Museologia Scientifica e Naturalistica

Volume 21 (2025)

ARCHEOLOGIA FORENSE SUBACQUEA
Principi, Metodi, Contesti



Giovanna Bucci

Annali dell'Università degli Studi di Ferrara
ISSN 1824-2707

ANNALI DELL'UNIVERSITÀ DI FERRARA

MUSEOLOGIA SCIENTIFICA E NATURALISTICA

Volume 21 (2025)
ISSN 1824-2707

ARCHEOLOGIA FORENSE SUBACQUEA

Principi, metodi, contesti

GIOVANNA BUCCI

Università degli Studi di Ferrara

Annali dell'Università degli Studi di Ferrara
Autorizzazione del Tribunale di Ferrara n. 36/21.5.53

Bucci G.
Archeologia forense subacquea. Principi, metodi, contesti.
Volume 21 (2025), pp. 150.
DOI: https://doi.org/10.15160/1824-2707/21/1
ISBN 9788896463444

In copertina: Ravenna, relitto di bombardiere B-17, sezione frontale del comparto piloti (Immagine su concessione del Ministero della Cultura – Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Ravenna, Forlì-Cesena, Rimini)

ISSN 1824-2707
Copyright © 2025 by
Università degli Studi di Ferrara

Testo di:
Giovanna Bucci
Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Prevenzione, Università di Ferrara

Documentazione grafica:
Giovanna Bucci

Fotografie:

Parte prima
Project Recover USA - https://www.projectrecover.org/ e bibliografia

Caso di studio Comacchio, bombardiere B-24:
Concessione: MIC|MIC_SABAP-BO|30/08/2021|0020674-P - Comacchio (FE) - Istanza per rilascio di concessione per esecuzione di indagini non invasive dedicate a ricerche archeologiche forensi relative a incidente aereo occorso a velivolo americano nel 1943 presso Baro Zavelea, Comacchio (FE). Richiedente: Embassy of the United States of America, Defense Attaché Office, Rome. Direttore della ricerca: Derek Abbey. Direttore scientifico: Giovanna Bucci. Autorizzazione ai sensi degli artt. 88 e 89 del D. Lgs.42/2004#39558191# (immagini scattate da Giovanna Bucci).

Caso di studio Ravenna, bombardiere B-17:
Immagini su concessione del Ministero della Cultura – Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Ravenna, Forlì-Cesena, Rimini MIC|MIC_SABAP-RA_UO2|10/02/25|002278-P (Immagini scattate da Giovanna Bucci e 1° Nucleo Subacqueo della Guardia Costiera di San Benedetto del Tronto).

Progetto editoriale:
Giovanna Bucci, Ursula Thun Hohenstein

Progetto grafico:
Giovanna Bucci

Direttore Responsabile Prof.ssa Laura Ramaciotti, Rettrice dell'Università degli Studi di Ferrara, Aut. Trib. Ferrara 36/21.5.53.

Comitato di Redazione della Sezione Museologia Scientifica e Naturalistica:
Prof.ssa Ursula Thun Hohenstein, Dipartimento di Studi Umanistici, Responsabile
Prof. Marco Peresani, Dipartimento di Studi Umanistici
Dott.ssa Elena Marrocchino, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Prevenzione

Gli Annali dell'Università di Ferrara Sezione Museologia Scientifica e Naturalistica (http://annali.unife.it/museologia) vengono inviati in cambio di riviste scientifiche italiane e straniere; tali riviste sono cedute alla Biblioteca del Sistema Museale ed Archivistico d'Ateneo (S.M.A.) dell'Università di Ferrara.

Ogni comunicazione relativa alla stampa deve essere inviata a:
Ornella De Curtis, Redazione degli Annali, Sezione Museologia Scientifica e Naturalistica, c/o Biblioteca del Sistema Museale ed Archivistico d'Ateneo, Corso Ercole I d'Este 32,
I-44 121 Ferrara, Italia.

INDICE

Presentazione III

Introduzione V

PARTE I 1

I.1 ARCHEOLOGIA FORENSE SUBACQUEA 3

I.2 METODOLOGIA 6

I.2.1 Principio di tracciabilità e prova **6**

I.2.2 Classificazione dei giacimenti **8**

I.2.3 Fattori deposizionali e post-deposizionali **12**

I.2.4 Esame delle dinamiche fisiche, strutturali e ambientali nell'affondamento di navi e aerei **12**

I.2.5 Pianificazione delle attività e organizzazione della squadra **17**

I.2.6 Scheda di immersione archeologica forense **19**

I.2.7 Indagine subacquea, *remote sensing* **25**

Localizzazione dell'area di indagine e strumenti **26**

Magnetometro 26

Sonar 26

Multibeam 28

Side-Scan Sonar 28

Sub-Bottom Profiler 28

AUV - Autonomous Underwater Vehicle 30

ROV - Remotely Operated Vehicle 31

I.2.8 Rilievo diretto e documentazione manuale **32**

I.3 Scavo **35**

I.3.1 - I limiti verticali e orizzontali dello scavo: precisazioni metodologiche 36

I.4 *Wet Screening* e conservazione **37**

I.4.1 Materiali e conservazione **37**

I.4.2 Linee guida per la raccolta delle evidenze biologiche per l'imballaggio e il trasporto delle prove **38**

I.5 Catena di custodia e materiali da consegnare **40**

PARTE II 43
CASI DI STUDIO 43
Introduzione ai casi di studio 45

II.I CASO DI STUDIO 1. BARO ZAVELEA, COMACCHIO (FE). B-24 47
II.I.1 La prima campagna 49
II.I.2 L'area di indagine 49
II.1.3 Contesto geo-ambientale 51
II.I.4 Metodologia d'indagine 54
II.I.5 Risultati delle ricerche 57
II.I.6 La seconda campagna: survey topografico 2022 65
II.I.7 Elenco reperti notevoli da ricognizione 71
II.I.8 Approfondimento sui rinvenimenti archeologici 79
II.I.9 Schede dei reperti archeologici 84

II.II CASO DI STUDIO 2. RAVENNA. B-17 87
II.II.1 La prima campagna 89
II.II.2 Contesto geo-ambientale subacqueo 91
II.II.3 Strumenti e metodologia per la prima campagna 92
II.II.4 Descrizione del relitto 93
II.II.5 Comparazioni strutturali e osservazioni 110
II.II.6 La seconda campagna 113
II.II.7 Metodologia e strumenti per la seconda campagna 113
II.II.8 Fasi operative dell'intervento subacqueo 114
II.II.9 Dettagli descrittivi dello stato del velivolo 123
II.II.10 SCHEDE DELLE PROVE 129

BIBLIOGRAFIA 134
ABBREVIAZIONI 149

Presentazione

Archeologia Forense Subacquea – Principi, Metodi, Contesti *è uno strumento metodologico e concettuale per affrontare indagini in ambiente sommerso, elaborato come ausilio allo studio per gli allievi del Master di II livello in Scienze Geo-Archeo-Antropologiche Forensi dell'Università di Ferrara.*

L'ambito subacqueo presenta specifiche complessità operative legate alle condizioni fisiche (visibilità, correnti, profondità), ai processi di conservazione e trasformazione dei reperti biologici e materiali. Un manuale strutturato che consente di acquisire le competenze necessarie per condurre indagini forensi con rigore scientifico, integrando conoscenze a più livelli.

Il volume delinea gli elementi fondamentali della ricerca forense, con particolare attenzione a tre aree chiave:

- *Metodologia e tecnica per la topografia subacquea, funzionali alla corretta localizzazione, mappatura e contestualizzazione spaziale delle evidenze, garantendo precisione nella ricostruzione dei siti e nella correlazione tra i reperti.*
- *Documentazione e registrazione dei dati rispettando standard internazionali di accuratezza e riproducibilità. Fotografia subacquea, videoripresa e tecniche di rilievo digitale assumono un valore primario per conservare evidenze e memoria del contesto originario.*
- *Conservazione e gestione delle prove forensi, quindi recupero e corretta trasmissione dei reperti per successive analisi preservando integrità fisica e informativa.*

Questo sublime lavoro produce un repertorio tecnico per formare futuri specialisti capaci di muoversi in un campo interdisciplinare complesso, dove la prova forense non è soltanto un oggetto materiale, ma un elemento inserito in una catena di conoscenze, procedure e responsabilità etiche.

Barbara Bramanti
Direttrice del Master di 2 Livello in Scienze geo-archeo-antropologiche forensi
Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Prevenzione
Università degli Studi di Ferrara

Introduzione

Il volume presenta una trattazione sistematica dell'archeologia forense subacquea, disciplina che integra archeologia, scienze forensi, oceanografia e tecnologie remote sensing con l'obiettivo di individuare, documentare e interpretare contesti sommersi di rilevanza giudiziaria. L'opera si configura come uno strumento metodologico e operativo per coloro che si impegnano in indagini subacquee a fini probatori.

Il lavoro parte dalla definizione del campo di applicazione della disciplina, evidenziandone le differenze rispetto all'archeologia subacquea tradizionale e sottolineando il ruolo centrale della validità forense del dato, della riproducibilità delle procedure e del rispetto delle norme giuridiche, inquadrando l'archeologia forense subacquea come ambito specialistico volto allo studio di giacimenti sommersi recenti, con particolare attenzione ai relitti, spesso connessi a eventi traumatici (naufragi, incidenti di guerra), nei quali i reperti assumono valore di prova. Evidenziando l'importanza del contesto deposizionale e della corretta interpretazione spaziale dei materiali, vengono illustrati il principio di tracciabilità e di prova, fondamentali per garantire l'integrità scientifica e giuridica delle evidenze, corredati da una classificazione dei giacimenti subacquei forensi con analisi dei fattori deposizionali e post-deposizionali.

Particolare attenzione è riservata allo studio delle dinamiche fisiche, strutturali e ambientali coinvolte nell'affondamento di navi e aeromobili, distinguendo le diverse modalità e valutandone le implicazioni interpretative. Sono incluse indicazioni sulla pianificazione delle attività, sull'organizzazione della squadra e sulla gestione operativa delle immersioni archeologiche forensi con relative schede di immersione. Viene affrontata l'indagine subacquea dal punto di vista tecnico-operativo con la descrizione dei metodi di localizzazione dell'area di indagine e degli strumenti per il remote sensing, trattando anche il rilievo diretto, la documentazione manuale e le procedure di scavo subacqueo, con particolare riferimento alla definizione dei limiti dello scavo in funzione delle esigenze forensi.

Sono illustrate le tecniche di wet-screening, i criteri per la selezione dei materiali da conservare e le linee guida per la raccolta delle evidenze biologiche, includendo procedure di imballaggio, conservazione e trasporto delle prove, finalizzate a prevenire contaminazioni e alterazioni, mettendo in evidenza il ruolo fondamentale della catena di custodia e ribadendo l'importanza della documentazione continua e della responsabilità legale nella gestione delle evidenze.

La bibliografia fornisce un quadro aggiornato delle principali fonti scientifiche e tecniche di riferimento, consolidando il manuale come strumento per la formazione e la pratica dell'archeologia forense subacquea.

Sono stati inseriti due casi di studio coordinati dall'Autore: uno in ambiente lagunare in regime di concessione per indagini non invasive nell'area di competenza della Soprintendenza Archeologia belle arti e paesaggio per le province di Modena, Reggio Emilia e Ferrara, l'altro in contesto marino nell'ambito delle istruttorie della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini in raccordo con la Soprintendenza Nazionale per il patrimonio culturale subacqueo.

PARTE I

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

I.1 ARCHEOLOGIA FORENSE SUBACQUEA

L'archeologia forense subacquea è una disciplina che si concentra su recupero e documentazione di prove in luoghi di incidenti o scene del crimine, applicando metodi e tecniche propri della ricerca archeologica subacquea quali documentazione del sito, mappatura e scavo, per indagini legali e penali in ambiente sommerso; associa archeologia tradizionale con tecniche investigative, con l'obiettivo principale di individuare e recuperare testimonianze fisiche da siti sommersi a supporto di cause penali, civili, umanitarie includendo il recupero di dispersi o dei loro resti.

