

Fotogrammetria Subacquea e Rilievo 3D di Precisione di Strutture Galleggianti o Semi-Sommerse

di Fabio Menna, Erica Nocerino, Salvatore Troisi, Fabio Remondino

Il rilievo 3d di precisione con tecniche di fotogrammetria subacquea per la documentazione e il monitoraggio di strutture galleggianti o semi sommerse. Tecniche e metodologie in via di sviluppo.

La rappresentazione digitale di opere di ingegneria navale quali carene di imbarcazioni è di fondamentale importanza in architettura navale dove la necessità di un modello digitale tridimensionale (3D) deriva direttamente dalla centralità delle forme tridimensionali nel processo iterativo ben noto come spirale di progetto di una opera ingegneristica navale.

In generale però, il rilievo 3D di precisione di strutture semi-sommerse rappresenta un problema ancora aperto in molte applicazioni ingegneristiche che vanno oltre quelle prettamente navali (relitti, piattaforme petrolifere, moli e pontili galleggianti o a palafitta) comprendendo anche la documentazione e il rilievo 3D di beni culturali ed architettonici che in alcune aree, specialmente nel nostro paese, sono soggetti a fenomeni di bradisismo e subsidenza trovandosi quindi in condizioni semi-sommerse.

Il problema del rilievo 3D per la documentazione e il monitoraggio di precisione risulta però particolarmente sentito nel caso di strutture di tipo galleggiante, in particolare modo per imbarcazioni. Misurare la forma tridimensionale di un'imbarcazione o sue appendici può risultare fondamentale quando questa non è nota oppure è considerata non affidabile a causa di deformazioni o danni subiti nel tempo dalla stessa. Tecniche geomatiche di misura rappresentano in tali casi il punto di partenza di un flusso di operazioni e procedure note come *processi di ingegneria inversa* (reverse engineering) tramite i quali l'oggetto o sue parti vengono riprogettate o semplicemente analizzate per effettuare controlli di deformazioni, usura etc.

Il rilievo 3D di precisione con tecniche di fotogrammetria terrestre è ormai noto essere una consuetudine in molte applicazioni industriali e per la documentazione architettonica, archeologica e subacquea. Se nell'ambito della fotogrammetria terrestre le problematiche scientifiche e pratiche sono piuttosto note e supportate da una corposa letteratura scientifica di riferimento, lo stesso non si può dire della fotogrammetria subacquea, dove le variabili in gioco sono differenti e non del tutto esplorate. Le principali difficoltà non sono solo il risultato di una differente modellazione fisico-matematica ma anzi, sono quasi sempre derivanti dalle proprietà fisiche intrinseche dell'acqua e dalle condizioni meteorologiche. In particolare nei primi metri di profondità la torbidità dell'acqua, le particelle in sospensione causate dal moto ondoso degradano la qua-

lità ottica di trasmissione della luce con ovvie conseguenze dal punto di vista della radiometria delle immagini acquisite sott'acqua; contemporaneamente il moto ondoso complica l'assetto e quindi l'acquisizione fotografica da parte del subacqueo o del veicolo teleguidato.

Per ottenere modelli digitali 3D di precisione di veicoli marini e oggetti galleggianti in genere l'oggetto da rilevare viene messo a secco utilizzando apposite strutture quali bacini di carenaggio, bacini galleggianti, gru. Queste operazioni risultano altamente costose sia per la natura stessa dei dispositivi impiegati per le operazioni di messa a secco sia perché il mezzo risulta inoperativo per i giorni in cui l'imbarcazione rimane ferma per le operazioni di rilievo. Qualora il natante sia messo a secco dopo un incidente che richiede la riprogettazione di alcune parti, il rilievo risulta propedeutico alla fabbricazione delle parti di ricambio. In tali evenienze, ai tempi propri di rilievo e riparazione si sommano quelli intermedi necessari per la fabbricazione delle parti con costi ancora superiori.

