

Quaderni della
Scuola Interdisciplinare delle Metodologie Archeologiche - 3

ARCHEOLOGIA SUBACQUEA

STORIA, ORGANIZZAZIONE, TECNICA E RICERCHE

a cura di
DANIELA GANDOLFI

ISTITUTO INTERNAZIONALE DI STUDI LIGURI

Bordighera 2017



Realizzato con il contributo del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo -
Direzione Generale Biblioteche e Istituti Culturali

Composizione: Massimo Spataro

Stampa: Grafiche Amadeo, Via Nazionale,1 - Chiusanico (IM)

© IISL - Bordighera, 2017

ISBN 978-88-86796-64-4

In copertina:

Sud Perduto 2. Cargaison d'amphores de Bétique, cliché A. Chéné, CCJ-CNRS; il relitto *Fiumicino 1* visto da prua; utilizzo del braccio misuratore Faro per rilevare un'imbarcazione (da *Maritime Archaeology Newsletter from Roskilde*, 20); veduta aerea del porto di *Caesarea Maritima*.

INDICE

DANIELA GANDOLFI, <i>Notarella introduttiva</i>	p.	7
I. Storia della ricerca		
D. GANDOLFI, <i>Nino Lamboglia e il Centro Sperimentale di Archeologia Sottomarina: vecchie sintesi e nuove riflessioni</i>	p.	11
II. Fonti antiche e archeologia subacquea		
P. JANNI, <i>I romanzi antichi e il mare</i>	p.	41
P. A. GIANFROTTA, <i>La pirateria e l'archeologia sottomarina</i>	p.	55
F. P. ARATA, <i>Il trasporto e il commercio marittimo delle opere d'arte attraverso le testimonianze dell'archeologia subacquea</i>	p.	61
III. Metodi, tecniche, progetti		
E. FELICI, <i>Il cantiere archeologico subacqueo, la documentazione e il rilievo</i>	p.	91
C. BELTRAME, <i>Documentare in archeologia navale</i>	p.	159
L. FOZZATI, <i>Il progetto Archeomar: una metodologia di lavoro per la tutela e la ricerca</i>	p.	175
IV. Scoperte vecchie e nuove		
P. A. GIANFROTTA, <i>Topografia e contesti archeologici sottomarini</i>	p.	187
F. BERTI, <i>La nave di Valle Ponti</i>	p.	207
M. PASQUINUCCI, <i>Porti antichi e retroterra produttivi: Portus Pisanus e Vada Volaterrana</i>	p.	215
R. D'ORIANO, <i>Problematiche di archeologia subacquea dalla Sardegna settentrionale</i>	p.	227
H. BERNARD, <i>Le Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines (DRASSM) et quelques données récentes de son périmètre méditerranéen</i>	p.	237
V. Musei		
G. BOETTO, <i>Musei di archeologia navale in Italia</i>	p.	249
VI. Altri contributi		
S. L. TRIGONA, <i>L'archeologia subacquea in Liguria: recenti esperienze di ricerca e valorizzazione (2014-2016)</i>	p.	271
C. GIANNI, <i>Note su il contributo di Nino Lamboglia alla conoscenza del sito archeologico di Baia: l'attenzione alle memorie monumentali sommerse e allo scavo stratigrafico</i>	p.	281
Elenco autori	p.	289

DOCUMENTARE IN ARCHEOLOGIA NAVALE

Carlo BELTRAME

1. Introduzione

La metodologia di documentazione in archeologia navale non presenta aspetti molto diversi dalla metodologia applicata nel settore archeologico *tout court*. Va tenuto presente però che la complessità di uno scafo, ossia la quantità di informazioni presenti su ogni elemento costituente una nave, richiede una documentazione particolarmente analitica. Non dobbiamo dimenticare infatti che, almeno fino all'avvento dell'era industriale, la nave era senza dubbio una delle macchine più complesse prodotte dall'uomo e che ogni parte di questo manufatto presenta un quantitativo di informazione che spesso viene sottovalutato.

Seppure la qualità di risoluzione della documentazione di uno scafo debba spesso fare i conti con problematiche operative - quale l'ostilità dell'ambiente di giacitura del manufatto, le risorse umane ed economiche a disposizione e la tempistica -, in questa sede si vuole proporre, sebbene a grandi linee, un percorso ideale per una raccolta di dati che sia quanto più esaustiva possibile.

Potrebbe sembrare scontato che la documentazione di uno scafo debba essere coordinata, se non direttamente condotta, da un archeologo specializzato nella materia, ossia un archeologo navale, se non fosse per il fatto che questo concetto è stato spesso disatteso, specialmente in Italia¹. L'ignoranza riguardo al manufatto che si vuole documentare, infatti, impedisce una adeguata raccolta di informazioni sia a livello descrittivo sia a livello fotografico e grafico. Su quest'ultimo aspetto poi è utile aprire una piccola parentesi. Considerando che il rilievo di un manufatto è, e deve essere, il frutto di un processo interpretativo finalizzato sì all'acquisizione della forma dell'oggetto ma, nello stesso tempo, anche alla sua comprensione, la documentazione grafica deve essere eseguita dall'archeologo navale o, in alternativa, almeno sotto la sua direzione. Solo in questa maniera si può arrivare a cogliere il maggior numero possibile di informazioni evitando dettagli poco significativi (quali piccole crepe del legno, macchie, ombre ecc.) che andrebbero ad "appesantire" il rilievo.

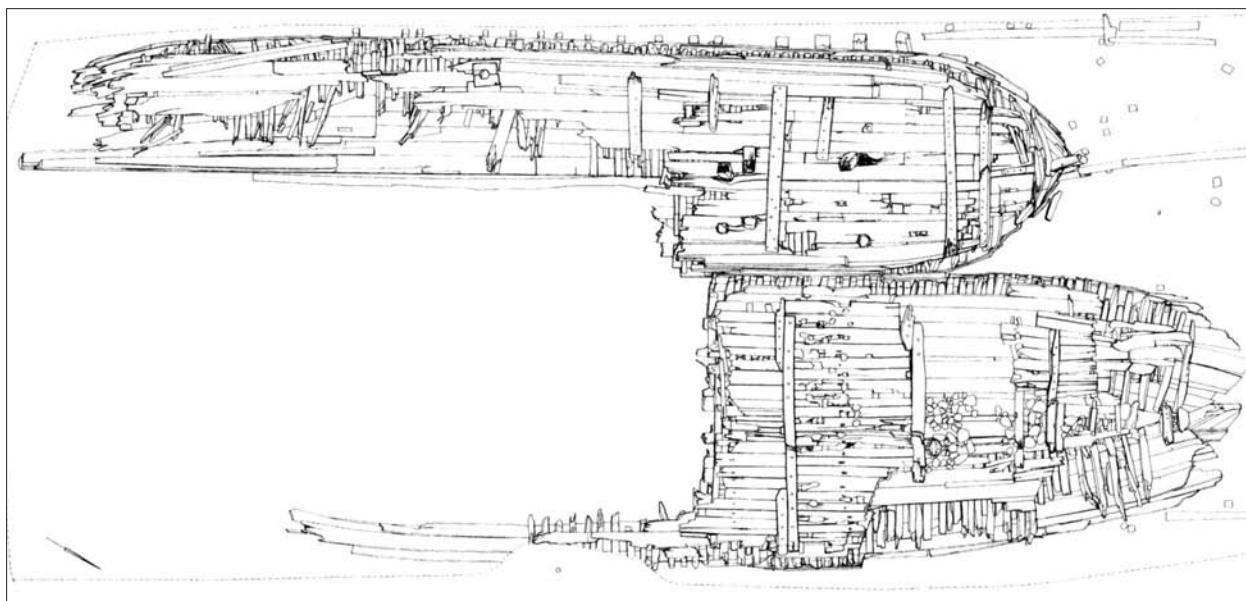


FIG. 1 - Pianta con fasciame interno di un relitto trovato a Copenhagen (da *Maritime Archaeology Newsletter from Roskilde*, 8).