Mentre l'archeologia subacquea si concentra sulla comprensione delle culture umane del passato attraverso manufatti e siti (come relitti, strutture e insediamenti sommersi), l'archeologia forense subacquea si concentra su un evento specifico, un incidente o un crimine, in qualsiasi contesto acquatico: mari, laghi, fiumi, lagune, bacini artificiali.
L'attività si svolge tra ricerche preliminari di archivio, programmazione delle missioni e lavoro in immersione di subacquei scientifici[1] e OTS (Operatori Tecnici Subacquei) con l'ausilio di mezzi come *ROV Remote Operating Vehicle*, veicoli subacquei autonomi, *AUV Autonomous Underwater Vehicle* e strumenti tecnologici fondamentali per individuare, localizzare e mappare anomalie e siti sommersi riferibili a contesti forensi, mediante *side-scan sonar*, *multibeam*, *sub-bottom profiler*, magnetometri.

Vengono impiegate tecniche specifiche per garantire l'integrità delle prove, talora resa difficile dall'ambiente sommerso, e si collabora sistematicamente con specialisti dalle diverse competenze come antropologi, medici forensi e forze dell'ordine.

L'Archeologia forense è un settore della ricerca archeologica sviluppatosi alla metà degli Anni Novanta del XX secolo in ambiente anglosassone nell'ambito delle scienze forensi, a seguito del diffondersi dell'applicazione di metodologie proprie dell'archeologia in un contesto medico-legale partendo dagli studi di Alphonse Bertillon (1853-1914), che ideò un sistema di misurazioni corporee per identificare criminali, e di Thomas Dwight (1843–1911), che evidenziò il valore legale dell'identificazione scheletrica.

Negli Anni Settanta del secolo scorso iniziarono a comparire articoli dedicati all'archeologia forense e negli Anni Ottanta venne pubblicato il primo manuale da campo di Morse (MORSE *et alii* 1983), che affrontava tecniche archeologiche nelle indagini criminali. Successivamente, i lavori di Brenda Sigler-Eisenberg (SIGLER-EISENBERG 1985) introdussero un approccio più teorico ed esteso. Dagli Anni Novanta l'archeologia forense ha assunto crescente rilievo per polizia, magistratura e opinione pubblica, anche grazie all'eco mediatica. Oggi la disciplina varia da paese a paese in base ai contesti storici, giuridici e educativi, entrando a far parte anche delle istruttorie delle Soprintendenze.

Nel 2020, in Italia, viene pubblicato da G. Simonini il manuale *Subacquea forense* (SIMONINI 2020), creando le basi per un approccio metodologico e sistematico della disciplina in ambito criminalistico, applicabile anche al nostro settore specifico, avendo in comune tutti gli aspetti tecnici e ambientali[2] che in questo lavoro verranno esaminati in maniera approfondita.

L'affermarsi della disciplina è anche legato ai recenti sviluppi della bioarcheologia, e, più

[1] In merito alla subacquea scientifica e ai relativi standard internazionali: COLANTONI 2007, European Scientific Diving Manual: Principles and Practice. ESDC 2015, AAUS 2018; UNESCO-CMAS Code of Practice for Scientific Diving - https://archives.cmas.org/science/scientific-diving (accessed 10/27/2025).

[2] In ambito criminalistico v. anche BECKER, 1995, e per le tecniche BECKER, NORDBY, JON, 2021.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

specificamente, dell'archeoantropologia, orientata a considerare i resti scheletrici umani come un archivio biologico, funzionale alla comprensione di dati storici e avvenimenti accaduti nel passato, in relazione a usi, costumi e pratiche di vita quotidiana, contribuendo alla ricostruzione demoetnoantropologica dei siti oggetto di studio.

L'archeologia forense in contesto subacqueo sta acquisendo maggiore rilevanza nel XXI secolo, grazie alla straordinaria evoluzione tecnologica che ha visto l'introduzione del *remote sensing* in alto e basso fondale, consentendo indagini preliminari strumentali di altissima qualità scientifica e grande precisione topografica, andando a costituire la base della pianificazione delle missioni, supportando lo studio di dettaglio della programmazione tecnica dell'immersione forense dedicata al recupero di prove (v. *infra* Strumenti).

Come messo in evidenza da Eline M. J. Schotsmans e Patrice Georges-Zimmermann[3], l'archeologia forense è praticata in numerosi contesti e si sviluppa diversamente da sito a sito per via della situazione ambientale, storica, educativa, legale e giudiziaria.

Il contesto ambientale assume un ruolo rilevante poiché il dispiego di forze in termini di personale e mezzi può essere particolarmente impegnativo sia per l'alto fondale sia per ambienti cosiddetti non collaborativi come, per esempio, le lagune caratterizzate da acque verdi con argilla in sospensione fitta.

Al fine di accertare elementi o fatti rilevanti per le indagini, gli archeologi forensi applicano le metodologie canoniche dell'archeologia, ovvero ricognizione, tecniche di rilevamento, scavo stratigrafico, archiviazione e classificazione dei reperti, per la localizzazione, lo studio delle modalità dei processi deposizionali, il recupero di reperti e resti umani.

L'analisi e l'identificazione dei resti umani (meramente ossei o con tessuti) attraverso la collaborazione scientifica di più esperti, caratterizzanti la disciplina in ambiente terrestre e subacqueo, sono affidate, come accennato, agli antropologi, ai medici legali e agli odontologi forensi per procedere alla redazione di un profilo biologico e al riconoscimento dell'individuo[4].

In generale, l'archeologia forense subacquea può essere definita come "l'applicazione di teorie, principi, metodi e tecniche archeologiche subacquee in un contesto giuridico". Ciò dimostra che l'archeologia forense è qualcosa di più dello scavo o reperimento di resti umani; si occupa di modelli predittivi, di ricerche di persone scomparse e presumibilmente sepolte, di resti umani sparsi sul fondo del mare, di un lago (naturale o artificiale), di una laguna, di un fiume, di conservazione di testimonianze, di analisi dell'ambiente deposizionale e post-deposizionale, con interpretazione e ricostruzione del caso[5].

Molti studiosi (cfr. GROEN *et al.* 2015) affermano che l'archeologia potrebbe essere utilizzata nel contesto del diritto in diverse aree di impegno: casi di servizi di polizia nazionali, eventi mortali di massa (*DisasterVictim Identification* (DVI) o *Mass Fatality Incidents* (MFI), indagini su violazioni dei diritti umani in un contesto medico-legale, e in ambito umanitario, recupero e rimpatrio di personale militare disperso, indagini archeologiche nell'ambito del diritto civile, indagini sul posto relative alla distruzione di siti archeologici sommersi, o relitti, e indagini connesse alla vendita illegale di reperti archeologici o storici nel nostro caso di provenienza subacquea.

È dunque necessario mettere in relazione diverse discipline e quindi essere informati su

[3] Un panorama generale sull'archeologia forense in Europa è presentato nel lavoro di SCHOTSMANS, GEORGES-ZIMMERMANN, 2019.

[4] In merito al reperimento, allo studio e alla conservazione dei resti umani anche in relazione alla tafonomia: ARNAUD *et al.,* 1980; HAGLUND, SORG, 2002; MAYS, 2008; RIBÉREAU-GAYON, RANDO, MORGAN, 2018; GUARESCHI *et al.,* 2021; FERRARI, ADAMS, 1990.

[5] COX, HUNTER, 2006; BLAU, UBELAKER, 2009; DIRKMAAT, 2012; FIBIGER, UBELAKER, 2015. GROEN, MÁRQUEZ-GRANT, JANAWAY, 2015; POWERS, SIBON, 2020.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

tafonomia, processi chimici e biologici della decomposizione dei tessuti molli dei resti umani, scienze del suolo con particolare riferimento a geologia, sedimentazione e bioturbazione, degradazione ossea in diverse deposizioni ambientali, degrado di manufatti o tessuti associati in ambiente sommerso, distinguendo l'osso umano da quello animale e avendo buone conoscenze osteologiche e anatomiche.

Un aspetto fondamentale della disciplina è anche quello dedicato a missioni di *relocation*, ricollocazione di incidenti di guerra e riconoscimento di mezzi e azioni del passato, contemplando importanti conoscenze del patrimonio tecnico-scientifico.

Il lavoro in ambiente subacqueo, oltre all'ottima conoscenza di tutte le metodologie e tecniche per l'attività in immersione, presuppone nozioni base di biologia marina, idrobiologia, oceanografia e meteorologia, anche al fine di rivolgersi con coerenza agli specialisti delle attività complementari.

È importante ricordare che anche in un contesto forense, come nell'archeologia convenzionale, lo scavo è distruttivo e non può essere ripetuto[6]; ci sono ulteriori requisiti di precisione, interpretazione e ricostruzione inequivocabili. Lo scienziato forense deve interpretare le scoperte e comunicarle in modo efficace all'interno di un tribunale, ai dipartimenti, alle forze dell'ordine e ai civili, ai ministeri, alle soprintendenze, utilizzando principalmente l'approccio bayesiano per la valutazione delle prove (ENFSI 2015). Tutte le note sul campo di archeologia forense, gli schizzi, i disegni, le piante, le sezioni e le schede di registrazione dei vari record possono essere ammissibili e quindi essere messi a disposizione della difesa. Pertanto, è importante che un archeologo forense sappia non solo fare ricerca e scavare, ma anche documentare e registrare azioni e date con la massima precisione.

Per questo Groen (GROEN *et al*. 2015) parla di *inferenza bayesiana, un approccio all'inferenza statistica in cui le probabilità non sono interpretate come frequenze, proporzioni o concetti analoghi, ma come livelli di fiducia nel verificarsi di un dato evento (Thomas Bayes). Gli statistici bayesiani sostengono che i metodi dell'inferenza bayesiana rappresentano una formalizzazione del metodo scientifico, che normalmente implica la raccolta di dati (evidenza empirica), che corroborano o confutano una data ipotesi. In questo senso, non si possono mai avere certezze riguardo a un'ipotesi, ma con l'aumentare della disponibilità di dati il grado di fiducia cambia; con sufficiente evidenza empirica, diventerà molto alto (per esempio, tendente a 1) o molto basso (tendente a 0). Gli statistici bayesiani sostengono che l'inferenza bayesiana costituisce la base più logica per discriminare tra ipotesi alternative/in conflitto. Tramite tale approccio, si usa una stima del grado di fiducia in una data ipotesi prima dell'osservazione dei dati, al fine di associare un valore numerico al grado di fiducia in quella stessa ipotesi successivamente all'osservazione dei dati. Dal momento che si fonda su livelli di fiducia soggettivi, per contro, l'inferenza bayesiana non è interamente riducibile al concetto di induzione.*

I dati raccolti con ordine e metodo, una volta disposti in un sistema, vengono analizzati nella fase ermeneutica, ovvero di interpretazione, associando e deducendo tutte le variabili del caso, sempre in maniera potenziale, elaborando anche diverse possibili soluzioni del caso.

Esaminando la definizione di archeologia subacquea quale *disciplina che si occupa di studio, ricerca, scavo, verifica preventiva dell'interesse archeologico e controllo in corso d'opera, documentazione rilievo in scala, fotografia, inventario, catalogazione, collocazione storica e conservazione di tracce antropiche del patrimonio archeologico sommerso con più di 100 anni* (v. BUCCI 2015) è possibile formulare una definizione

[6] Come sottolineato da CHRISTENSEN *et al.* 2014, il lavoro su un caso forense implica la ricerca, il recupero e la documentazione delle prove, ed è un processo intrinsecamente distruttivo che altera in modo permanente il contesto dell'area e degli oggetti ivi presenti. La documentazione e la conservazione delle informazioni contestuali sono quindi di fondamentale importanza.

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

aggiornata di archeologia subacquea forense, *disciplina specialistica che opera in ambiente sommerso e che ha per oggetto studio, ricerca diretta e indiretta, analisi di contesti, scavo e recupero di reperti e prove di natura antropica rilevanti ai fini giudiziari e storico-archeologici, comprendendo documentazione mediante rilievi in scala, fotografia e registrazione sistematica, inventario, catalogazione, collocazione cronologica e conservazione delle evidenze materiali. L'attività si caratterizza per l'adozione di procedure metodologiche conformi a criteri di tracciabilità, validità probatoria e tutela della catena di custodia, al fine di garantire l'utilizzabilità delle risultanze sia in sede di ricerca scientifica, sia in ambito processuale senza limiti cronologici per l'indagine*[7].