Sulla base di queste premesse, in un'ottica di ottimizzazione di alcuni processi industriali e di sicurezza in ambito navale, nel 2006 presso l'Università Parthenope di Napoli è stato attivato un gruppo di ricerca multidisciplinare di Fotogrammetria e Architettura Navale chiamato OptiMMA (Optical Metrology for Maritime Application). Dal 2011 il gruppo di ricerca 3D Optical Metrology (3DOM) della Fondazione Bruno Kessler di Trento è parte attiva del pro-

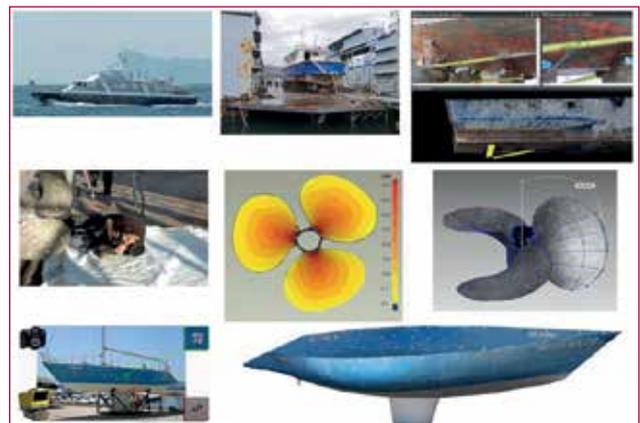


Fig. 1 - Alcune applicazioni realizzate all'interno del progetto OptiMMA.

getto OptiMMA promuovendo e sperimentando applicazioni di fotogrammetria subacquea sia in ambito navale che per applicazioni archeologiche (figura 1).

Al momento le tecnologie esistenti non consentono un approccio flessibile e multi-scala al problema del rilievo 3D di oggetti semisommersi, in particolare per quelli galleggianti. Infatti, il movimento di un mezzo galleggiante, esclude l'utilizzo di strumentazione a scansione 3D di tipo tradizionale e non esiste ancora una tecnica che consenta il rilievo 3D contemporaneo della parte immersa ed emersa di oggetti galleggianti. Gli autori hanno messo a punto una metodologia basata su fotogrammetria terrestre e subacquea per la soluzione di tale problema e dal 2010 hanno realizzato sperimentazioni di seguito esposte.

Rilievo fotogrammetrico simultaneo di oggetti semi-sommersi

La metodologia si basa su due rilievi fotogrammetrici, rispettivamente uno subacqueo per la parte immersa e uno terrestre per la parte emersa. I due rilievi 3D vengono poi in seguito roto-traslati in unico sistema di riferimento (figura 2).

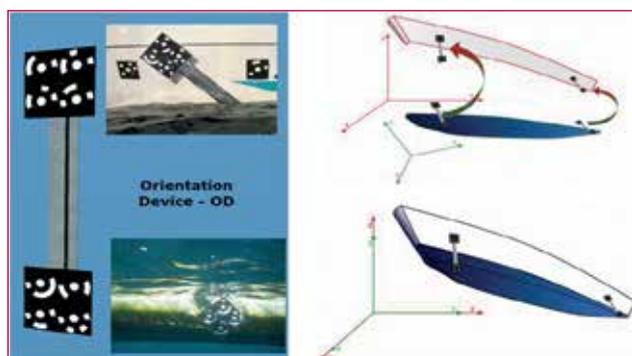


Fig. 2 - Esempio di un dispositivo di orientamento (Orientation Device - OD) con due piattelli contenenti ciascuno quattro target fotogrammetrici codificati (a). Procedura schematica della roto-traslazione del modello 3D della parte immersa su quella emersa tramite ODs (b).