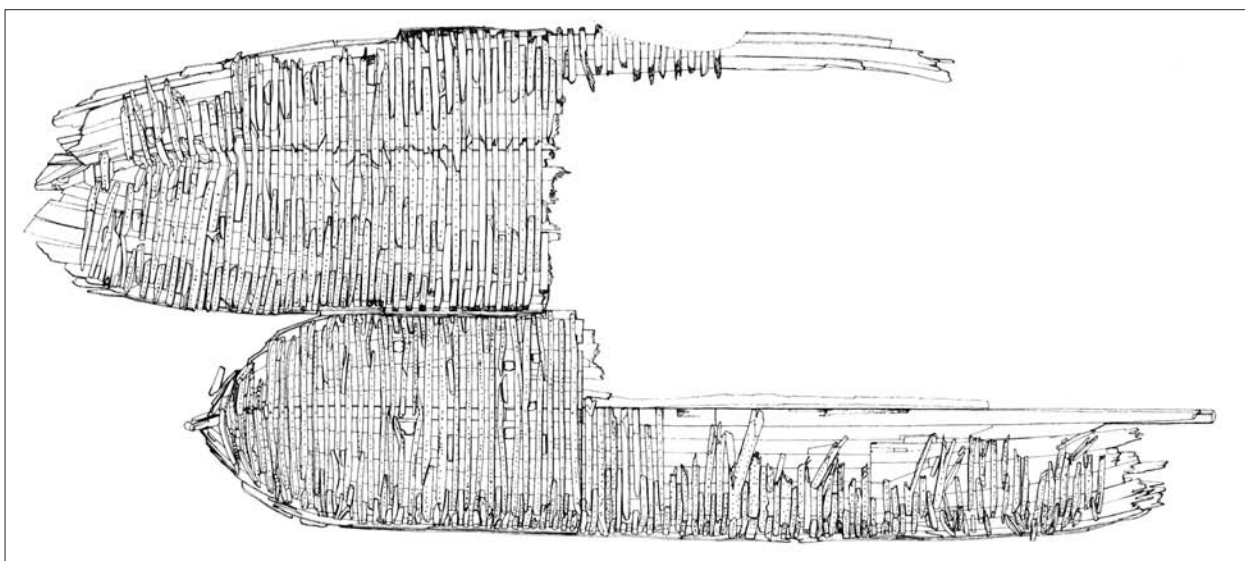


FIG. 2 - Pianta senza fasciame interno di un relitto trovato a Copenhagen (dis. di C. Lemée, da *Maritime Archaeology Newsletter from Roskilde*, 8).

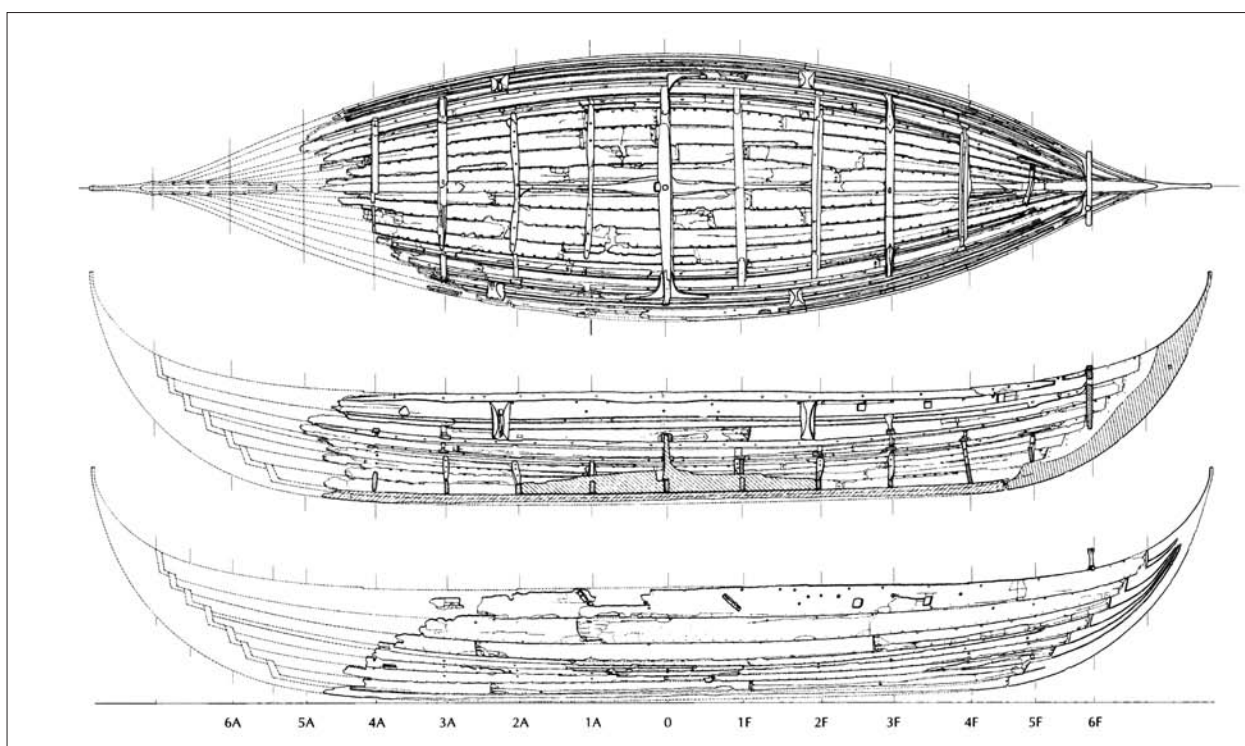


FIG. 3 - Pianta, sezione longitudinale e prospetto esterno di uno dei relitti di Skuldelev (da *The Skuldelev Ships I*, 2002).

A questo proposito, ben venga l'aiuto della tecnologia se finalizzato a migliorare e a velocizzare la documentazione quando questa è "dominata", e non "subita", dall'archeologo. Per poter superare il lavoro manuale, la tecnologia deve garantire non solo tempi rapidi e costi contenuti in grado di

competere con i sistemi tradizionali, ma anche la possibilità di comprensione del manufatto. Sistemi di rilevamento digitale - quale il laser-scanner - o di acquisizione fotografica tridimensionali non potranno sostituirsi completamente al rilievo manuale tradizionale; quest'ultimo eventualmente potrà

essere effettuato, in un secondo momento, direttamente sull'immagine acquisita.

Non vanno poi dimenticate le problematiche della comunicazione scientifica. La pubblicazione di rilievi infatti avviene ancora perlopiù sotto forma di grafici con linee al tratto piuttosto che come immagini fotografiche e/o tridimensionali come quelle prodotte dal laser-scanner.

A questo proposito, va detto che, di prassi, di uno scafo andrebbero prodotte e pubblicate²:

- una pianta, ossia una vista dall'alto con il fasciame interno (ossia il "piano dei legni") (fig. 1);
- una pianta senza il fasciame interno per permettere la documentazione di una delle parti più importanti di uno scafo, ossia le ordinate (cioè le costole) (fig. 2);
- eventualmente una pianta del fasciame esterno, visto dall'interno dello scafo e privo delle ordinate, ovviamente solo in caso di smontaggio;
- eventualmente un prospetto dei due fianchi visti da fuori lo scafo, che permetta di apprezzare il fasciame esterno e di documentare la forma della nave (fig. 3);
- una sezione longitudinale, ossia uno spaccato, che permetta di evidenziare elementi centrali quale il paramezzale e le ordinate viste da posizione diversa rispetto alla pianta (fig. 3);
- un numero di sezioni trasversali (meglio se una decina ma comunque non meno di tre) per documentare la forma dello scafo e le ordinate; il numero deve essere direttamente proporzionale alla dimensione e alla complessità della forma;
- alcuni rilievi di dettaglio (meglio se assonometrici) di particolari costruttivi quali giunzioni tra ruote e chiglia, giunzioni madieri-staminali ecc. (fig. 4).

Una documentazione grafica di questo livello servirà non solo allo studio tecnologico dello scafo ma anche a eventuali tentativi ricostruttivi della forma originaria, ossia delle condizioni della nave prima degli eventi deposizionali.

Oltre alla documentazione sopra esposta, andrebbe redatta una documentazione finalizzata alla comprensione della dinamica di formazione del relitto, ossia di distruzione della nave. Nel corso dello scavo stratigrafico vanno eseguiti rilievi in grado di documentare la posizione di elementi strutturali disassemblati e quindi destinati a essere rimossi per mettere in luce le parti sottostanti.

La scelta della tecnica di documentazione potrà essere condizionata dai fattori esposti sopra quali

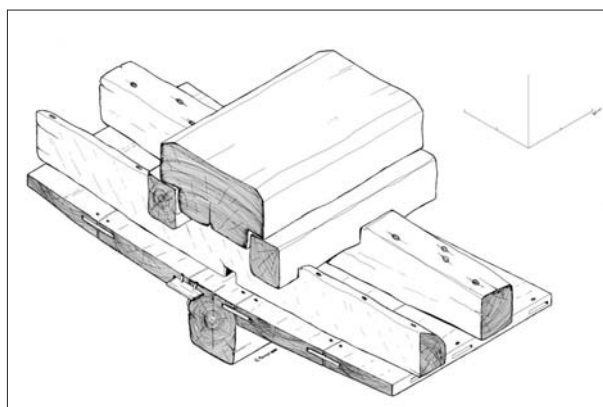


FIG. 4 - Assonometria di dettaglio costruttivo del relitto della nave romana di Grado (cortesia Gilberto Penzo).

la tempistica, le risorse umane, tecniche e finanziarie disponibili e l'ambiente di lavoro. È noto come i relitti di scafi possano trovarsi nelle condizioni di giacitura più varie: da quelle ideali, quale una sala museale, ad un sito soggetto ad infiltrazioni d'acqua oppure immerso in acque torbide.