Si riscontrano importanti differenze nell'ambito degli obiettivi: in archeologia subacquea tradizionale l'attenzione è posta sulla ricostruzione diacronica e storica delle società, attraverso lo studio di siti sommersi, relitti, strutture, in generale sulla storia umana in relazione a un contesto ambientale specifico, mentre nell'archeologia subacquea forense l'attenzione è posta su individui in un contesto legale. Tuttavia, gli archeologi subacquei forensi studiano e analizzano anche il passato, inteso come storia che include il caso di studio per poter comprendere e programmare lo sviluppo di una strategia di ricerca affidabile e valida per individuare aree di indagine e persone o resti di persone.

In archeologia forense ci si confronta prevalentemente con casi riferibili agli ultimi due secoli di storia. Per questo ci si trova con maggiore probabilità a confrontarsi con resti scheletrici recenti talora completi di tessuti molli e qui interviene un duplice fattore psicologico dove l'approccio scientifico si impone su più versanti non solo quello documentale, ma anche psicologico.

Lavorare su casi recenti implica che parenti diretti dei resti umani siano ancora vivi e questo impone il massimo riserbo nello svolgersi delle indagini sia in ambito di comunicazione e disseminazione, sia nei rapporti con le famiglie per non creare false speranze.

Le prove utilizzate dalle due discipline possono differire. L'archeologia si concentra principalmente sui resti materiali (scavati), mentre l'attenzione nelle scienze forensi si concentra sulle tracce umane funzionali al prelievo di DNA, resti dai quali è possibile riconoscere un individuo che ha nome e cognome insieme a tutti i possibili oggetti funzionali al riconoscimento di mezzi e individui.

I.2 METODOLOGIA

I.2.1 Principio di tracciabilità e prova

Come accennato, metodologia, presupposti e principi sono gli stessi dell'archeologia a terra o in acqua, ma l'archeologia forense è *applicata*, ovvero orientata unicamente all'obiettivo del recupero di resti umani e dati forensi per l'attribuzione dei resti stessi.

La strategia di scavo è guidata dalla presenza/assenza di prove, non dalla ricerca in sé e i limiti fisici dello scavo si basano solo sulla probabilità di trovare ulteriori prove (v. *infra* Limiti di scavo).

Si parte da una ricerca documentale o da un ritrovamento occasionale per passare alla pianificazione della missione con annesse autorizzazioni, poi si procede con la ricerca investigativa che include survey, rilievo e

[7] Concetto sintetizzabile come segue: *per "archeologia forense subacquea" si intende la disciplina specialistica che opera in ambiente sommerso e che ha per oggetto lo studio, la ricerca, lo scavo, il recupero e l'analisi di reperti e prove di natura antropica rilevanti ai fini giudiziari e storico-archeologici, mediante attività di documentazione, inventario, catalogazione, collocazione cronologica e conservazione delle evidenze materiali, nel rispetto di procedure idonee a garantirne tracciabilità, validità probatoria e tutela della catena di custodia.* V. anche PIETRUSZKA 2015; EMANOVSKY, BELCHER, 2012.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

documentazione del sito, recupero, analisi dati, individuazione dei soggetti o dei dati propedeutici al riconoscimento.

L'attività archeologica forense si basa sul principio della tracciabilità delle prove.

La *tracciabilità* è l'insieme delle procedure, delle registrazioni di dati e dei controlli che consentono di documentare in maniera continua, completa e verificabile l'intera storia di un reperto probatorio, dalla fase di acquisizione sul luogo del rinvenimento fino alla sua conservazione, analisi e presentazione in sede giudiziaria.

La tracciabilità garantisce che ogni spostamento, manipolazione o trasferimento della prova sia registrato in modo da rendere possibile la ricostruzione puntuale della cosiddetta catena di custodia (*chain of custody* – *v. infra*). In questo senso, la tracciabilità costituisce la condizione essenziale per assicurare: l'autenticità della prova, ossia la certezza della sua provenienza, l'integrità materiale e digitale, evitando contaminazioni, alterazioni o manipolazioni, l'affidabilità dei dati prodotti durante le analisi scientifiche, l'ammissibilità della prova in sede processuale, secondo i requisiti stabiliti dalla normativa e dalla prassi giudiziaria. La tracciabilità in campo forense non si limita alla localizzazione fisica del reperto, ma rappresenta un sistema metodologico e documentale volto a preservarne il valore probatorio e a garantire la trasparenza e la riproducibilità del percorso conoscitivo che lo riguarda.

La *prova* è tutto ciò che viene rinvenuto sul campo e può potenzialmente costituire un dato probatorio che influenza la strategia archeologica; l'elemento probatorio è ciò che consente di trasformare un reperto o un'informazione in prova utilizzabile in giudizio, a condizione che siano garantite correttezza metodologica, continuità documentale e conformità normativa.

Un elemento probatorio, opportunamente acquisito e documentato, secondo le procedure previste dalla normativa e dalla prassi forense, può contribuire a dimostrare o confutare un fatto rilevante ai fini di un procedimento giudiziario.

In generale rientrano tra gli elementi probatori oggetti materiali e testimonianze, documenti scritti e ogni altra evidenza suscettibile di analisi tecnica o scientifica e i dati per l'identificazione medico – legale.

Per avere valore legale, un elemento probatorio deve rispettare specifici requisiti: rilevanza (deve essere pertinente al caso), autenticità (deve essere certo che provenga dalla fonte dichiarata), integrità (non deve essere alterato o contaminato), tracciabilità (deve essere garantita la catena di custodia in tutte le fasi di raccolta, conservazione e analisi), ammissibilità (deve essere acquisito nel rispetto delle regole procedurali e dei diritti fondamentali).

È probatorio un elemento correlato a un incidente di qualsiasi tipo che possa fornire prove dirette o circostanziali a sostegno dell'identificazione medico-legale positiva di un individuo, ovvero resti biologici (ossa, denti e tessuti molli), effetti personali, abbigliamento ed equipaggiamento portato sul corpo, attrezzature di supporto vitale (oggetti legati alla fuga, all'evasione e alla sopravvivenza, come un paracadute), oggetti degli equipaggi (stivali, abbigliamento, gioielli, piastrine con dati individuali, targhette identificative di parti meccaniche schedate, ecc.).

Tutti gli elementi che possono essere probatori dal punto di vista forense devono essere considerati prove e devono essere conservati e consegnati ai laboratori per ulteriori analisi tramite la catena di custodia (v. *infra*).

Come accennato, sono molto importanti i dettagli del mezzo o dei mezzi che possono fornire informazioni, ad esempio, sul tipo di aeromobile: numeri di serie del motore, numeri di targa, numero di coda (elementi generalmente non probatori dal punto di vista archeologico, ma che possono esserlo dal punto di vista forense quando forniscono informazioni contestuali e circostanziali sul sito, raccordandolo a individui). Si applica dunque di una strategia basata sull'evidenza.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

I.2.2 Classificazione dei giacimenti

L'attività di riconoscimento del sito di indagine presuppone una classificazione del contesto e del possibile relitto.

Quanto al contesto, a livello internazionale si opera una suddivisione in 3 categorie:

- *offshore* - mare aperto (e da qui una possibile suddivisione tra basso, medio, alto fondale)[8],
- *intertidal* – siti costieri e acque di transizione (lagune),
- *inland* - acque interne (fiumi e canali, laghi, bacini artificiali).

Ulteriori suddivisioni possono essere fatte in base alla geologia del fondale con particolare riferimento alla superficie del fondale, ovvero s*oft sediment* – sedimenti non consolidati quali argilla, limo, sabbia, ghiaia, ciottoli, breccia[9], *hard rock* – roccia consolidata e resistente.

Per quanto la classificazione dei relitti si ragiona in termini di integrità del mezzo:

- Relitti intatti.
- Relitti moderatamente danneggiati.
- Relitti notevolmente danneggiati.
- Porzioni di relitto dissociate o detriti frammentari sparsi (anche decontestualizzati)[10].

Indipendentemente dalla cronologia di attribuzione, esistono criteri basati su quanto le attività umane o naturali abbiano influito sul relitto. Il *NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration* (USA) nelle sue valutazioni dei *National Marine Sanctuaries* utilizza in riferimento all'integrità le voci *good, good/fair, fair, fair/poor, poor* buono, buono/discreto, discreto, discreto/scadente, scarso[11].

Uno studio in Colombia sui relitti di navi utilizza una scala numerica per vari criteri, uno dei quali è *shipwreck condition criterion*, che considera caratteristiche come la visibilità, la conservazione strutturale, la dispersione dei resti[12].

Le *Guidelines for Evaluating Shipwrecks of National Historic Significance in Canada* includono la valutazione strutturale, che comprende l'integrità del relitto alla voce *Structural assessment attribute* registrando quanto il relitto è conservato in rapporto alla forma riconoscibile dell'architettura navale, rispetto alle parti essenziali strutturali presenti o frammentate[13].

Alla luce di queste considerazioni si propone una classificazione basata su 4 categorie che consentono di valutare l'integrità del relitto (indipendentemente dalla tipologia del mezzo) secondo criteri strutturali, spaziali e conservativi: A, relitto integro (Fig. I.2.2 – 1), B, moderatamente danneggiato (Figg. I.II.2 – 2a,b), C, molto danneggiato (Fig. I.2.2 – 3), D, distrutto (Fig. I.2.2 – 4). Segue tabella:

[8] Per la differenziazione basso, medio, alto fondale si possono considerare i seguenti parametri: basso m 0-30, medio 30-50, alto >50 (cfr. DM 13/01/1979).

[9] Sarà sempre necessario specificare la granulometria anche in funzione degli strumenti da scegliere.

[10] Decontestualizzato si riferisce a un reperto, o a un insieme di reperti, che ha perso il proprio contesto originario di deposizione, rendendo molto difficile e fortemente problematica la ricostruzione delle relazioni spaziali, funzionali e cronologiche che lo legavano all'evento archeologico primario. Nel caso specifico dei relitti con frammenti sparsi, il termine indica una situazione in cui la struttura del mezzo e il suo carico non sono più leggibili come unità coerente, a causa di processi naturali o antropici (correnti, dinamiche sedimentarie, attività di recupero, pesca a strascico, saccheggio). I materiali risultano quindi dispersi su un'area più o meno ampia, privi di connessioni stratigrafiche affidabili e di un assetto spaziale interpretabile come giacitura primaria.

La decontestualizzazione comporta una perdita significativa di informazioni archeologiche, poiché i frammenti, pur conservando valore tipologico e cronologico, non consentono più un'analisi contestuale del naufragio, delle modalità di affondamento, dell'organizzazione del carico o della funzione originaria del relitto. In tali casi, l'interpretazione si fonda prevalentemente su dati comparativi e analisi formali, piuttosto che su evidenze stratigrafiche dirette.

[11] Esempi di progetti di monitoraggio dei relitti: https://sanctuaries.noaa.gov/science/monitoring/mi_tbnms.html.