Dal momento che le parti immerse ed emerse dell'oggetto non condividono punti in comune, per il calcolo dei parametri di roto-traslazione è stato trovato un espediente utilizzando alcuni dispositivi rigidi di orientamento (ODs) che vengono posizionati e fissati allo scafo (generalmente con magneti oppure specifici nastri biadesivi). Questi consistono in pali metallici ai quali sono fissati alcuni piattelli contenenti target fotogrammetrici le cui coordinate 3D vengono misurate accuratamente in laboratorio prima della loro installazione sull'oggetto. I pali vengono fissati sull'oggetto in modo che alcuni piattelli risultino immersi e altri invece emersi. Durante l'esecuzione dei due rilievi fotogrammetrici subacqueo ed emerso, vengono rispettivamente fotografate la parte immersa dell'oggetto compresi i target dei piattelli immersi e la parte emersa dell'oggetto inclusi i piattelli emersi.

La tecnica è stata sperimentata sia su oggetti liberamente galleggianti, sia su un oggetto semi-sommerso ma statico: il relitto della nave Costa Concordia incagliata all'uscita del porto dell'Isola del Giglio.

Il rilievo della falla della Costa Concordia

Come tristemente noto, il 12 Gennaio 2012, la nave da crociera Costa Concordia è parzialmente affondata, adagiandosi col fianco destro sul fondale, a pochi metri dall'imboccatura del porto dell'Isola del Giglio dopo aver impattato contro uno scoglio delle Isole delle Scole.

L'impatto ha provocato una falla (lunga circa 36 metri e posizionata in parte al di sotto della linea di galleggiamento) sul fianco sinistro della nave e il successivo affondamento, avvenuto su di un fondale poco profondo (circa 30 m) dove la nave si è adagiata con un'inclinazione finale di circa 70 gradi. A seguito dell'evento è stato istituito un procedimento penale volto all'accertamento dei fatti avvenuti. Nell'ambito di tale procedimento, è stato chiesto al Prof. Troisi dell'Università degli Studi di Napoli "Parthenope" la "Effettuazione sullo scafo del relitto, con tecnologia non invasiva, di accurati rilievi, misurazioni e verifiche atti a riscontrare le caratteristiche della falla principale della M/N Costa Concordia". Per l'espletamento dell'incarico, il Prof. Troisi si è avvalso della collaborazione dei ricercatori del gruppo di ricerca 3DOM dell'FBK.

L'area da rilevare, coincidente con la parte di scafo deformatasi in seguito all'urto, era piuttosto estesa (oltre 50 metri) con la falla principale che si estendeva a cavallo della superficie del mare. La necessità di misurare con elevata accuratezza sia la parte emersa che quella immersa ha reso necessario l'impiego della tecnica fotogrammetrica.

Preparazione dello scafo

Al fine di garantire un'elevata accuratezza nella restituzione dell'oggetto, è stato necessario "preparare" la parte da rilevare con appositi target magnetici. Sono stati utilizzati circa 500 magneti circolari, verniciati di bianco affinché fossero ben contrastati nelle immagini subacquee e posizionati secondo un grigliato regolare, in modo da garantire che su ogni immagine fossero visibili almeno 12 target. Oltre ai target, sono state fissate alcune barre in metallo di dimensioni note per la scalatura distribuite sia sulla parte emersa che immersa. Infine, sono stati posizionati 5 ODs di collegamento con 3 piattelli da quattro target ciascuno tra la parte emersa e quella immersa (figura 3).

Il rilievo fotogrammetrico immerso

Per trovare le condizioni di luce ideali per gli scatti relativi alla zona immersa sono state effettuate immersioni a varie ore della giornata. Se le ore antimeridiane risultavano ideali per trasparenza dell'acqua e per la luminosità, la presenza dei riflessi della luce del sole sulla superficie dell'acqua costituiva un problema rilevante per la misura di punti sull'oggetto. Le riprese subacquee sono state quindi realizzate nelle ore pomeridiane, quando il sole non illuminava direttamente la superficie dell'acqua, utilizzando un flash nel suo apposito scafandro subacqueo per garantire comunque un'illuminazione adeguata. Le prese fotogrammetriche subacquee, ad una distanza di circa 3m dallo scafo, sono state realizzate lungo strisciate a diverse profondità (-4m, -3m, -2m, -1.5m) e in diversi giorni. Per poter eseguire correttamente lo schema di prese progettato, è stato ideato un sistema con fili a piombo che aveva lo scopo di assistere e guidare l'operatore fotogrammetrico subacqueo nella fase di scatto, indicandogli sia la quota (profondità) che la distanza dalla nave (figura 4).