Generalmente il relitto di uno scafo non può rimanere esposto per molto tempo sia che giaccia sott'acqua sia che si trovi in un'area umida, il che significa che le operazioni di documentazione *in situ* vanno pianificate con molta attenzione per evitare perdite di tempo ed errori o dimenticanze non facilmente sanabili.

Rimandando la presentazione delle problematiche della documentazione fotografica e della catalogazione - relativamente meno influenzate dai fattori elencati - affrontiamo ora la questione della preparazione dello scafo per passare quindi alla documentazione grafica.

2. Preparazione dello scafo

Prima di affrontare la documentazione di uno scafo, specialmente qualora si volessero utilizzare sistemi fotografici, è necessario liberare completamente la struttura dai sedimenti o dal carico e pulirne le superfici in maniera accurata. Qualsiasi traccia di sedimenti o altro potrebbe nascondere elementi importanti quali caviglie lignee, chiodi o segni lasciati dagli utensili del carpentiere o addirittura potrebbe impedire una visione di insieme di primaria importanza. Sarà bene quindi evitare una documentazione settoriale e comunque rilievi parziali condotti di campagna in campagna di scavo³.

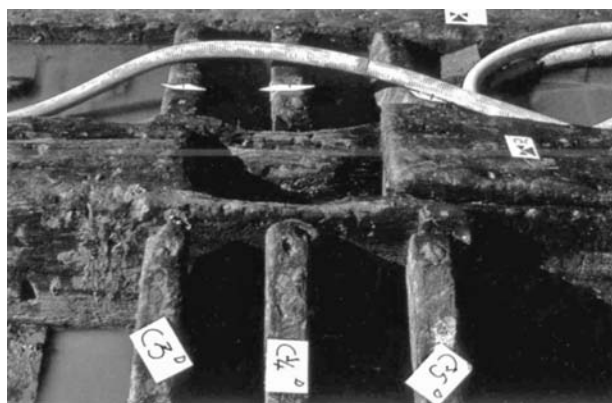


FIG. 5 - Etichette apposte sugli elementi strutturali della galea di S. Marco in Boccalama (da AA.VV. 2002-2003).

L'archeologo deve ragionare attentamente su ciò che ha di fronte. Già in questa prima fase egli deve cercare di orientarsi il più possibile, ossia deve, ad esempio, tentare di identificare prua e poppa, operazione meno semplice di quel che si potrebbe pensare o di quel che a volte ci viene fatto credere⁴.

Il riconoscimento dei vari elementi costruttivi in questa prima fase sarà finalizzato anche alla corretta siglatura dei vari pezzi: operazione molto importante che dovrà avvenire prima del rilievo. Una siglatura semplice e definitiva scongiurerà eventuali modifiche in corso d'opera o nelle fasi successive del progetto (ad esempio, se si procederà ad uno smontaggio, nella fase di documentazione in laboratorio, di restauro e di ricomposizione) ed eviterà rischi di confusione di fronte alle centinaia di elementi, anche molto simili tra loro, che compongono uno scafo.

È utile inoltre definire i due assi della nave: quello longitudinale può essere indicato dal paramezzale o dalla chiglia, se conservati, quello trasversale invece o dalla parte più larga dello scafo o dalla parte identificata come tale dallo stesso costruttore. Si tratta, perlomeno nella costruzione post-classica, del punto dove è presente il raddoppio o il semplice cambio di direzione degli staminali (ossia dei prolungamenti dei madieri). Gli staminali infatti venivano spesso fissati alle estremità dei madieri affiancandoli per un tratto. La superficie di contatto generalmente cambiava proprio in corrispondenza del centro-nave rivolgendosi prima verso un'estremità poi verso l'altra.

Una volta individuato il centro-nave è utile far partire da qui la numerazione delle varie parti componenti l'ossatura (ossia le ordinate), da una

parte verso prua, dall'altra verso poppa. In alternativa, è possibile far partire la numerazione dell'ossatura da un'estremità all'altra.

La siglatura dei vari elementi costruttivi può essere composta da lettere e numeri: ad esempio M3 per madiere n. 3, ST 5, per staminale n. 5 e così via. I codici utilizzati devono distinguere chiaramente le parti della carpenteria "trasversale", ossia la costolatura, da quella longitudinale (fasciame esterno ed interno) ed assiale (chiglia, ruote ed elementi del paramezzale) e dalle sovrastrutture (puntelli, bagli e parti varie del ponte).

Il fasciame deve essere numerato a partire dal centro verso l'esterno da una parte e dall'altra dello scafo con un sistema quale il seguente: FEs 1, 2, 3... per tavola di fasciame esterno di sinistra n. 1, 2, 3..., FED 1, 2, 3... per tavola di fasciame esterno di destra n. 1, 2, 3... Ciò varrà tanto per il fasciame esterno quanto per il fasciame interno⁵.

Le etichette utilizzate per siglare i pezzi devono essere ricavate da materiale plastico impermeabile, devono presentare dimensioni tali da poter essere visibili nelle fotografie ma da non essere troppo invasive (fig. 5). Inoltre esse non devono nascondere dettagli costruttivi dello scafo quali chiodi o segni incisi.

Per il fissaggio delle etichette si consiglia di utilizzare aghi da siringa. Gli aghi sono quanto di meno invasivo esista sia a livello visivo sia nei confronti del legno. Inoltre, a differenza dei chiodi, essi non si ossidano velocemente con le ovvie conseguenze per il legno⁶.

Prima dell'esecuzione della documentazione fotografica (fotogrammetria o foto libere), è fondamentale evidenziare ogni dettaglio (quali chiodi, caviglie lignee), ogni giunzione e ogni superficie di contatto dello scafo. Senza questo espediente infatti, sarebbe molto difficile, se non impossibile, cogliere tutti i dettagli sulle foto libere e sui fotogrammi fotogrammetrici. Superfici di contatto e piccoli elementi quali chiodi o segni impressi dal maestro d'ascia potrebbero risultare impercettibili o sfuggire alla vista.

L'evidenziazione può essere ottenuta con l'uso di puntine, di filo di ferro plastificato e colorato, di sagolini ecc.

3. Documentazione grafica

Le tecniche di più comune impiego a disposizione sono il rilievo manuale con sistemi tradizionali, il fotomosaico, la fotogrammetria, il rilievo

per punti con la stazione totale, le “prese” con laser scanner, il rilievo per punti con braccio misuratore dimensionale.

3.1. Il rilievo manuale

Il rilievo manuale, se eseguito da tecnico abile e veloce, è un sistema ancora validissimo. Può essere sufficientemente preciso e, in assoluto, è la tecnica che permette di cogliere e interpretare meglio ogni minimo dettaglio costruttivo dello scafo. Può essere eseguito a mano libera, ma è meglio se è aiutato con sistemi di riferimento quali sagolini o telaietti⁷.

L'esecuzione di sezioni trasversali dello scafo sott'acqua può essere semplificata utilizzando una sorta di grande pettine o profilometro, come quelli impiegati sui relitti punico di Marsala e medievale di Cala Culip (fig. 6).

Il rilievo manuale può essere eseguito sia in ambiente aereo sia sott'acqua. In quest'ultimo caso, rimane spesso l'unica tecnica utilizzabile in condizioni di bassissima visibilità.

3.2. Il foto mosaico

Si tratta di un sistema che permette di realizzare planimetrie costituite da più immagini fotografiche quando il soggetto non può essere ripreso in un unico fotogramma senza rischio di deformazioni ottiche. È il caso ad esempio della fotografia subacquea dove l'uso degli obiettivi grandangolari è soggetto a evidenti distorsioni. Il montaggio quindi, anche con l'uso del computer, di più immagini parzialmente sovrapponibili tra loro permette di costruire un fotomosaico⁸.

Le distorsioni dell'immagine comunque prodotte ne limitano l'uso a condizioni di emergenza. Può essere utilizzato anche su siti sommersi a condizione che la visibilità sia sufficiente.