[12] V. QUINTANA-SAAVEDRA *et al.,* 2023, sezione *3.3. Shipwreck Condition Criterion.*

[13] *HSMBC 2000* e https://parks.canada.ca/agence-agency/bib-lib/politiques-policies/culturelle-cultural.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

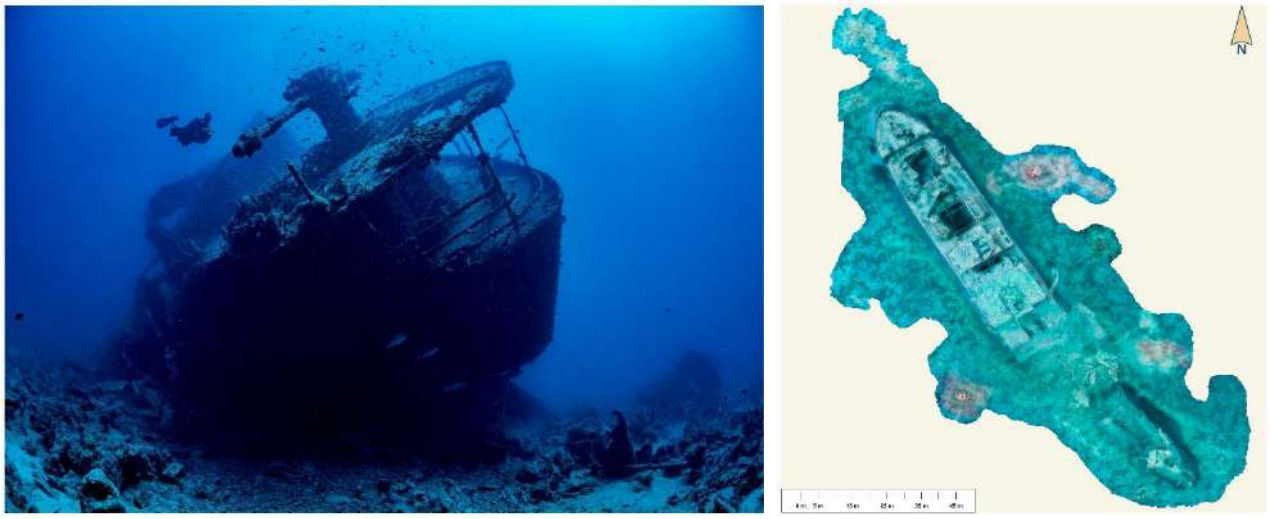
CATEGORIA	RELITTO	CARATTERISTICHE PRINCIPALI
A	integro	Completo, struttura originale ben conservata, elementi principali, attrezzature, eventuale carico o armamenti *in situ*; minimo danno o dispersione; assetto di affondamento come da navigazione; eventuale leggera corrosione o ossidazione, bassa alterazione biologica.
B	moderatamente danneggiato	Struttura ancora riconoscibile con lacune; dispersione di alcuni elementi mobili; danni moderati da fattori naturali o antropici; minima dispersione degli oggetti, deterioramento visibile, corrosione avanzata, danno biologico esteso, assetto spaziale alterato ma interpretabile.
C	molto danneggiato	Struttura fortemente compromessa: solo parti del mezzo sono conservate; molte parti mobili mancanti o rimosse; forte dispersione di parti del mezzo e degli oggetti di bordo; assetto molto alterato; deterioramento visibile, corrosione significativa, danno biologico esteso.
D	distrutto	Resti frammentari, incoerenti, fortemente alterati; presenza solo di elementi isolati; assetto originale completamente perduto.



Figura I.2.2 – 1 Porto Santo, Madeira Island, Portugal (foto P. Serrudo 2021).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



a **b**

Figura I.2.2 – 2 Mar Rosso, relitto SS *Thistlegorm:* **a, prospettiva, b,** (BROWN, HENDERSON 2025).

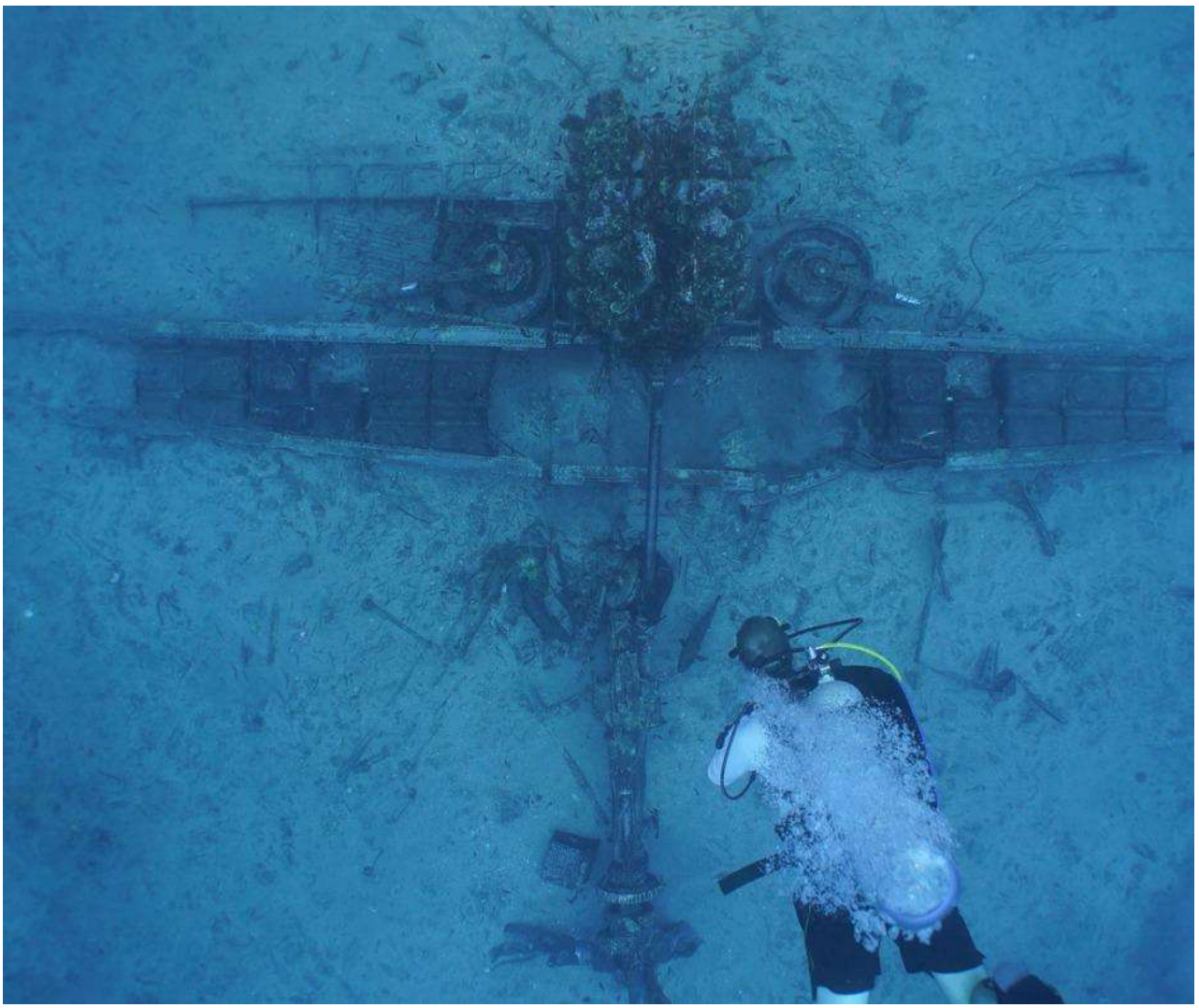


Figura I.2.2 – 3 –Esempio di relitto di aereo molto danneggiato (© Project Recover).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

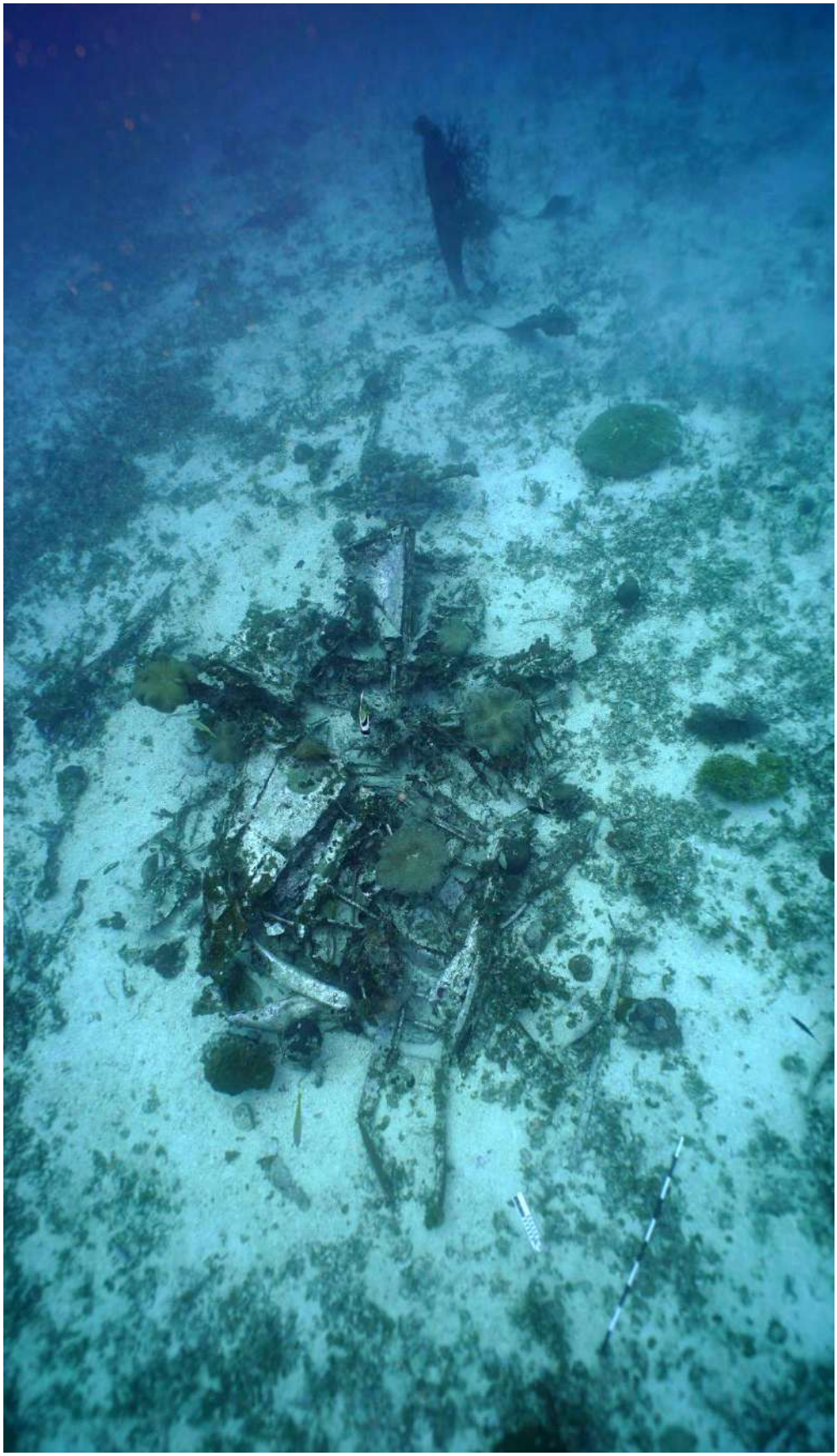


Figura I.2.2 – 3 – Chuuk, Truck Lagoon, Micronesia. Esempio di relitto distrutto (© Project Recover).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Lo stato del relitto e le condizioni di integrità vanno messi in stretta relazione con i processi di formazione del giacimento, studio che include diversi fattori ascrivibili a dinamiche di affondamento e metamorfosi post-deposizionali[14] (v. *infra*).

Gli eventi distruttivi possono essere infatti complessi; la deflagrazione, per esempio, di un aereo colpito in volo comporta un'importante disintegrazione in aria, causando ampia dispersione delle prove e possibili dati utili.

I.2.3 Fattori deposizionali e post-deposizionali

Lo studio dei mezzi coinvolti nelle indagini va associato all'analisi dei c.d. *Depositional e Post-Depositional Factors*, ovvero fattori deposizionali e post-deposizionali: i primi associabili alle modalità di affondamento, i secondi ascrivibili al contesto di giacitura nel tempo.

La lettura di questi fattori costituisce uno degli elementi per l'approccio integrato, in grado di coniugare analisi geomorfologica, chimico-fisica, biologica e antropica, consentendo di interpretare correttamente il sito e pianificare interventi di indagine più efficaci.

La ricerca richiede un approccio metodologico fondato sulla comprensione dei processi tafonomici che intervengono dopo l'affondamento. In archeologia subacquea, infatti, il relitto è un sistema dinamico, modellato da una pluralità di fattori fisici, chimici, biologici e antropici che ne determinano lo stato di conservazione e la leggibilità scientifica. Analizzare le modalità deposizionali e i processi post-deposizionali significa quindi, attraverso un profondo processo ermeneutico, ricostruire la storia dall'affondamento del mezzo (qualunque esso sia) alla formazione del deposito archeologico sommerso.

[14] Per la formazione dei giacimenti archeologici subacquei e la loro evoluzione nel tempo: STEWART 1999; WARD, LARCOMBE *et al.*, 1999.

I.2.4 Esame delle dinamiche fisiche, strutturali e ambientali nell'affondamento di navi e aerei

L'affondamento di una nave rappresenta un processo complesso, governato dall'interazione tra fattori strutturali, idrostatici, idrodinamici e ambientali. Dal punto di vista dell'archeologia navale e subacquea, la comprensione delle modalità di affondamento influenza direttamente la distribuzione dei resti sul fondale, lo stato di conservazione del relitto e le possibilità di interpretazione archeologica. L'evento dell'affondamento non costituisce generalmente un istante puntuale, ma una sequenza di fasi che possono variare sensibilmente in funzione della causa, del tipo di nave o aeromobile e del contesto acquatico.