Il rilievo fotogrammetrico emerso

Per la parte emersa le prese fotogrammetriche sono state realizzate su diverse barche (pilotina, gommone) aventi altezze differenti sul livello del mare e a diverse distanze dalla nave (da 7 a 20 metri). Per irrobustire il collegamento tra la parte immersa e quella emersa, è stato considerato l'effetto della marea che lasciava scoperta una zona comune di scafo ampia circa 25 centimetri. Per sfruttare tale possibilità, i rilievi emersi sono stati eseguiti in diversi momenti della giornata.

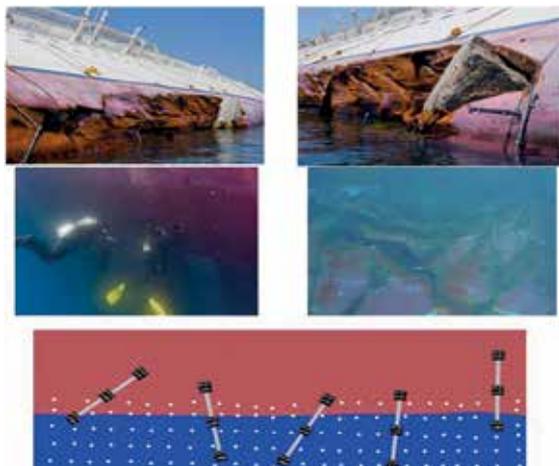


Fig. 3 - Posizionamento di target e ODs sulla carena della Costa Concordia per il rilievi fotogrammetrico.



Fig. 4 - Procedura impiegata per lo svolgimento del rilievo fotogrammetrico subacqueo.

Risultati del rilievo fotogrammetrico

I due rilievi sono stati elaborati prima separatamente con procedure di orientamento automatico e quindi uniti in un unico sistema di riferimento mediante gli ODS e i magneti visibili nella zona a cavallo della superficie del mare. Dalla compensazione ai modelli indipendenti la precisione delle coordinate dei target nel sistema di riferimento finale è risultata essere millimetrica. Successivamente sono state impiegate tecniche di image matching automatiche per la generazione di nuvole dense di punti sia della parte immersa che emersa, ottenute nel sistema di riferimento finale. Le nuvole sono stati quindi triangolate ottenendo una mesh 3D globale, a partire dal quale sono state realizzate diverse misure e analisi (Figura 5): (i) estensione e posizione della parte di scafo interessata dalle deformazioni provocate dall’impatto (lunghezza 53.18 metri e altezza 7.22 metri); (ii) grandezza della falla principale (lunghezza 35.94 metri) e la sua posizione rispetto al piano di costruzione della nave; (iii) individuazione di altre aperture nella parte immersa; (iv) valutazione dell’entità delle deformazioni superficiali dello scafo confrontando il modello della nave rilevato nella sua condizione attuale con il modello tridimensionale originario.

Abstract

THE ARTICLE PRESENTS AN INNOVATIVE METHODOLOGY FOR THE 3D SURVEYING AND MODELING OF FLOATING AND SEMI-SUBMERGED OBJECTS. PHOTOGRAMMETRY IS USED FOR SURVEYING BOTH THE UNDERWATER AND EMERGED PARTS OF THE OBJECT AND THE TWO SURVEYS ARE COMBINED TOGETHER BY MEANS OF SPECIAL RIGID ORIENTATION DEVICES. AS EXAMPLE, A CHALLENGING PROJECT IS REPORTED, I.E. A LARGE SHIPWRECK (ALMOST 300 METERS LONG) INTERESTED BY A 52 M LONG LEAK AT THE WATERLINE. THE ARTICLE COVERS THE ENTIRE WORKFLOW, STARTING FROM THE PREPARATION AND DATA ACQUISITION DOWN TO THE REALIZATION OF THE DIGITAL 3D MODEL BY MEANS OF DENSE IMAGE MATCHING PROCEDURES AS WELL AS DEFORMATION ANALYSES AND COMPARISON WITH THE CRAFT ORIGINAL PLANE.