3.3. La fotogrammetria

Il sistema fotogrammetrico, per la cui presentazione si rimanda a bibliografia specialistica⁹, è in assoluto il sistema maggiormente utilizzato nel campo dell'archeologia navale. La tecnica venne utilizzata per la prima volta sul sito di Skuldelev in Danimarca nel 1962¹⁰. Essa unisce gli enormi vantaggi della velocità di esecuzione sul campo



Fig. 6 - Profilometro o pettine utilizzato sul relitto di Cala Culip VI per rilevare le sezioni dello scafo (da PALOU *et al.* 1998).

e di precisione millimetrica (fig. 7). Da un rilievo fotogrammetrico si possono ricavare misurazioni nella terza dimensione utili anche per eseguire delle sezioni. Per contro, esso richiede competenze specializzate ed esperte non sempre disponibili specialmente quando si tratta di fotogrammetria subacquea. Questo fattore, sommato alla necessità di utilizzo di apparecchi fotografici metrici, per far fronte ai problemi di distorsione, e ai tempi molto lunghi per l'elaborazione a tavolino, ossia la restituzione fotogrammetrica, rende questa tecnica ancora piuttosto costosa e complessa.

In alcune situazioni, ad esempio per riprese ravvicinate, è possibile utilizzare apparecchi fotografici tradizionali con minima perdita qualitativa¹¹. La tempistica e le competenze necessarie nella restituzione a tavolino rimangono però simili.

Impiegando la fotogrammetria spesso si ha difficoltà nel riprendere tutte le superfici di interesse. Alcuni punti dello scafo infatti possono rimanere nascosti da qualche elemento costruttivo collocato tra soggetto e apparecchio. Nel caso di riprese aeree, alcune zone potrebbero risultare in ombra



Fig. 7 - Esecuzione di fotogrammetria sul relitto della galea di S. Marco in Boccalama (da AA.VV. 2002-2003).

o mascherate dall'effetto riflettente dell'acqua. Le pozze d'acqua, difficilmente asportabili dall'interno di uno scafo giacente in zona umida, creano infatti un effetto di specchiatura che nasconde completamente la superficie sottostante.

Troppo spesso poi si sottovaluta la necessità che il processo di restituzione sia effettuato da un tecnico esperto affiancato da un archeologo navale, ossia da un archeologo che conosce bene l'oggetto da rilevare. L'archeologo infatti ha il compito di indicare al tecnico dove tracciare le linee al di sopra del mosaico di foto ossia deve interpretare le immagini fotografiche.

3.4. Rilievo con stazione totale

La stazione totale può essere utilizzata solamente fuori dell'acqua. Essa permette di rilevare numerosi punti dello scafo con precisione millimetrica. Sta all'esperienza del tecnico e all'abilità del "canneggiatore" mantenere un ritmo sostenuto ed una buona precisione. Ovviamente, più punti vengono rilevati maggiormente preciso sarà il rilievo. È importante che i punti da rilevare siano segnalati e numerati dall'archeologo prima del rilievo. Vanno infatti evidenziati i contorni degli elementi strutturali e tutti i dettagli tecnici (chiodi, caviglie, graffiti ecc.).

Una volta stampata la maglia di punti, un abile disegnatore, coordinato dall'archeologo, dovrà integrare dettagliatamente, a mano libera, il rilievo¹².

Il rilievo manuale di dettaglio potrà poi essere acquisito con un software CAD per trasformarlo in rilievo tridimensionale.

La tecnica presenta tempi di esecuzione poco superiori alla fotogrammetria ma indubbi vantaggi. È più economica, non richiedendo una grande lavorazione a tavolino, e permette di ottenere un prodotto finito o semi-finito sul campo scongiurando quindi i, seppur minimi, rischi di insuccesso di una fotogrammetria o di una presa laser-scanner. Inoltre questa tecnica permette di cogliere dettagli nascosti alla vista dall'alto ossia difficilmente rilevabili per mezzo della fotogrammetria.

3.5. Scansione con laser-scanner

L'uso del laser scanner in archeologia navale non ha trovato ancora una sua collocazione chiara. Gli archeologi navali, per ora, ritengono possa essere utile solo per una documentazione



FIG. 8 - Visualizzazione del modello 3D, ottenuto con l'uso del Laser 3D scanner Vi-900 del DIAPREM della Facoltà di Architettura dell'Università di Ferrara (foto T. Lanave).

del sito di giacitura dello scafo, per scopi didattico-illustrativi oppure per rilevare modellini di studio¹³ mentre, erroneamente, vi è chi lo impone già come alternativa ad altri sistemi di rilievo.

Il laser scanner non ha certo problemi di precisione ma ha il limite di essere una sorta di fotografia, anche se tridimensionale, del manufatto. Come detto prima, viene a mancare la fase conoscitiva e interpretativa dello scafo. Quest'ultima, al limite, può essere rimandata alle operazioni di laboratorio: ossia teoricamente è possibile rilevare i dettagli costruttivi sulle prese acquisite sul campo.

Solo l'esperienza e un'adeguata sperimentazione potranno dire quali sono i vantaggi e i limiti di questa tecnica. Va comunque aggiunto che i tempi di elaborazione delle "prese" sono ancora estremamente lunghi e quindi ancora poco competitivi (fig. 8)¹⁴. Inoltre la tecnologia non è esportabile sott'acqua, richiede un'apparecchiatura molto costosa e tecnici specializzati. Infine, come per la fotogrammetria, fino a che i dati acquisiti non sono controllati in laboratorio, il successo dell'operazione non può essere garantito.

Tutto sommato però, se questa tecnica non può ancora essere considerata il presente della metodologia archeologica in ambito navale, è verosimile che essa possa rappresentare il suo futuro.

3.6. Rilievo con braccio misuratore dimensionale

In campo industriale, per misurazioni di precisione tridimensionali, viene oramai largamente impiegato un braccio snodato interfacciato con un software¹⁵.

Questi dispositivi permettono di rilevare per



FIG. 9 - Utilizzo del braccio misuratore Faro arm per rilevare un elemento di imbarcazione dal relitto "del Molo Sud" di Malamocco (Venezia) (foto dell'autore).

punti o per linee continue (raffiche di punti), con una precisione estrema (± 10 micron). I punti rilevati appaiono in tempo reale sulla schermata del computer dove, tramite apposito *software*, prende corpo il rilievo dell'oggetto. Con programmi quali *Rhinoceros* è possibile poi gestire i dati acquisiti ed elaborarli. Un solido, costituito da linee, di-

viene facilmente rivestibile con superfici colorate (*rendering*) mentre prese fotografiche possono permettere un rivestimento ancora più realistico.

Per motivi pratici, il braccio è normalmente impiegato per il rilievo di oggetti di dimensioni non molto superiori al raggio di azione, ossia dello sbraccio (vd. sotto), ma non è impossibile affrontare il rilevamento anche di grosse imbarcazioni (figg. 9, 10).

Anche in questo caso, tale tecnologia non è ancora utilizzabile sott'acqua.

3.7. *Rilievo speditivo*

Fino ad ora abbiamo considerato la necessità di documentare uno scafo dettagliatamente *in situ*. Questa metodologia è perfettamente comprensibile allorché non è previsto il recupero dello scafo o allorché esso debba essere mantenuto integro. Come vedremo sotto, però, è possibile che si presentino le condizioni per uno smontaggio dello scafo finalizzato al suo recupero. In questo caso, specialmente operando sott'acqua in condizioni di bassa visibilità, si è fatta spesso la scelta di eseguire una documentazione veloce, ossia limitata agli ingombri dei vari elementi del-