Dal punto di vista fisico, l'affondamento ha origine dalla perdita dell'equilibrio idrostatico del mezzo nautico, determinata dal superamento del principio di galleggiamento. Ciò avviene quando l'ingresso d'acqua all'interno dello scafo riduce o annulla il volume d'aria necessario a garantire una spinta di Archimede sufficiente a sostenere la massa complessiva della nave. Le modalità con cui tale processo si sviluppa sono fortemente dipendenti dalla distribuzione delle aperture, dalla compartimentazione interna e dall'assetto longitudinale e trasversale del mezzo.

a. Affondamento progressivo.

Una prima modalità ricorrente è l'affondamento progressivo e controllato, tipico di situazioni in cui la nave subisce danni localizzati o imbarca acqua lentamente. In questo scenario, lo scafo mantiene inizialmente una certa stabilità, mentre l'acqua invade gradualmente i compartimenti inferiori. Il relitto tende a sprofondare mantenendo un

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

assetto relativamente coerente, spesso con una leggera inclinazione di prua o di poppa, determinata dalla posizione del danno e dalla distribuzione delle masse, favorendo la conservazione strutturale del relitto e una deposizione ordinata sul fondale.

b. Affondamento rapido o catastrofico.

Altra questione è l'affondamento rapido o catastrofico, associato a eventi improvvisi quali collisioni violente, esplosioni interne, cedimenti strutturali o condizioni meteorologiche estreme. In tali casi, la perdita di galleggiabilità è repentina e accompagnata da forti sollecitazioni meccaniche. Lo scafo può subire fratture, collassi parziali o separazioni di elementi strutturali prima o durante l'immersione. Il relitto può raggiungere il fondale con elevata velocità verticale, generando deformazioni da impatto e una dispersione variabile dei materiali strutturali e trasportati.

L'affondamento può avvenire secondo assetti preferenziali, di prua, di poppa, laterale o di capovolgimento. L'affondamento di prua è spesso associato a falle anteriori, urti contro ostacoli sommersi o sovraccarichi localizzati, mentre quello di poppa può derivare da danni all'apparato propulsivo o dall'allagamento delle sezioni posteriori. L'affondamento laterale, più instabile, è tipico di condizioni di sbandamento accentuato, perdita di stabilità trasversale o carichi mal distribuiti; in tali casi, la nave può capovolgersi durante la discesa o adagiarsi su un fianco sul fondale. Il capovolgimento totale causato da ribaltamento indotto da mare al traverso o incidenti navali; questo porta a dispersione del carico, spesso associato a sfondamento della coperta.

Nell'affondamento con disintegrazione progressiva, la struttura perde coerenza durante la fase di discesa, soprattutto in acque profonde. La pressione idrostatica crescente può causare il collasso di volumi interni non equilibrati, determinando la separazione di ponti, sovrastrutture e compartimenti. Il risultato archeologico è un campo di dispersione complesso, nel quale elementi più pesanti e compatti si concentrano in prossimità del punto di impatto, mentre materiali più leggeri vengono trasportati lateralmente dalle correnti.

Considerazioni sulla formazione di un relitto aeronautico.

L'affondamento in ambiente marino o nelle acque interne di un aeromobile di grandi dimensioni, come un bombardiere, costituisce un fenomeno complesso caratterizzato dall'interazione tra dinamica del volo, resistenza idrodinamica dell'acqua, integrità strutturale del velivolo e processi di riempimento progressivo degli spazi interni[15]. Le modalità di ingresso in mare e le successive fasi di immersione determinano in maniera decisiva le configurazioni finali del relitto e l'evoluzione temporale del processo di sprofondamento; lo schianto può far distribuire su vaste aree della superficie dell'acqua poi del fondale marino i resti del velivolo e dell'equipaggio[16]. Di seguito si descrivono i principali scenari, ognuno dei quali implica specifici regimi cinematici e fenomeni fluidodinamici.

Le modalità di affondamento sono così riassumibili:

a. Ammaraggio controllato o semi-controllato.

Nell'ammaraggio, l'aeromobile impatta sulla superficie con assetto relativamente orizzontale e velocità residuale contenuta. Il comportamento iniziale è dominato da forze idrodinamiche di impatto, che generano brusco

[15] Per i temi specifici dell'archeologia dell'aviazione, storia, teoria, pratica e direzione v. LICKLITER-MUNDON 2018. Aspetti metodologici e tecnici relativi allo studio degli incidenti occorsi a velivoli storici BIBEL 2008 e ECK 2023.

[16] Si pensi all'uscita dell'equipaggio a bordo: coperture per boccaporti, sedili eiettabili, equipaggiamento dei paracadutisti, vi sono più posti associati o posizioni di lancio del paracadute, si possono conoscere posizioni note grazie ai sopravvissuti al momento del crash. Vi sono più postazioni, ad esempio per il lancio con il paracadute, e anche da questo possiamo trarre dei dati. Dobbiamo considerare che forse non tutto l'aereo distrutto è presente e che vi sono attrezzature progettate per essere gettate in mare, quali serbatoi di carburante esterni, pezzi di artiglieria, altri progettati per galleggiare e dunque potrebbero essersi allontanati moltissimo dal sito focus dell'indagine.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

incremento della pressione dinamica sotto il ventre della fusoliera e decelerazione longitudinale, che si manifesta come perdita rapida di energia cinetica attraverso spostamento d'acqua e deformazioni strutturali non catastrofiche, con galleggiabilità temporanea, dovuta alle sacche d'aria contenute nella fusoliera e nei serbatoi talora vuoti. Il successivo affondamento avviene per riempimento progressivo degli scomparti, spesso mediato da fratture strutturali indotte dall'impatto. La fusoliera tende a immergersi in assetto di beccheggio neutro o leggermente di prua, a seconda della distribuzione delle masse interne.

b. Affondamento in picchiata.

Quando il velivolo entra in acqua con assetto fortemente negativo (angolo di discesa elevato), il contatto iniziale è concentrato sulla prua o sulla sezione radicale dell'ala, generando penetrazione verticale ad alta energia, nella quale la resistenza idrodinamica cresce rapidamente fino a valori tali da causare fratture immediate della fusoliera anteriore; la colonna di cavitazione parziale che può formarsi momentaneamente davanti alla struttura, riduce la resistenza, ma aumenta l'instabilità del mezzo in immersione: ne consegue perdita immediata di integrità strutturale, con separazione di ali, piani di coda e carichi interni. Il relitto tende a scendere rapidamente, spesso frammentato, seguendo traiettorie influenzate sia dalla distribuzione delle masse dopo la disintegrazione sia dai flussi turbolenti generati dall'ingresso ad alta velocità.

c. Affondamento post-deflagrazione o con disintegrazione in quota.

Nel caso di esplosioni in volo o a breve distanza dall'impatto, il materiale precipita già frammentato, con cinematica dominata dalla resistenza aerodinamica; si tratta di una caduta a bassa coerenza strutturale, con componenti che decelerano in modo differenziale in funzione di massa, forma e superficie; all'ingresso in acqua, gli oggetti di sezione ampia (es. ali) subiscono impatti relativamente più dissipativi e tendono a rimanere in superficie per tempi maggiori; componenti massivi e compatti, come motori o segmenti del cockpit, penetrano più rapidamente e raggiungono il fondo quasi in traiettoria verticale. L'affondamento avviene quindi per elementi separati, con dispersione spaziale elevata e formazione di un campo di detriti.

d. Affondamento di prua.

In questa modalità, l'aeromobile entra o si orienta in acqua con la prua in immersione preferenziale. Le cause possono includere impatto asimmetrico, perdita di galleggiabilità anteriore o spostamento interno dei carichi. Le dinamiche principali comprendono momento picchiante crescente, dovuto al riempimento rapido delle sezioni anteriori, accelerazione verticale localizzata, che spinge la prua verso il basso mentre la coda rimane temporaneamente sostenuta dall'aria intrappolata, con transizione verso l'affondamento completo quando la fusoliera perde galleggiabilità residua. Il relitto tende a raggiungere il fondale in assetto quasi verticale.

e. Affondamento di poppa.

Analogamente al caso precedente, ma con inversione della dinamica, l'aeromobile sprofonda con la poppa orientata verso il basso. Le condizioni tipiche includono accumulo di acqua nelle sezioni posteriori o danneggiamento dei piani di coda, momento cabrante negativo, che stabilizza la fusoliera in assetto inclinato posteriormente. L'orientamento finale del relitto sul fondo risulta spesso inclinato, con deformazioni dovute al contatto del timone verticale o degli stabilizzatori.

f. Affondamento laterale (sul lato di un'ala).

L'ingresso in acqua "di lato", con una delle ali che impatta per prima, genera dinamiche particolarmente complesse caratterizzate da forze torcenti asimmetriche, che possono indurre rotazioni rapide della fusoliera attorno all'asse longitudinale, penetrazione differenziale delle ali, con la semiala immersa soggetta a resistenza idrodinamica molto superiore rispetto alla semiala emersa, possibile ribaltamento completo del velivolo, con frattura e/o

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

distaccamento di ala e motori, soprattutto se l'impatto avviene con residui di velocità trasversale. Il riempimento della fusoliera è in genere più caotico e porta a un affondamento in assetto instabile.

g. Affondamento capovolto.

Un bombardiere può entrare in acqua capovolto a seguito di stalli con *inverted spin*, perdita di controllo, danneggiamenti aerodinamici o rotazioni indotte. In tale scenario, la fusoliera colpisce la superficie con la parte dorsale, meno strutturalmente progettata per impatti idrodinamici; si generano forze di schiacciamento accentuate che accelerano la rottura della parte superiore della cellula. Le sacche d'aria rimangono intrappolate negli spazi inferiori (ora orientati verso l'alto), generando una fase iniziale di instabilità che può portare a ribaltamenti ulteriori prima dell'immersione completa. Il relitto può stabilizzarsi sul fondale in posizione rovesciata. L'ambiente di giacitura svolge un ruolo determinante nel definire l'esito finale dell'affondamento. La natura del fondale, la profondità, le correnti e i processi sedimentari influenzano sia la fase terminale della deposizione, sia l'evoluzione post-deposizionale del relitto. In fondali fangosi o sabbiosi, il relitto può sprofondare parzialmente, mentre su substrati rocciosi tende a rimanere più esposto, subendo maggiormente l'azione idrodinamica e biologica. Una volta raggiunto il fondale, intervengono i fattori post-deposizionali, ascrivibili a due macrocategorie principali: naturali e antropici. Alla prima categoria appartengono le maree, le correnti (di superficie, di fondale, di mezz'acqua), la sedimentazione, il deposito naturale di sedimenti fini, la crescita algale e, più in generale, il biota, la presenza di animali (Figg. I.2.4– 1-2). Alla seconda si riconducono gli agenti antropici: recupero/rimozione non intenzionale dei resti, dragaggi, costruzione e sviluppo di porti, ripascimento di spiagge, smaltimento di UXO *Unexploded Ordnance* (ordigni inesplosi), pesca a strascico e habitat ittici artificiali.

Come accennato, negli incidenti in acqua bisogna tenere conto che ci sono anche oggetti che galleggiano e dunque questi possono essere spostati dalle correnti anche per lunghe tratte in rapporto ad angolo di impatto, velocità, profondità dell'acqua, dinamica della colonna, composizione del fondale. Tutto questo può avere influito sull'area di indagine. Le correnti, le maree e il moto ondoso influenzano direttamente la stabilità del relitto e il comportamento dei sedimenti circostanti. In contesti ad alta energia, l'erosione rimuove rapidamente sedimenti protettivi, esponendo le strutture dei mezzi affondati e accelerandone la degradazione. Al contrario, ambienti a bassa energia favoriscono l'interramento, creando condizioni di relativo isolamento dalle sollecitazioni meccaniche e chimiche. Tali dinamiche possono inoltre ridistribuire reperti e prove, frammentando depositi originariamente compatti. Natura e morfologia del fondale, sedimentazione o erosione, determinano in larga misura l'evoluzione del deposito archeologico. Dune mobili, *ripples* e scarpate influenzano la giacitura dei relitti e possono seppellire o esporre alternatamente differenti settori. L'interpretazione del contesto stratigrafico necessita pertanto di una lettura geoarcheologica che identifichi i cicli erosivi e deposizionali intervenuti nel tempo ai fini ricostruttivi dell'evento originario. Frane sottomarine, subsidenza del fondale, smottamenti e micro-movimenti tettonici possono alterare le condizioni del giacimento archeologico. Questi processi generano dislocazioni di parti strutturali e modificano la morfologia del contesto sedimentario, complicando la ricostruzione del sito originario. Anche i processi chimico-fisici dell'ambiente marino incidono profondamente sulla trasformazione dei materiali: la corrosione elettrochimica degrada i metalli, processi di dissoluzione attaccano carbonati e vetri, condizioni anossiche rallentano la decomposizione del legno; concrezioni mineralogiche inglobano oggetti e superfici, alterandone forma e leggibilità. Tali processi si sviluppano in equilibrio dinamico con variabili quali salinità, temperatura e ossigenazione anche in rapporto a bioerosione, biodeterioramento e biocostruzione.

