si marcheranno le curve principali della carena facendo in modo da avere poi i dati che ci faciliteranno il lavoro quando si passerà dalla nuvola di punti alla carena.
13. Una volta terminata la fase di elaborazione delle immagini con Photomodeler è possibile esportare in un formato CAD la nuvola di punti per poter creare con quest'ultima la superficie con un programmi come Rapidform o Think3.

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare tutte quelle persone che nel periodo del mio Dottorato di Ricerca hanno dato in qualche modo un contributo alla stesura di questa tesi e per avermi supportato nelle attività di ricerca.

Desidero ringraziare il Sig. Giancarlo Antonetti ed il Sig. Guido Palermo per avermi permesso di rilevare rispettivamente le imbarcazioni Santa Rosa e Nada.

Desidero ringraziare inoltre il circolo Italia di Napoli per aver messo a disposizione il modello del Tomahawk.

Un ringraziamento particolare va al Prof. Claudio Pensa per avermi guidato con la sua esperienza e competenza attraverso questo percorso di dottorato, rappresentando per me un indispensabile punto di riferimento culturale ed umano.

Bibliografia

1. F. Caputo, C. Pensa, R. Sansone, D. Speranza *Applicazione di tecniche di ingegneria inversa nell'acquisizione di carene navali d'interesse storico*, XII ADM – XV INGEGRAF international Conference on Tools and Methods Evolution in Engineering Design, 2003.
2. Ugo De Carlini e Aniello Cimatile *Metodologie, tecniche e strumenti di reverse engineering*.
3. F. Sessa, *Modellazione geometrica: principi teorici ed applicazioni all'ingegneria navale*, Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Navale, Novembre 2000.
4. C. Conedera, S. Papa C. Pensa D. Speranza *HullShip design with nurbs* Appunti dalle lezioni del corso di Disegno Navale Assistito dal Calcolatore, Napoli, 2003.
5. Selvini A. *Elementi di fotogrammetria*, 1994.
6. G. Bezoari, C. Monti, A. Selvini *Misura e rappresentazione*, 1996.
7. Photomodeler Pro, User Guide.
8. "Reconstruction of existing hull shapes with PIAS-PhotoShip" by Ing. P.H.A. Zevenbergen of SARC.
9. Mario Giovanardi *Elementi di fotogrammetria applicata all'Architettura*, 1958.
10. "Boats – A Manual For Their Documentation" AA.VV. – American Association for State and Local History, Nashville Tennessee
11. F. Serafini – "Vele D'Epoca Nel Mondo" – Edizioni Gribaudo
12. Marc Levoy - *Computer Science Department of Stanford University* – "The Digital Michelangelo Project"
13. G. Guidi, M. Musio-Sale – "Rilevare tridimensionalmente uno scafo" - Nautech Ottobre 2005.
14. F. Remondino - *Institute of Geodesy and Photogrammetry Swiss Federal Institute of Technology ETH Zurich, Switzerland* "From point cloud to surface: The modelling and the visualization problem".

15. G. Egan, B. Donnelly - School of Surveying and Spatial Information Systems of The University of New South Wales – *“Comparison of industrial measurement techniques”*.
16. ASRKV Murali Mohan and SS Solanki - Advanced Data Processing Research Institute - Secunderabad, India and V Sree Ramulu - National Remote sensing Agency Hyderabad, India – *“On-the-Job Calibration of a Digital Camera for Industrial Photogrammetry”*.
17. L. De Napoli, C. Rizzuti, S.Rizzuti - Dipartimento di Meccanica, Università della Calabria – *“Problematiche Inerenti Il Rilievo Dello Stampo Dello Scafo Di Una Imbarcazione Da Diporto”*.
18. L. De Napoli, C. Rizzuti, S.Rizzuti - Dipartimento di Meccanica, Università della Calabria – *“Rilievo Dello Scafo Di Una Imbarcazione Da Diporto Mediante Scanner Laser”* - XIII ADM - XV INGEGRAF International Conference on Tools And Methods Evolution In Engineering Design.
19. *“Laser mapping for accurate 3D modelling”* – The Naval Architect, march 2003.
20. F. Remondino - Institute of Geodesy and Photogrammetry Swiss Federal Institute of Technology ETH Zurich, Switzerland – *“Human Figure Reconstruction and Modeling from Single Image or Monocular Video Sequence”*.
21. F. Remondino - Institute of Geodesy and Photogrammetry Swiss Federal Institute of Technology ETH Zurich, Switzerland – *“3-D reconstruction of articulated objects from uncalibrated images”*.
22. F. Remondino - Institute of Geodesy and Photogrammetry Swiss Federal Institute of Technology ETH Zurich, Switzerland – *“Recovering Metric Information From Old Monocular Video Sequences”*.
23. S. Petronilli – *“Prototipazione Rapida – Ingegneria inverse – Beni Culturali”* - Innovare, giugno 2002.
24. Optical Measuring Techniques *“Quality Control and 3D-Digitizing using Photogrammetry and Fringe Projection”*.

25. M. Bordegoni, S. Filippi - Industrial Engineering Dept., University of Parma, DIEGM Dept., University of Udine – “*Reverse Engineering For Molding*”.
26. M. Campari – “Architettura al calcolatore” – Computer Grafica Tecniche & Applicazioni, gennaio 2001.