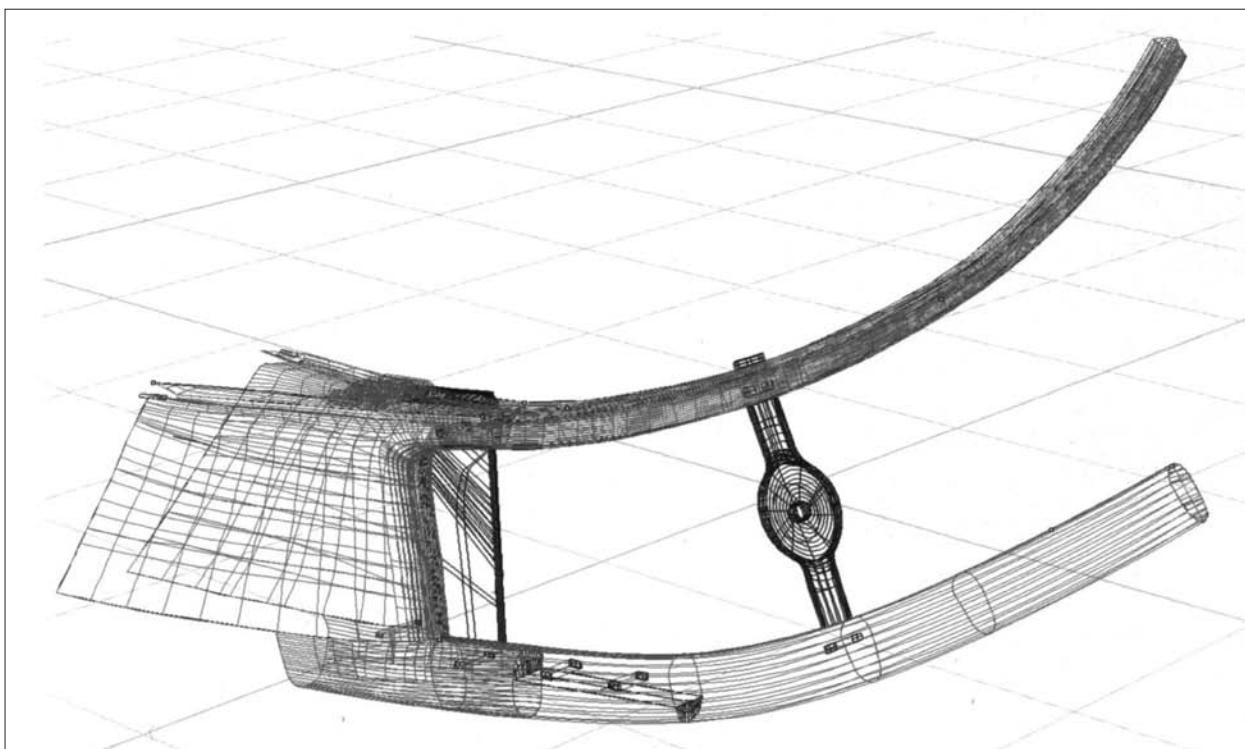


FIG. 10 - Risultato del rilievo 3D con il braccio misuratore della prua di un'imbarcazione (da *Maritime Archaeology Newsletter from Roskilde*, 20).

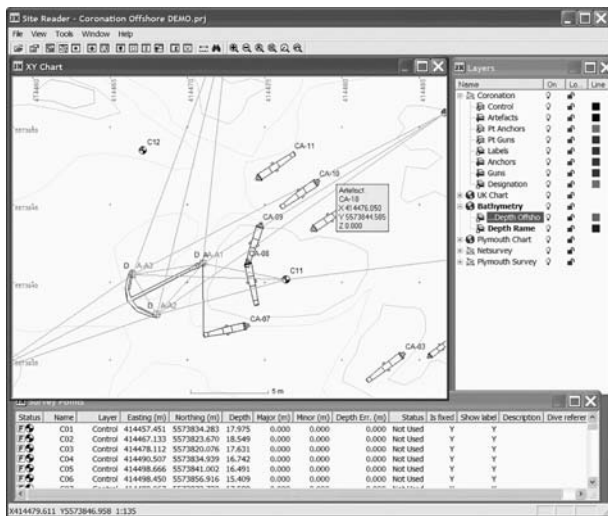


FIG. 11 - Schermata su video del software *Site Surveyor* (da <http://www.3hconsulting.com/ProductsRecorderMain.htm>).

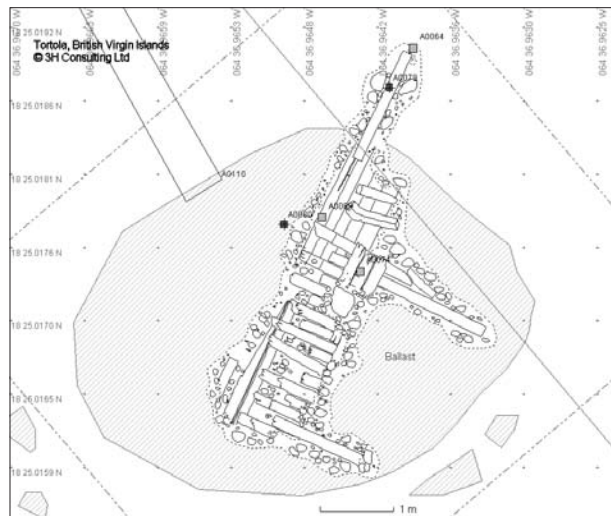


FIG. 12 - Esempio di rilevamento eseguito con il sistema DSM assieme a *Site Surveyor* (da <http://www.3hconsulting.com/ProductsRecorderMain.htm>).

lo scafo, rimandando la caratterizzazione di dettaglio a rilievi di laboratorio.

In questo caso si possono utilizzare tecniche di rilevamento adatte allo scopo, tecniche che permettano un rilievo veloce, ma nello stesso tempo preciso, di pochi punti.

Una di queste è la semplice trilaterazione, ma più interessanti, anche perché in grado di fornire la terza dimensione, sono il DSM utilizzato da solo o in combinazione con il software *Photomodeler*.

3.7.1. Il rilievo con DSM

Il DSM (*Direct Survey Method*) ha trovato larghissima applicazione in siti subacquei specialmente in ambito anglosassone¹⁶. Si tratta di una sorta di trilaterazione complessa, ossia di un sistema di rilevamento che fa uso di bindelle metriche fissate ad almeno quattro capisaldi, parte di una maglia di altri capisaldi, e di profondità elettronici da polso. Le misurazioni e le quotature digitali sono acquisite da un software dedicato, chiamato *Site Surveyor*, che permette, in tempo reale, la verifica immediata degli errori e la grafizzazione dei punti (fig. 11).

Il sistema DSM permette di rilevare gli ingombri dei vari elementi dello scafo su cui potranno in seguito essere inseriti i rilievi di dettaglio pro-

dotti in laboratorio. Il sistema è veloce e può essere utilizzato anche in condizioni di bassissima visibilità (fig. 12).

3.7.2. Il rilievo per fototriangolazione

Risultati simili si possono ottenere con il sistema della fototriangolazione. Costituita, anche in questo caso, una maglia di capisaldi con il sistema DSM, ogni punto dello scafo da rilevare deve essere evidenziato con dei bersagli. A condizione che la visibilità lo consenta, saranno eseguiti una serie di scatti fotografici con macchina digitale in grado di riprendere sia il punto da rilevare sia alcuni capisaldi. Le immagini sono acquisite con il software *Photomodeler* con il quale si possono misurare, su video, le distanze tra capisaldi e punti (www.photomodeler.com)¹⁷.

Questo sistema presenta l'enorme vantaggio di essere di veloce utilizzo anche sott'acqua permettendo di rimandare il lavoro a tavolino e di ottenere delle misure abbastanza precise. Gli svantaggi consistono in frequenti problemi di visibilità tra capisaldi e punti da rilevare e, ovviamente, nella necessità di una buona trasparenza dell'acqua, condizione non sempre disponibile.

Ai rilevamenti della posizione *in situ* dei vari elementi strutturali dello scafo, eseguiti per mezzo dei due sistemi tridimensionali sopra esposti,

in un secondo momento, si potrà agganciare ogni singolo rilievo tridimensionale di dettaglio. In questa maniera sarà possibile ottenere delle immagini tridimensionali dello scafo *in situ* (vedi sotto).

3.8. Documentazione fotografica

La documentazione fotografica dello scafo *in situ* non è mai troppa. Devono essere eseguite fotografie di insieme e di dettaglio da varie angolazioni. È importante che anche questa operazione sia eseguita dall'archeologo navale anche a costo di sacrificare la qualità dell'immagine. Al professionista sarà più opportuno delegare l'esecuzione di immagini brillanti da pubblicazione piuttosto che immagini da documentazione¹⁸.

Ovviamente è utile far comparire in buona parte delle fotografie un riferimento metrico, la freccia del nord ed una sigla per riconoscere il soggetto.

Specialmente nelle operazioni subacquee, è utile l'esecuzione di qualche ripresa con la telecamera in grado di fornire una visione di insieme e di scorgere anche dei dettagli.

3.9. Smontaggio o recupero integrale?

Prima di affrontare la metodologia e le tecniche di documentazione dei singoli elementi di scafo, vediamo quali condizioni possono far scegliere lo smontaggio piuttosto che il recupero integrale.

Dando per scontato che il recupero di uno scafo avvenga nella piena consapevolezza delle problematiche, anche legate alla tempistica, e degli altissimi costi a cui si va incontro, specialmente per il restauro, e che, per rispetto della convenzione Unesco, sia stato redatto un progetto e che questo sia già completamente finanziato e, infine, che sia disponibile una sede idonea in cui esporre il relitto una volta consolidato, generalmente si prospettano due soluzioni: il recupero per smontaggio o il recupero integrale in un'unica soluzione.

Nei limiti del possibile sarà sempre auspicabile un recupero per smontaggio sia che si tratti di uno scavo su terra sia che si tratti di uno scavo subacqueo. I vantaggi del recupero per smontaggio sono:

- costi ridotti;
- rischi di insuccesso contenuti¹⁹;
- miglioramento dei risultati e riduzione dei tempi del processo conservativo specialmente nel caso dell'utilizzo del sistema di impregnazione con PEG e liofilizzazione o solo PEG;

- maggiori opportunità di documentazione in quanto i singoli pezzi possono essere manipolati, osservati e documentati agevolmente.