Gli organismi marini svolgono un ruolo

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Figura I.2.4 – 1 Chuuk, Truck Lagoon, Micronesia. Elica con bioconcrezioni (© Project Recover).



Figura I.2.4 – 2 Chuuk, Truck Lagoon, Micronesia. Resti di motore con pale di elica coperti da bioconcrezioni (© Project Recover).

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

ambivalente: molluschi e spugne perforanti, batteri anaerobi e colonie algali generano processi di degradazione, talvolta profondamente distruttivi soprattutto per le superfici lignee e lapidee, al tempo stesso, incrostazioni e biocostruzioni possono formare barriere protettive che rallentano l'azione degradante degli agenti esterni, producendo effetti conservativi selettivi.

A tutto questo si può aggiungere l'impatto antropico contemporaneo. Tra i fattori più rilevanti si collocano la pesca a strascico, che produce danni meccanici estesi, la collocazione di ancore e catene di ormeggio e gli interventi infrastrutturali che interferiscono con la sedimentazione, come ripascimenti costieri, dragaggi. Anche le immersioni non autorizzate possono compromettere l'integrità e il valore scientifico-forense.

La diagenesi del relitto in alto fondale può risentire anche degli effetti della profondità e della pressione idrostatica con conseguente compattazione, collasso legato alla degradazione interna dei materiali.

I.2.5 Pianificazione delle attività e organizzazione della squadra

La pianificazione delle attività tende a variare caso per caso; esistono tuttavia alcuni punti fermi che creano i presupposti per una ricerca scientifica forense accurata.

La fase preliminare definita *Desktop Survey* si svolge attraverso la raccolta di fonti documentali e dati storici, dati tecnici sui mezzi coinvolti, report militari e banche dati ad essi associate (*Back Ground Research*); si studiano la formazione geologica e le condizioni ambientali analizzando le informazioni con l'obiettivo di acquisire una visione d'insieme dell'accaduto, dell'area di indagine e del progetto in generale, senza interventi diretti sul campo; questa fase consente di ridurre incertezze, pianificare con maggiore precisione i vari step e garantire un approccio più efficiente e mirato alle attività operative in acqua.

Si inseriscono in questa fase anche l'identificazione dei possibili vincoli e lo studio della normativa vigente, rilevando eventuali restrizioni o divieti, verificando la presenza di aree protette, rischi naturali e ostacoli logistici che potrebbero influenzare le attività di indagine.

Lo studio può consentire anche una prima definizione delle aree prioritarie di ricerca e la conseguente preparazione di strategie operative per le fasi di *remote sensing* o *survey* diretto, scelta delle attrezzature subacquee, della strumentazione e dei mezzi di spostamento e trasporto.

In Italia, attualmente, le ricerche archeologiche forensi, come i progetti di archeologia canonica, seguono le linee guida della *Circolare 47/22 Atto di indirizzo in materia di concessioni*[17]; l'aspetto autorizzativo va raccordato a requisiti medico-legali e alle valutazioni a carattere politico in merito ai rapporti tra i paesi che possono essere interessati al relitto nel suo complesso storico - antropologico.

È necessario ottenere l'autorizzazione da parte delle autorità competenti comunicando con congruo anticipo dati e scopi della missione, nonché gli estremi del gruppo di lavoro. Navigazione e immersioni richiedono, peraltro, la predisposizione di misure di sicurezza (segnalazioni, delimitazioni dell'area, coordinamento dei mezzi, ordinanze

[17] Alla luce delle modifiche introdotte dal D.P.C.M. 24 giugno 2021, n. 123, riguardante l'attribuzione alle Direzioni regionali musei delle competenze istruttorie per le concessioni di scavo e ricerche nelle aree archeologiche di loro competenza, avvertita l'esigenza di definire le competenze della Soprintendenza Nazionale per il patrimonio culturale subacqueo, la Direzione generale Archeologia, belle arti e paesaggio e la Direzione generale Musei hanno provveduto ad aggiornare e armonizzare le competenze degli uffici territoriali del Ministero nell'ambito del procedimento di concessione di ricerche e scavi (ex articoli 88-89 del D. Lgs. 42/2004).
Per tale ragione è stata emanata, in data 16/11/2022, la Circolare n. 47 avente a oggetto: *Atto di indirizzo in materia di concessione di ricerche e scavi archeologici (artt. 88 e 89 del D. Lgs. 42/2004). Aggiornamenti procedurali e indicazioni tecniche (https://ica.cultura.gov.it/atto-di-indirizzo-e-modulistica-per-concessioni/)*.

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

e autorizzazioni specifiche alle immersioni forensi).

Si procede con indagini non invasive strumentali che mettono in relazione studio geologico con caratterizzazione del substrato e indagini ambientali e oceanografiche (includendo rilievi delle correnti di fondo e superficiali, analisi delle maree e del moto ondoso (oscillazioni, altezza d'onda, periodo), parametri idrologici (con particolare attenzione a temperatura, salinità, torbidità eventualmente associate ad analisi chimiche per la possibile presenza di inquinanti o sostanze pericolose (soprattutto i bacini delimitati).

La fase di r*emote sensing*, detta anche *pre disturbance investigation*, comporta indagini strumentali.

Il *remote sensing* include rilievi batimetrici e geomorfologici con *multibeam* o *single-beam* per ricostruire la morfologia del fondale e la profondità, *side-scan sonar* per individuare oggetti, strutture o anomalie sul fondo, magnetometro per rilevare la presenza di masse metalliche sepolte (relitti, manufatti), *sub-bottom profiler* per indagare i primi strati di sedimento sotto il fondale; gli strumenti vengono installati su droni idrografici, AUV o ROV.

All'attività geofisica possono essere aggiunte ispezioni visive con telecamere montate su ROV, procedendo in questo caso alla c.d. GVI (*Global Visual Inspection*), effettuata con strumentazione raccordata a software di registrazione dei dati visivi e topografici.

Durante le indagini preliminari si verificano anche aspetti di sicurezza e logistica, ovvero verifica della possibile presenza di ordigni bellici (*UXO survey*) operata da ditte specializzate, e valutazione dell'accessibilità del sito oggetto di studio per adeguarsi alle condizioni operative, verificando visibilità, corrente, profondità, possibili ostacoli in acqua per la sicurezza dei subacquei. Vanno esaminati anche l'accessibilità del sito e le infrastrutture di supporto disponibili, la distanza dalla costa per comprendere i tempi di trasferta del personale e trasporto di materiali e attrezzature, l'adeguatezza dei mezzi navali (imbarcazioni, pontoni, navi da appoggio dotate di gru, ponti mobili, struttura per alloggi del personale), punti di stoccaggio delle attrezzature, presenza di porti o imbarchi per la logistica su terraferma, logistica di supporto operativo (Fig. I.2.5).



Figura I.2.5 - 1 Esempio del complesso di attrezzature per una missione forense subacquea (© Project Recover).

Se i parametri ambientali lo consentono, sarà effettuabile anche un survey diretto preliminare con rilievi video-fotografici propedeutici alla fotogrammetria.

L'attività di primo contatto con il fondale prevede l'allestimento della poligonale di fondo per delimitare l'area di indagine e definire il perimetro dell'area di lavoro (v. *infra*).

Anche la pianificazione stagionale delle missioni subacquee costituisce un fattore determinante per la riuscita delle attività di ricerca, scavo o intervento tecnico in ambiente sommerso. In particolare, la scelta del periodo dell'anno deve essere calibrata sulla finestra meteorologica più favorevole, poiché le condizioni meteo-marine influenzano direttamente sia la sicurezza degli operatori sia l'affidabilità dei dati raccolti. Il moto ondoso, la direzione e l'intensità delle correnti, così come i regimi di marea, incidono sulla stabilità dei mezzi navali e sulla possibilità di operare in immersione o con veicoli telecomandati. La visibilità subacquea, condizionata da fattori

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

stagionali, quali torbidità e fioriture algali, rappresenta un ulteriore parametro critico per la documentazione fotogrammetrica e la lettura stratigrafica dei depositi[18]. Dal punto di vista operativo, come per tutte le attività in acqua, la scelta di una finestra meteorologica ottimale consente di ridurre i rischi per il personale, minimizzare interruzioni dovute al maltempo e contenere i costi di fermo tecnico, garantire una migliore conservazione e documentazione del contesto, preservandone il valore probatorio e conoscitivo. L'analisi storica delle serie meteorologiche e l'uso di modelli previsionali a medio-breve termine costituiscono strumenti utili per individuare il periodo con la maggiore probabilità di stabilità.

Quanto alla composizione della squadra di lavoro sul campo, vi saranno una direzione scientifica a cura del *Recovery Expert*, un responsabile generale del team per la logistica, politica, esperti in materia di relitti di navi o aerei, un medico iperbarico, un gruppo di archeologi subacquei insieme a videooperatori, antropologi per l'identificazione dei resti umani, geofisici e ingegneri per la parte strumentale.

I.2.6 Scheda di immersione archeologica forense

Al fine di agevolare la programmazione delle attività in ambiente sommerso, è stata formulata una scheda di immersione archeologica forense, un form di registrazione strutturato che enfatizza chiarezza, accuratezza e valore probatorio. La scheda integra parametri ambientali, osservazioni contestuali e dati stratigrafici in un quadro conciso ma completo, facilitando sia il processo decisionale operativo immediato sia il successivo utilizzo legale.

Standardizzando la raccolta dati in condizioni subacquee difficili, il sistema proposto riduce l'ambiguità, migliora la coerenza tra operatori e rafforza l'ammissibilità delle prove registrate.

Il modello è sviluppato su quattro pagine A4: l'ultima può essere copiata o stampata su poliestere anfibio per l'uso subacqueo su supporto rigido, così da poter indicare tutti gli elementi identificati, le prove recuperate e quelle lasciate in sito.

Il modulo è suddiviso in sezioni distinte.

Il primo riquadro, situato nell'angolo superiore sinistro, è dedicato all'identificativo della missione, che include eventuali numeri di riferimento rilasciati dalle autorità competenti e riferimenti tecnici a fini archivistici. Sul lato destro sono indicati un numero progressivo dell'immersione e la data dell'operazione. Al di sotto di questi campi devono essere inseriti il luogo specifico del sito e le sue coordinate geografiche.

Una volta completata la sezione topografica, il modulo include campi relativi all'ente organizzatore e al direttore scientifico, con nomi, indirizzi e recapiti. Seguono le sezioni dedicate agli enti partner e al gruppo di lavoro, che deve essere elencato con numero progressivo, nome e cognome, certificazione subacquea e ruolo nell'operazione, sia pianificato sia effettivamente svolto.

La sezione successiva riguarda i mezzi nautici impiegati, inclusi il tipo di imbarcazione, i dati di registrazione e la proprietà, elementi rilevanti anche ai fini assicurativi. Segue l'indicazione del luogo di partenza, per specificare se l'immersione è stata condotta da terra o da un mezzo nautico.
Un'ulteriore sezione è dedicata alle caratteristiche ambientali dell'area di immersione: la colonna di sinistra registra le caratteristiche del fondale, mentre quella di destra riporta le proprietà dell'acqua.

Il settore ambientale comprende pertanto diverse tipologie geologiche, con riferimento alla natura del sedimento, fattore chiave per la gestione dell'immersione, il posizionamento dei riferimenti topografici e metrici e l'allestimento delle attrezzature necessarie per

[18] In relazione alle indagini in acque con scarsa visibilità BUCCI 2010; PABA 2023.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

la documentazione e il rilievo. La sottosezione "acqua" include dati relativi a temperatura, correnti e visibilità, tutti elementi essenziali per una corretta documentazione e pianificazione dell'immersione, in particolare in vista della continuità di operazioni successive. Un'ulteriore area è dedicata ai dati marini o idrogeologici riguardanti flora e fauna.