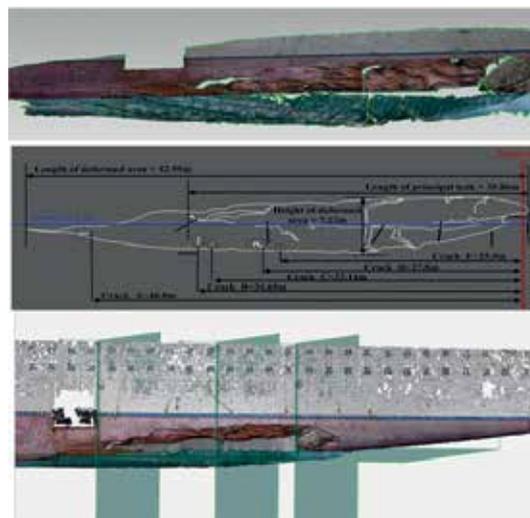


Fig. 5 - Modello 3D della falla (alto), restituzione nel piano longitudinale dei limiti delle deformazioni (centro) e suddivisione del modello in base ai compartimenti stagni per calcoli di allagamento (basso).

Parole chiave

FOTOGRAMMETRIA; RILIEVO 3D; COSTA CONCORDIA

Bibliografia

- Drap P., Merad D., Seinturier J., Mahiddine A., Peloso D., Boi J-M, Chemisky B., Long L., Garrabou J., (2013). Underwater photogrammetry for archaeology and marine biology, IEEE Conference "Digital Heritage 2013", Vol. 1, pp. 97-104, 28 Oct - 1 Nov, Marseille, France
- Koelman Herbert J. (2010). Application of a photogrammetry based system to measure and re-engineer ship hulls and ship parts: An industrial practices-based report. Computer-Aided Design, Vol. 42(8), pp. 731-743.
- Menna, F., Nocerino, E., Troisi, S., & Remondino, F. (2013). A photogrammetric approach to survey floating and semi-submerged objects. Proc. SPIE Optical Metrology 2013 (pp. 87910H-87910H).
- Menna, F., & Nocerino, E. (2012). Hybrid survey method for 3D digital recording and documentation of maritime heritage. Applied Geomatics, pp. 1-13.
- Menna F, Nocerino E, Ackermann S, Del Pizzo S, Scamardella A (2011) Underwater photogrammetry for 3D modeling of floating objects: the case study of a 19-foot motor boat. 14th Congress of Intl. Maritime Assoc. of Mediterranean IMAM 2011, Genova, Italy.
- Menna, F., Ackermann, S., Nocerino, E., Scamardella, A., Troisi, S., (2009). 'Digital photogrammetry: a useful tool for shipbuilding applications'. Proc. 13th Congress of Intl. Maritime Assoc. of Mediterranean IMAM 2009, Istanbul, 2009.
- Menna F., Troisi S., (2007). Photogrammetric 3D modelling of a boat's hull. Proceedings of Optical 3D Measurement Techniques Conference, Vol. II, Zurich, pp. 347-354.

Autori

FABIO MENNA
3D OPTICAL METROLOGY UNIT, FONDAZIONE BRUNO KESSLER, TRENTO
HTTP://3DOM.FBK.EU
FMENNA@FBK.EU

ERICA NOCERINO
3D OPTICAL MATROLOGY UNIT, FONDAZIONE BRUNO KESSLER, TRENTO
UNIVERSITA' PERTHENOPE NAPOLI
NOCERINO@FBK.EU

SALVATORE TROISI
UNIVERSITA' PARTHENOPE, NAPOLI
SALVATORE.TROISI@UNIPARTHENOPE.IT

FABIO REMONDINO
3D OPTICAL METROLOGY UNIT, FONDAZIONE BRUNO KESSLER, TRENTO
REMONDINO@FBK.EU