Non sempre il recupero per smontaggio è possibile o consigliabile. I casi più emblematici sono i relitti del *Vasa* e del *Mary Rose*, ma abbiamo esempi di imbarcazioni più piccole quali la barca C di Pisa San Rossore, in condizioni talmente ottimali – o come consistenza del legno e/o come superficie conservata – da sconsigliarne uno smontaggio. Anzi, nei primi due casi, data anche la presenza di collegamenti metallici ancora efficienti, uno smontaggio sarebbe stato impossibile e, al contrario, un recupero integrale sarebbe stato relativamente privo di rischi. I collegamenti metallici (chiodi, chavarde, perni) in buone condizioni, specialmente quando sono in lega di rame, presenti spesso sulle navi tardo-medievali e moderne, in linea di massima rendono lo smontaggio impraticabile. Ma questo problema può porsi anche nel caso di imbarcazioni assemblate tramite altri sistemi quali cuciture ancora ben conservate: il taglio delle cimette comporterebbe infatti un sacrificio discutibile e grosse difficoltà nel rimontaggio di cui ha fatto le spese la nave romana di Valle Ponti a Comacchio²⁰.

Si possono anche verificare condizioni che suggeriscono un intervento di compromesso quale uno smontaggio parziale. In questo caso è possibile salvaguardare parti dello scafo inscindibili.

3.10. Documentazione di dettaglio dei singoli elementi

Una volta optato per lo smontaggio si deve procedere a documentare dettagliatamente i vari elementi. Questa operazione deve sempre e comunque avvenire prima dell'intervento di restauro per i seguenti motivi²¹:

- anche il più riuscito tra gli interventi di restauro comporta delle seppur minime alterazioni al legno in grado di comprometterne l'aspetto (ad esempio, si possono verificare modificazioni del colore, degrado degli spalmi, scomparsa di tracce di pittura), le dimensioni (restringimenti) e la forma (svergolature, perdita della curvatura);
- i rilievi permettono di monitorare il processo di restauro e di verificarne il risultato finale con la semplice sovrapposizione dei grafici sul manufatto;
- l'acquisizione della documentazione prima

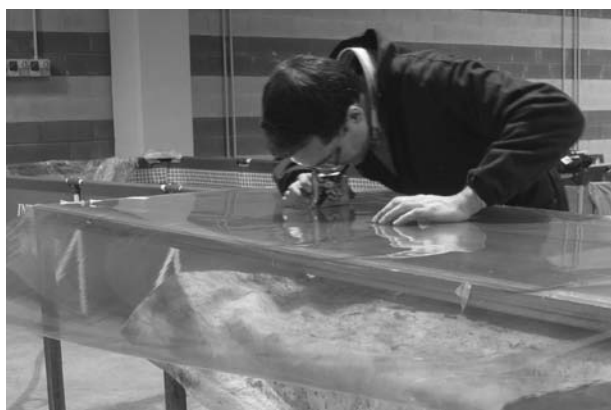


FIG. 13 - Operazioni di rilevamento in scala 1:1 con lastra di plexiglass su telaio (foto dell'autore).

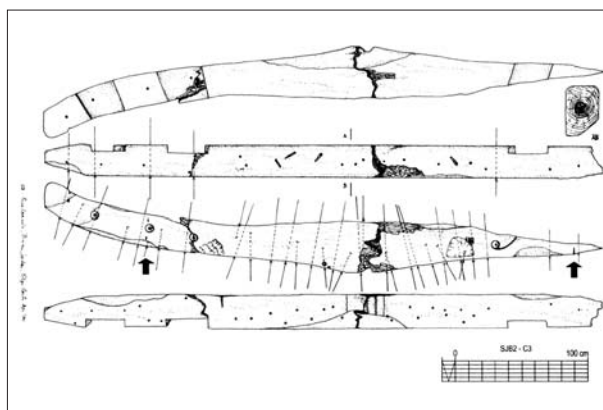


FIG. 14 - Rilievo di tutte le facce di un madiere del *Pepper Wreck* (da CASTRO 2005).

del processo di restauro, che può durare anche molti anni, permette di procedere, parallelamente, con lo studio e la pubblicazione scientifica;

- l'acquisizione della documentazione prima del processo di restauro offre la possibilità di procedere anche con lo studio ricostruttivo così da poter avviare il rimontaggio dello scafo non appena terminato il processo di consolidamento.

Il rilievo grafico può essere eseguito per copiatura, ossia in scala 1:1, o per riduzione di scala con o senza l'aiuto di sistemi quali telaietti o pantografi. Al fine di ottenere una documentazione grafica più fedele possibile, nel rilevamento manuale, è divenuta prassi eseguire rilievi in scala 1:1 su fogli di plastica trasparente.

Di recente, su questa tecnica, si sta imponendo sempre più il braccio misuratore dimensionale portatile che ha rivoluzionato il campo del rilievo (vd. sopra). Il primo utilizzo si è avuto sul relitto della cocca di Kolding, presso il Center of Maritime Archaeology di Roskilde ad opera di F. Hocker, quindi sulla nave *Vasa*, ad opera dello stesso ricercatore, ed ora sul relitto quattrocentesco di Newport in Inghilterra (www.thenewportship.com).

3.11. Rilievo in scala 1:1

Si tratta di eseguire delle proiezioni delle varie facce del manufatto copiandolo su un foglio di plastica indelebile, perfettamente trasparente e indeformabile²². Si posiziona il manufatto al di sotto di una lastra di plexiglass o vetro paralle-

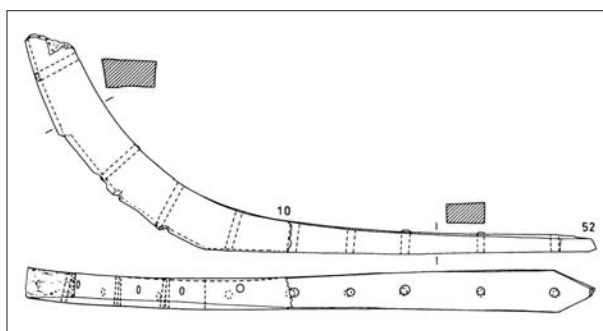


FIG. 15 - Rilievo delle facce essenziali di un relitto costruito con la tecnica a clinker (da CRUMLIN-PEDERSEN 1997).

la al piano di appoggio del reperto. Sulla lastra si assicura un foglio di plastica su cui, traguardando, si disegnano i contorni e tutti i dettagli interessanti. Per garantire la zenitalità e facilitare il traguardo si utilizza un pennino laser che accompagna la punta del pennarello impiegato per il disegno (fig. 13).

Di ogni pezzo vanno rilevate le facce ed alcune sezioni (fig. 14). Queste ultime possono essere ottenute con l'aiuto di un filo di stagno.

Per ragioni di costi e tempi, si può però anche optare per il rilievo di sole due facce e di alcune sezioni (fig. 15). Nella scelta avrà il suo peso la possibilità o meno di riassembleare i pezzi ossia se lo scopo del rilievo è solo la documentazione e lo studio oppure se vi è la necessità di raccogliere tutti gli elementi utili per un tentativo di ricomposizione.