Rientrano nelle caratteristiche ambientali anche le condizioni meteorologiche riscontrate durante l'immersione. Queste comprendono l'intensità del vento (assente, debole, moderato o forte), lo stato del mare (calmo, poco mosso, mosso, agitato), le condizioni del cielo (sereno, nuvoloso, coperto, piovoso), la presenza o assenza di precipitazioni e la temperatura dell'aria. Possono inoltre essere registrate ulteriori scale di misurazione pertinenti al contesto operativo.

La sezione "Tipo di immersione" è suddivisa in quattro categorie principali: apnea – f*ree diving*, immersioni con bombole tradizionali (*scuba* - autorespiratori a circuito aperto), immersioni con *rebreather* (circuito chiuso) e immersioni *surface supplied* (con alimentazione di superficie), effettuate con miscela respiratoria fornita tramite un'unità di supporto o da un pontone.

La sezione "Scopo dell'immersione" comprende nove opzioni predefinite: ricognizione, allestimento del sito, documentazione video, documentazione fotografica, fotogrammetria, disegno manuale, scavo, recupero di reperti e raccolta di campioni. È disponibile un campo denominato "Altro" per attività aggiuntive o complementari non incluse nelle categorie predefinite.

Sono previsti spazi specifici per la registrazione del profilo dell'immersione, inclusi orario di inizio, orario di fine, durata totale e un riquadro dedicato alla profondità massima raggiunta.

Segue una sintesi delle attività svolte, accompagnata da un'area per le note stratigrafiche, fondamentali per comprendere la sequenza del sito in relazione diretta all'indagine in corso e alla documentazione associata di prove e ritrovamenti.

A tale scopo è prevista un'ulteriore sezione per l'elenco dei reperti e delle evidenze, strutturata in sette colonne principali: numero progressivo, oggetto, *locus* (unità spaziale specifica e definibile utilizzata per registrare e interpretare contesti distinti), unità di griglia, profondità (in metri) e indicazione se il reperto è stato recuperato o lasciato in situ.

Il modulo si conclude con le firme del compilatore e della persona che valida i dati, generalmente il direttore scientifico. Questo tipo di raccolta dati è particolarmente prezioso in quanto costituisce la base del diario di campo e fornisce informazioni essenziali per la catena di custodia, facilitando un sistema di verifica incrociata dei registri.

Ogni sezione è progettata per bilanciare il rigore archeologico con la responsabilità forense. I campi ambientali e contestuali consentono la ricostruzione dei processi di deposizione, mentre i metadati e i campi relativi alla catena di custodia garantiscono la continuità probatoria. L'impostazione modulare facilita l'uso in condizioni subacquee variabili, riducendo il carico cognitivo e la ridondanza dei dati.

Questo tipo di scheda è solitamente preceduta da un ulteriore *form* preliminare corredato di relazione con sintesi programmatica e allegato piano di sicurezza ove previsto.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

SCHEDA DI IMMERSIONE ARCHEOLOGICA FORENSE

IDENTIFICATIVO MISSIONE (nome, codice, ecc.)	**IMMERSIONE N.**	
	DATA	
LUOGO	**COORDINATE**	

ENTE ORGANIZZATORE		**DIRETTORE SCIENTIFICO**	
NOME		NOME	
		COGNOME	
INDIRIZZO		INDIRIZZO	
TEL.		TEL.	
E-MAIL		E-MAIL	

ISTITUZIONI PARTNER		
1	DENOMINAZIONE	
	INDIRIZZO	
	TEL.	
	E-MAIL	
2	DENOMINAZIONE	
	INDIRIZZO	
	TEL	
	E-MAIL	
3	DENOMINAZIONE	
	INDIRIZZO	
	TEL.	
	E-MAIL	

GRUPPO DI LAVORO				
N.	**NOME**	**COGNOME**	**BREVETTO**	**RUOLO**
1				
2				
3				
4				
5				
6				

1

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

MEZZI NAUTICI			
TIPOLOGIA	DATI NATANTE	IMMATRICOLAZIONE	PROPRIETÀ

LUOGO DI PARTENZA	
LOCALITÀ	
PORTO	
SPIAGGIA	

CARATTERISTICHE AMBIENTALI AREA DI IMMERSIONE					
FONDALE	argilla		ACQUA	temperatura	
	limo				
	sabbia			corrente	
	ghiaia				
	breccia			visibilità	
	roccia				
FLORA E FAUNA					

CONDIZIONI METEO	
VENTO	assente / debole / moderato / forte
STATO DEL MARE	calmo / poco mosso / mosso / agitato
CIELO	sereno / nuvoloso / coperto / pioggia
PRECIPITAZIONI	assenti / pioggia leggera / pioggia intensa
TEMPERATURA ARIA	fredda / mite / calda

TIPOLOGIA IMMERSIONE				miscela/e respiratoria/e	
FREEDIVING	ARA	REBREATHER	SURFACE SUPPLIED		

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

SCOPO IMMERSIONE	
SURVEY	
ALLESTIMENTO CANTIERE	
DOCUMENTAZIONE VIDEO	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	
FOTOGRAMMETRIA	
RILIEVO MANUALE	
SCAVO	
RECUPERO REPERTI	
PRELIEVO CAMPIONI	
ALTRO	

ORARIO		PROFONDITÀ MAX [m]
ORA INIZIO		
ORA FINE		
T TOTALE		

SINTESI ATTIVITÀ SVOLTE

NOTE STRATIGRAFICHE

3

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

ELENCO REPERTI / PROVE						
N.	OGGETTO	LOCUS	QUADRA	PROFONDITÀ [m]	RECUPERATO	
					SÌ	NO
COMPILATORE		CONVALIDA				

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

I.2.7 Indagine subacquea, *remote sensing*

Lo sviluppo della tecnologia per il *remote sensing* subacqueo in ambito industriale ha introdotto nuove tecnologie applicabili anche nella ricerca archeologica.

Attraverso strumenti sempre più evoluti è possibile rilevare in modo dettagliato e sistematico ampi settori di fondale acquisendo dati estremamente precisi in maniera non invasiva.

Le tecniche di *remote sensing* subacqueo più comunemente applicate nel settore dei beni culturali sommersi, adoperate nella verifica preventiva dell'interesse archeologico, nel controllo archeologico in corso d'opera e nell'ambito più generale della ricerca e della pianificazione dello spazio marittimo, impiegano magnetometri, sonar, *single beam* e *multibeam* ecoscandagli a raggio singolo e multiplo, *side-scan sonar* - sonar a scansione laterale, *sub-bottom profiler*. Questi strumenti vengono montati su imbarcazioni, navi oceanografiche o equipaggiano veicoli sottomarini autonomi o teleguidati, quali *AUV Autonomous Underwater Vehicle* e *ROV Remotely Operated Vehicle*. Talvolta si fa uso anche di minisommergibili.

Le tecnologie e i metodi non distruttivi consentono di investigare i fondali marini, lacustri e fluviali, offrendo panoramiche e dettagli senza effettuare immersioni, determinando profondità (rilevamenti idrografici), identificando sedimenti superficiali e profondi, lineamenti geomorfologici, archeologici, oggetti, relitti e strutture semisepolte o sepolte nei sedimenti.

L'uso di questi diversi strumenti nella nostra disciplina è l'aspetto metodologico che prevede una sequenza di lavoro sistematica:

1. Definizione topografica dell'area di indagine.
2. Survey idrografico con acquisizione dati in sito.
3. Trasmissione e salvataggio dati al computer.
4. Elaborazione dati con software di gestione.
5. Interpretazione delle anomalie.
6. Schedatura delle anomalie con numerazione progressiva, coordinate, profondità, descrizione, immagine.

Segue, a carattere esemplificativo, un modello di tabella per la schedatura delle anomalie:

TABELLA ANOMALIE				
N.	COORDINATE	PROFONDITÀ [m]	DESCRIZIONE	IMMAGINE (*screen shot* da strumento o foto)
1				
2				
3				

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Localizzazione dell'area di indagine e strumenti

Il *survey* strumentale preliminare consente di effettuare la rilocalizzazione del contesto di indagine, costituendo la base topografica di tutta la ricerca.

La corretta georeferenziazione del sito documenta con precisione la posizione dei reperti e delle evidenze materiali, preservando le relazioni spaziali e stratigrafiche che costituiscono parte integrante del valore informativo. Dal punto di vista giuridico, tale accuratezza garantisce la tracciabilità della catena di custodia e assicura che i dati raccolti siano riproducibili e difendibili in sede legale. Inoltre, la possibilità di rilocalizzare esattamente l'area permette di programmare e portare a termine indagini successive, verifiche comparative e monitoraggi diacronici, mantenendo la coerenza con le informazioni originarie. L'integrazione dei dati topografici con cartografie, rilievi geofisici e modelli tridimensionali amplia le potenzialità interpretative e contestualizza le evidenze nel paesaggio circostante. Per questi motivi, la georeferenziazione accurata del sito è da considerarsi una componente metodologica essenziale di ogni indagine archeologica a fini forensi.

Negli ultimi decenni, i progressi tecnologici hanno offerto alla comunità archeologica subacquea notevoli opportunità di ridefinire le procedure di mappatura, valutazione e monitoraggio dei siti[19].

Di seguito una breve presentazione dei principali strumenti e mezzi dedicati alle indagini strumentali.

Magnetometro

Il magnetometro utilizzato in ambiente subacqueo è generalmente di tipo protonico o, più frequentemente nelle applicazioni archeologiche, a vapori di cesio o fluxgate, caratterizzati da elevata sensibilità (ordine dei nanotesla). Lo strumento misura l'intensità totale del campo magnetico terrestre; la presenza di masse ferromagnetiche altera localmente tale campo generando anomalie misurabili. Le variazioni registrate sono funzione della natura del materiale, della geometria dell'oggetto e della distanza tra sensore e sorgente.

Il sensore magnetico è alloggiato in un corpo cilindrico idrodinamico (*towfish*) trainato a distanza dalla piattaforma di acquisizione per minimizzare le interferenze magnetiche del mezzo. Il sistema comprende unità di acquisizione, GPS differenziale per la georeferenziazione e software di registrazione in tempo reale.

Il prodotto finale consiste in mappe di anomalie magnetiche bidimensionali, ottenute mediante interpolazione dei dati lungo linee di prospezione regolari. Le visualizzazioni a falsi colori o con curve di livello permettono l'individuazione di sorgenti anomale sepolte, spesso non visibili con tecniche acustiche, fornendo indicazioni preliminari sulla possibile presenza di relitti o strutture archeologiche interrate (v. immagini Caso di studio 2).

Sonar

SONAR, abbreviazione di *Sound NAvigation and Ranging*, è uno strumento che utilizza le onde sonore per esplorare le acque. Viene utilizzato per sviluppare carte nautiche, individuare rischi sottomarini per la navigazione, cercare e identificare oggetti nella colonna d'acqua e sul fondo del mare, come i relitti e mappare il fondo marino stesso. Il sonar di imaging è un sistema acustico attivo progettato per la visualizzazione in tempo reale dello spazio antistante il sensore. Opera mediante l'emissione di impulsi sonori a

[19] In merito al ruolo delle indagini geofisiche applicate all'archeologia subacquea v. VIOLANTE *et al*., 2025; RUFFELL 2017, RUFFELL 2006, 2014, RUFFELL, MCKINLEY, 2005, 2008; SCHULTZ *ET AL.,* 2013; BARONE, DI MAGGIO 2019; DI MAGGIO, BARONE, 2017 e 2019; PENSIERI, GARAU, BARONE 2020.

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

frequenza medio-alta, organizzati in una serie di fasci stretti che coprono un settore angolare definito. L'analisi del tempo di ritorno e dell'intensità degli echi consente di ricostruire la posizione relativa e la forma degli oggetti presenti nella colonna d'acqua o sul fondale. Il sistema è generalmente montato su imbarcazioni, ROV *Remotely Operated Vehicle*, AUV *Autonomous Underwater Vehicle*, o t*owfish*[20].