Nel rilievo vanno evidenziati tutti i dettagli qua-

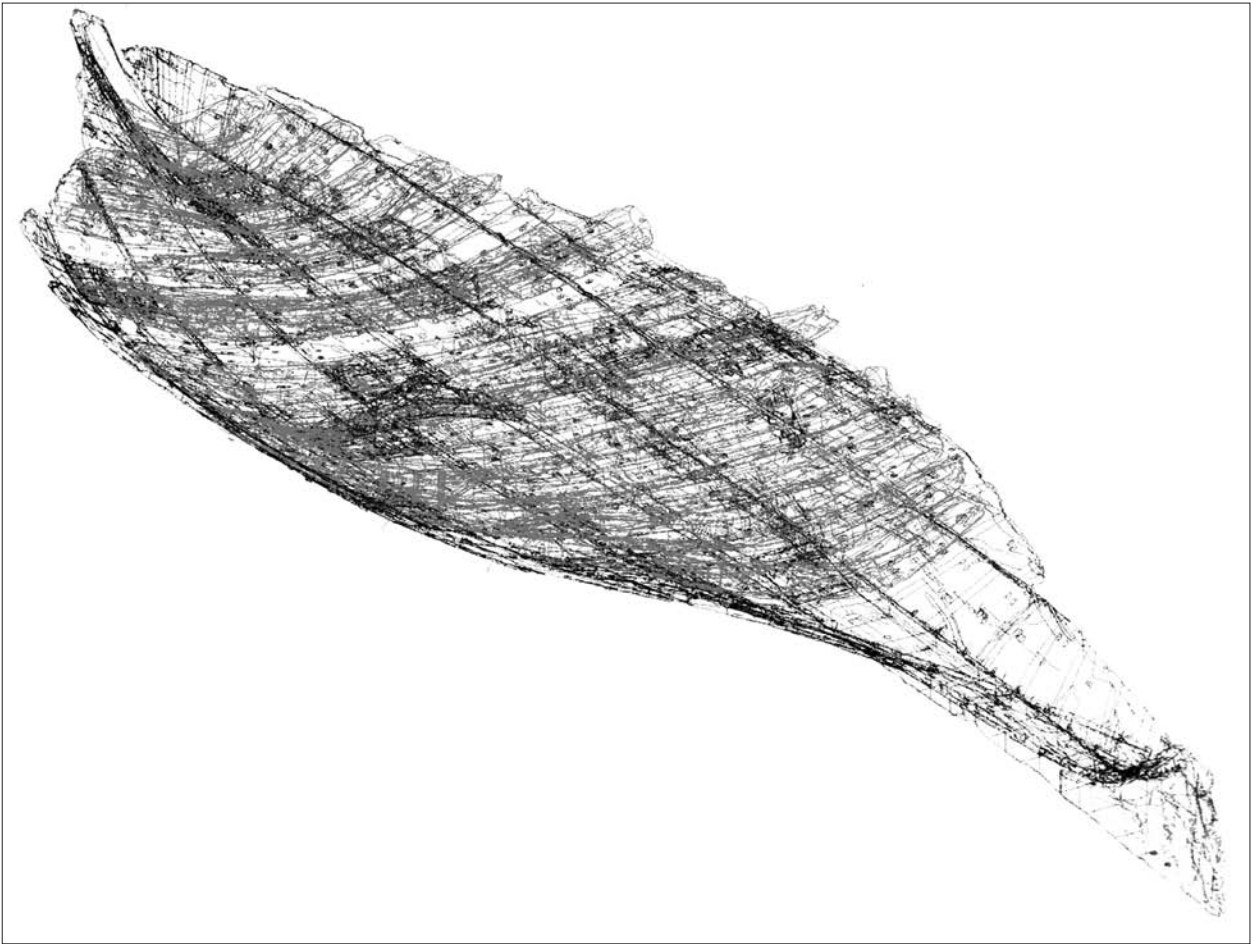


FIG. 17 – Restituzione 3D del relitto della cocca di Kolding attraverso l'assemblaggio dei singoli rilevamenti eseguiti con il braccio misuratore (da *Maritime Archaeology Newsletter from Roskilde*, 20).

6. Conclusioni

Come accennato sopra, la documentazione dei singoli elementi può permettere o di ricomporre lo scafo smontato durante il recupero o di tentare una ricostruzione da elementi rinvenuti *in situ* sconnessi. Il metodo, noto come *ship reconstruction*, si concretizza attraverso il sistema della costruzione di modelli reali o di modelli virtuali (ossia della grafica 3D). Queste ricostruzioni possono riguardare lo scafo com'è stato trovato *in situ* (vedi sopra) oppure lo scafo nella sua forma originaria. La *ship reconstruction* però è una vera e propria branca della disciplina che esula dagli scopi di questo contributo e per il cui approfondimento rimandiamo a letteratura specialistica²⁴.

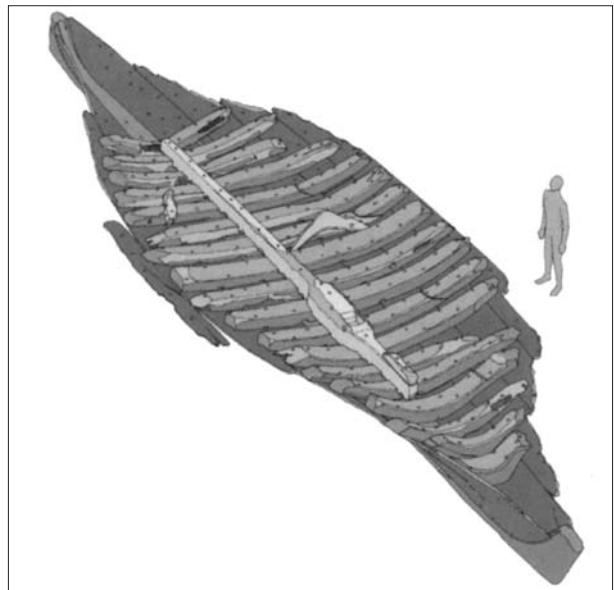


FIG. 18 - Rendering 3D del relitto della cocca di Kolding attraverso l'assemblaggio dei singoli rilevamenti eseguiti con il braccio misuratore (da *Maritime Archaeology Newsletter from Roskilde*, 19).

NOTE

- 1 Il caso più noto è il grande cantiere della navi di Pisa S. Rossore dove non sono mancate le critiche per l'assenza di archeologi navali (vd. per esempio BOETTO, GIANFROTTA 1999). Ma situazioni di inadeguatezza si sono verificate, anche di recente, pure in altri cantieri meno esposti ai "riflettori" dei mass media.
- 2 Vd. anche POMEY, RIETH 2005, pp. 125-127.
- 3 POMEY, RIETH 2005, p. 99.
- 4 Per fare un esempio, il relitto romano I di Fiumicino è stato letto da M. Bonino (BONINO 1989, pp. 42-45) esattamente a rovescio di come poi è stato interpretato, con argomenti convincenti, da G. Boetto (BOETTO 2003). Sulla prima interpretazione, l'autore ha poi formulato delle proposte ricostruttive, a questo punto del tutto invalidate.
- 5 Su questo argomento vd. STEFFY 1994, pp. 194-198 e POMEY, RIETH 2005, pp. 99-102.
- 6 Sul loro uso vd. BREITSTEIN 2003, p. 116.
- 7 Rimandiamo a LIPKE 1993, ottimo manuale di riferimenti per ulteriori approfondimenti pratici.
- 8 Per approfondimenti tecnici vd. l'esautivo GREEN 2004, pp. 168-183.
- 9 GREEN 2004, pp. 183-187 e bibliografia citata.
- 10 CRUMLIN-PEDERSEN 2002, pp. 51-52.
- 11 Questo sistema viene utilizzato da chi scrive nel progetto di indagine del relitto del *Mercure*.
- 12 Esempio di utilizzo improprio di questa tecnica sono i rilievi delle navi di Pisa eseguiti sul campo dove tecnici, non guidati da esperti di navi, hanno tracciato linee non sempre significative e omesso dettagli importanti.
- 13 Vd. INDRUSZEWSKI *et al.* 2004.
- 14 LANAVE 2006.
- 15 Il più noto è il Faro Arm della ditta Faro di Lake Mary (Florida-USA).
- 16 GREEN 2004, pp. 121-131.
- 17 GREEN 2004, pp. 187-194.
- 18 GREEN 2004, pp. 217-233.
- 19 Quale quello del recupero del relitto romano di Grado (vd. ARATA 1999).
- 20 Si leggano le ammissioni di colpa in *Fortuna Maris* 1990, p. 27.
- 21 BELTRAME, GADDI 2000.
- 22 Su questo argomento vd. STEFFY 1994, pp. 200-203. La prima applicazione risale agli anni '60 quando la tecnica venne impiegata per il rilievo dei relitti di Skuldelev in Danimarca (CRUMLIN-PEDERSEN 2002 pp. 53-55).
- 23 Per un approfondimento vd. STEFFY 1994, pp. 205-213 e BELTRAME, GADDI 2000.
- 24 Vd. STEFFY 1994, pp. 214-234, POMEY, RIETH 2005, pp. 142-149. Ringrazio gli amici e colleghi Dario Gaddi e Stefano Medas per alcuni preziosi suggerimenti.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. 2002-2003, *La galea ritrovata. Origine delle cose di Venezia*, Venezia.
- ARATA F.P. 1999, *Naufragi antichi, naufragi moderni*, in *L'Archeologo subacqueo*, 15, pp. 1-2.
- BELTRAME C., GADDI D. 2000, *Italia Felix. Documentazione e analisi degli elementi strutturali dello scafo della nave romana di Grado (GO)*, in *Archeologia delle acque*, 4, pp. 99-102.
- BOETTO G. 2003, *The Late-Roman Fiumicino 1 Wreck: Reconstructing the Hull*, in *Boats, Ships and Shipyards. Proceedings of the Ninth International Symposium on Boat and Ship Archaeology (Venice 2000)*, a cura di C. Beltrame, Oxford, pp. 66-70.
- BOETTO G., GIANFROTTA P.A. 1999, *Archeologia navale miliardaria*, in *L'Archeologo subacqueo*, 15, pp. 2-3.
- BONINO M. 1989, *Notes on the Architecture of some Roman Ships: Nemi and Fiumicino*, in *Tropis I. 1st International Symposium on Ship Construction in Antiquity. Proceedings (Pireo 1985)*, a cura di H. Tzalas, Atene, pp. 37-53.
- BREITSTEIN S. 2003, *Logistic and operational aspects of the excavation*, in *The Ma'agan Mikhael Ship. The Recovery of a 2400-Year-Old Merchantman, Final Report*, Vol. 1, a cura di E. Black, Haifa, pp. 8-23.
- CASTRO F.V. 2005, *The Pepper Wreck: a Portuguese Indiaman at the mouth of the Tag river*, College Station.
- CRUMLIN-PEDERSEN O. 1997, *Viking-Age Ships and Shipbuilding in Hedeby/Haithabu and Schleswig*, Schleswig-Roskilde.
- CRUMLIN-PEDERSEN O. 2002, *Documentation, analyses and dating*, in *The Skuldelev Ships I*, pp. 49-68.
- Fortuna Maris* 1990 = *Fortuna Maris. La nave romana di Comacchio*, a cura di F. Berti, Bologna.
- GREEN J. 2004, *Maritime Archaeology. A technical Handbook. Second Edition*, Londra.
- INDRUSZEWSKI G., FARIN G., RAZDAN A., SIMON A., VAN ALFEN D., ROWE J. 2004, *Application of 3D Modeling in Ship Reconstruction and Analysis: Tools and Techniques*, in *Enter the Past. The E-way into the four Dimensions of Cultural Heritage. CAA 2003, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceeding of the 31st conference (Vienna, april 2003)* (BAR Int. Ser., 1227), Oxford, pp. 263-266.
- LANAVE T. 2006, *Sperimentazione del rilievo con laser 3D scanner su un reperto archeologico*, in *L'Archeologo subacqueo*, 34-35, pp. 17-18.
- LIPKE P. 1993, *Boats: A Field Manual for Their Documentation*, Nashville.
- PALOU H. *et al.* 1998, *Excavacions arqueològiques subaquàtiques a Cala Culip. 2. Culip VI*, Girona.
- POMEY P., RIETH E. 2005, *L'archéologie navale*, Parigi.
- STEFFY R. 1994, *Wooden Ship Building and the Interpretation of Shipwrecks*, College Station.
- The Skuldelev Ships I* 2002 = *The Skuldelev Ships I*, a cura di O. Crumlin-Pedersen, O. Olsen, Roskilde.

Addendum

Negli anni trascorsi dalla stesura di questo scritto, la metodologia in archeologia navale non è cambiata molto mentre sono certamente cambiate alcune tecniche. Oltre ad essersi imposto definitivamente l'uso del Faro Arm per il rilevamento di elementi di scafo, specialmente in laboratorio¹, sono apparsi sul mercato software per la creazione di modelli 3D, attraverso una fotogrammetria digitale automatica (*multi-image photogrammetry*), quali *Agisoft Photo Scan*. Sfruttando la tecnologia *Structure from Motion (SfM)*, queste applicazioni, peraltro molto economiche, permettono di ottenere dei modelli 3D di altissima precisione metrica e molto realistici. La fotogrammetria convenzionale

quindi è stata sostituita dalla fotogrammetria digitale ottenuta con semplici macchine digitali e senza strutture di appoggio per l'esecuzione di strisciate fotografiche a distanze fisse.

La tecnica prevede che lo scafo venga documentato per mezzo di una copertura fotografica intensiva sia dall'alto (nadirale) sia laterale (radiale) con una sovrapposizione dei fotogrammi di almeno il 60% e delle strisciate del 20%. La "processazione" ad opera del software delle immagini produrrà una nuvola di punti che, trasformata in poligoni (*mesh*), potrà essere rivestita, sempre automaticamente, con le immagini (*texture*) colorate (fig. 19).

Questa tecnica ha il vantaggio di essere eco-



FIG. 19 - Modello fotogrammetrico del relitto del 5° secolo di S. Maria in Padovetere (elaborazione di E. Costa).

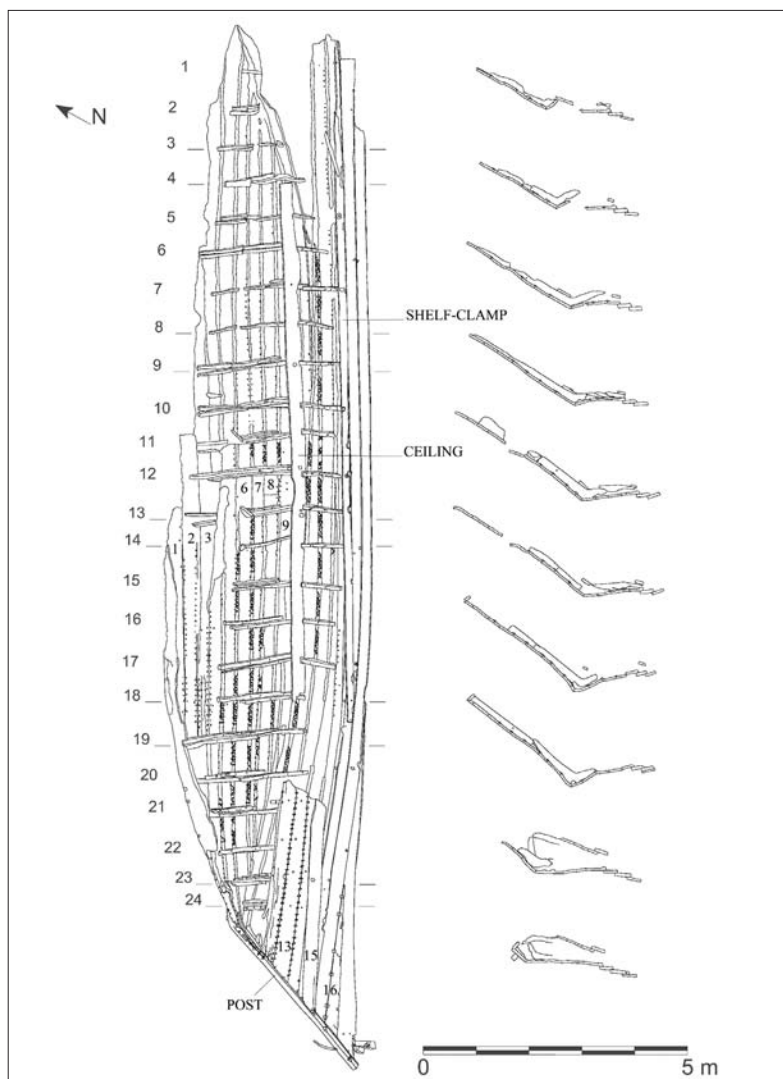


FIG. 20 - Pianta e sezioni trasversali del relitto del 5° secolo di S. Maria in Padovetere ricavate dal modello fotogrammetrico (elaborazione di E. Costa).

nomica, veloce e precisa. Le caratteristiche della velocità e semplicità possono d'altronde risultare molto utili in condizioni di emergenza quale quelle che spesso si verificano in occasione di rinvenimenti di scafi antichi, manufatti che male sopportano condizioni di stress, ossia di esposizione che ne provocano la rapida disidratazione (BELTRAME, COSTA, 2016; COSTA, BALLETTI, BELTRAME, GUERRA E VERNIER, 2016). Il modello ottenuto potrà quindi essere "interpretato" disegnando, in ambiente CAD, i contorni degli elementi strutturali per produrre un'immagine 3D caratterizzata e definita da linee continue (fig. 20).

La fotogrammetria automatica dovrà essere adeguatamente accompagnata dal rilevamento di alcune mire o punti noti all'interno dello scafo per mezzo di una stazione totale o, sott'acqua, di un rilevamento DSM. Queste misurazioni permetteranno infatti di scalare e di orientare correttamente il modello nonché di verificare eventuali deformazioni.

L'uso della fotogrammetria automatica sta dimostrando la sua affidabilità ed efficacia sia all'asciutto sia sott'acqua perlomeno dove le condizioni di visibilità lo permettono.

NOTE

1 In Italia la prima esperienza l'ha avuta l'autore in occasione del rilevamento degli elementi di scafo del relitto "del

Molo Sud" di Malamocco, recuperato in occasione dei lavori per la costruzione del MOSE.

BIBLIOGRAFIA

BELTRAME C., COSTA E. 2016, *A 5th-Century – AD Sewn Plank River Barge at St Maria in Padovetere (Comacchio-FE), Italy: an interim report*, *The International Journal of Nautical Archaeology*, 45.2, pp. 253-266.

COSTA E., BALLETTI, BELTRAME C., GUERRA F., VERNIER P. 2016, *Digital Survey Techniques for the Documentation of Wooden Shipwrecks in International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5, pp. 237-242