Il risultato dell'acquisizione è un'immagine acustica bidimensionale in tempo quasi reale, generalmente rappresentata in coordinate polari o cartesiane, che mostra il profilo e la posizione degli oggetti rispetto al sensore. In archeologia subacquea, questa visualizzazione è utilizzata per la navigazione di precisione, l'avvicinamento controllato ai relitti, il riconoscimento preliminare delle strutture e il supporto alle operazioni di documentazione e scavo, soprattutto in condizioni di scarsa visibilità (Fig. I.2.7 – 1a).

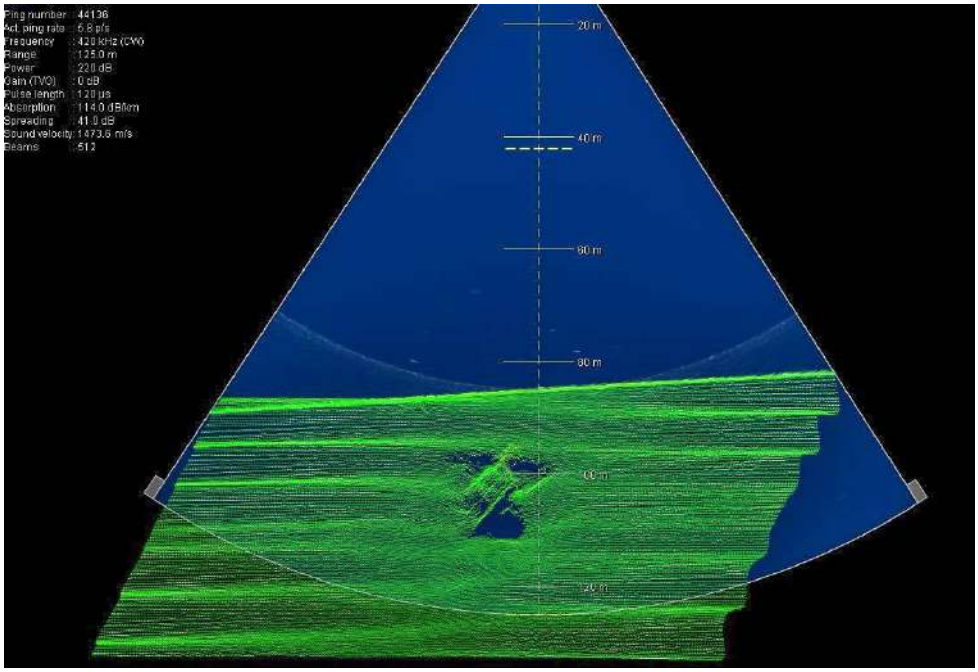


Figura I.2.7 – 1a – Sonar. Visualizzazione tipica di un sonar frontale (*forward-looking*): al centro un relitto (© Project Recover).

[20] Un *towfish* è un corpo idrodinamico subacqueo trainato da un'unità di superficie mediante cavo ombelicale, progettato per trasportare e stabilizzare sensori geofisici e/o strumenti di acquisizione dati lungo un profilo predefinito. La geometria del *towfish* e la distribuzione delle masse sono ottimizzate per garantire stabilità dinamica, minima turbolenza attorno ai trasduttori e controllo della quota tramite combinazione di peso, galleggiamento e superfici di controllo passive o attive. Il cavo di traino assolve funzioni meccaniche (trazione e posizionamento), elettriche (alimentazione) e/o di telecomunicazione (telemetria bidirezionale dei dati). Nel quadro delle prospezioni acustiche e geofisiche marine, il *towfish* consente di posizionare i sensori a distanza dalla scia del natante e a quota quasi costante rispetto al fondale, migliorando la risoluzione spaziale, il rapporto segnale/rumore e la ripetibilità dei rilievi. Non opera in modo autonomo: la cinematica del sistema è determinata dal regime di traino, dalle caratteristiche del cavo e dalle condizioni idrodinamiche ambientali.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Multibeam

Il *multibeam echo sounder* (*MBES*) si basa sull'emissione simultanea di un ventaglio di fasci acustici orientati trasversalmente alla rotta della piattaforma. Per ciascun fascio viene misurato il tempo di andata e ritorno dell'impulso sonoro, che, combinato con il modello di velocità del suono in acqua, consente il calcolo della profondità. L'analisi dell'intensità dell'eco fornisce informazioni aggiuntive sul *backscatter*. Il sistema comprende una testa sonar con array di trasduttori, unità di controllo, sensori di assetto (rollio, beccheggio e imbardata), sensori di moto ondoso, GPS ad alta precisione e profili di velocità del suono. L'integrazione di tali componenti è essenziale per ottenere dati batimetrici accurati e ripetibili.

I dati elaborati producono modelli digitali tridimensionali del fondale e dei relitti, visualizzabili come superfici 3D, ombreggiature artificiali (*hill-shade*) e batimetrie. In archeologia subacquea, tali rappresentazioni consentono una documentazione metrica dettagliata dei siti, supportando analisi volumetriche, confronti e ricostruzioni morfologiche ad alta precisione (Fig. I.2.7 – 1b).

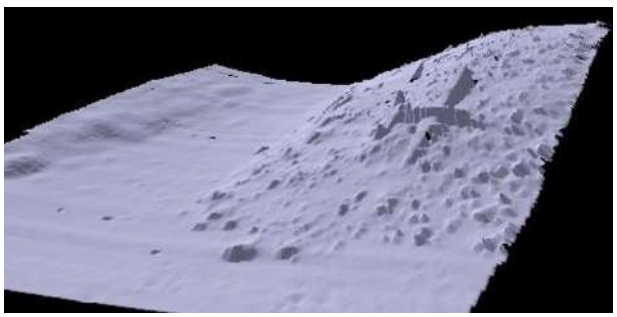


Figura I.2.7 – 1b) – Immagine monocromatica da *multibeam* (© Project Recover).

Side-Scan Sonar

Il *side-scan sonar* è un sistema acustico attivo che opera mediante l'emissione di impulsi sonori ad alta frequenza (tipicamente tra 100 e 900 kHz) lateralmente rispetto alla direzione di avanzamento. Gli impulsi interagiscono con il fondale e gli oggetti emergenti; l'intensità dell'eco riflesso è registrata in funzione del tempo, che viene convertito in distanza orizzontale.

Il sistema è composto da uno o due trasduttori laterali montati su *towfish* o su veicoli subacquei (ROV/AUV). L'assetto del sensore, la quota sul fondale e la velocità di avanzamento influenzano direttamente la qualità dell'immagine. Il sistema è integrato con sensori di navigazione e assetto per la correzione geometrica dei dati.

Il risultato è un'immagine acustica bidimensionale ad alta risoluzione, in cui le variazioni di intensità rappresentano differenti proprietà superficiali. Gli oggetti archeologici emergenti producono forti riflessioni e ombre acustiche, fondamentali per il riconoscimento morfologico. Le immagini side scan sono utilizzate per la mappatura planimetrica dei siti e per l'interpretazione qualitativa dello stato di conservazione dei manufatti (Fig. I.2.7 – 2).

Sub-Bottom Profiler

Il *sub-bottom profiler* (*SBP*) utilizza onde acustiche a bassa frequenza (generalmente tra 0,5 e 20 kHz) capaci di penetrare il sedimento. Le onde sono riflesse dalle interfacce tra strati con differenti proprietà acustiche; il tempo di ritorno degli echi consente la ricostruzione della geometria stratigrafica del sottosuolo. Lo strumento è costituito da una sorgente acustica (*pinger*, *chirp* o *boomer*), un ricevitore e un'unità di acquisizione e sincronizzazione. Il sistema può essere montato sullo scafo o trainato, a seconda della risoluzione e della profondità di penetrazione richieste.

Il prodotto principale è un profilo acustico verticale bidimensionale, assimilabile a una sezione stratigrafica, in cui i riflettori evidenziano superfici di discontinuità e strutture sepolte. In archeologia subacquea tali visualizzazioni permettono l'individuazione di livelli antropici, relitti interrati e paleosuperfici, fornendo informazioni cruciali sulla profondità di seppellimento e sulla conservazione del contesto archeologico.

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

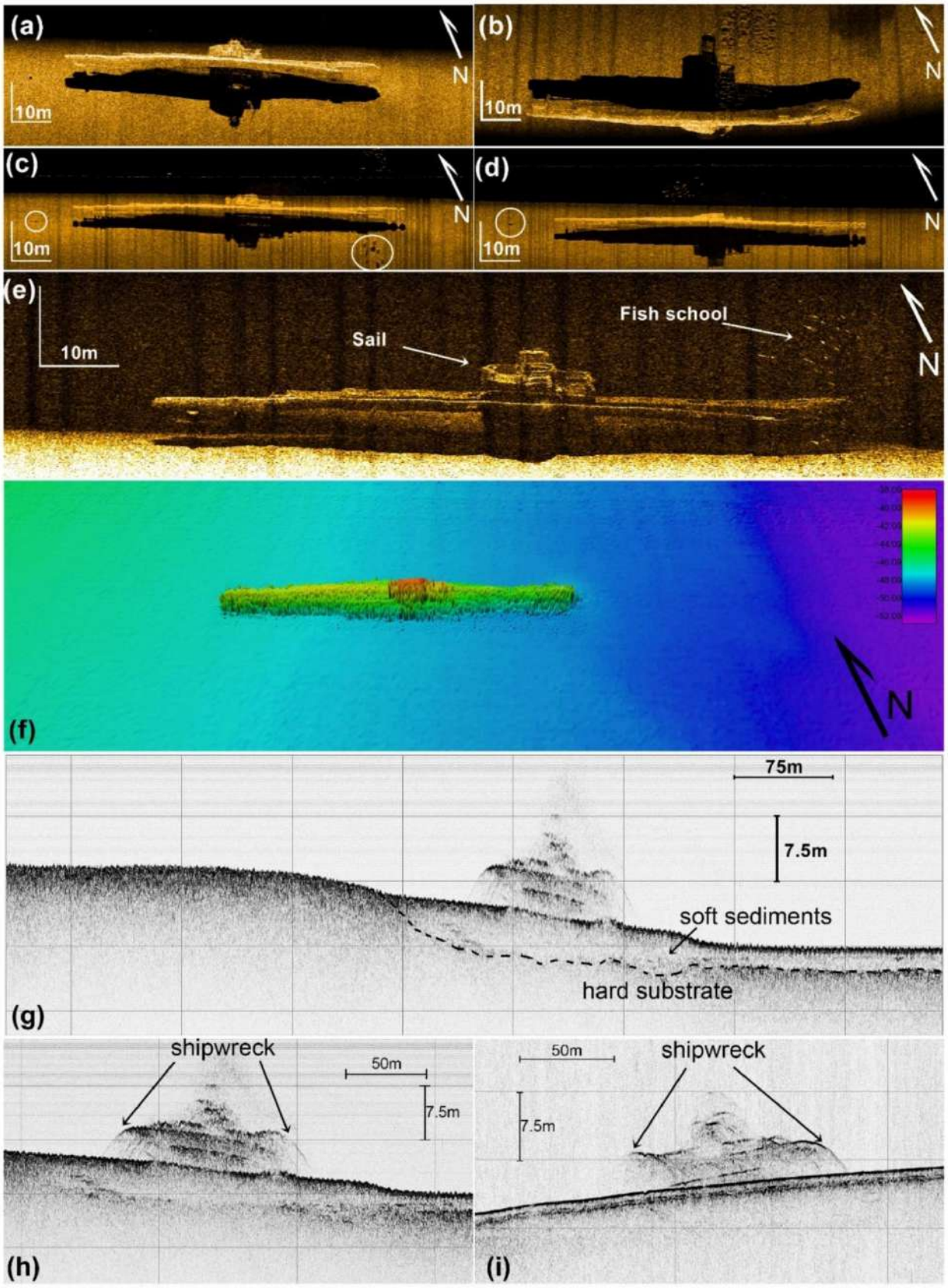


Figura I.2.7 - 2 - HMS Perseus (sommergibile): (a–e) immagini da s*ide-scan sonar*; (f) batimetria da *multibeam*; (g–i), profili sismici ad alta risoluzione mostrano il relitto (echi iperbolici) che poggia su sedimenti sabbiosi sciolti (GERAGA *et al*. 2020).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

AUV - Autonomous Underwater Vehicle

Un *Autonomous Underwater Vehicle (AUV)* è una piattaforma subacquea robotica non presidiata, progettata per operare in modo autonomo secondo missioni preprogrammate, senza collegamento fisico continuo con l'unità di superficie. L'AUV costituisce un vettore integrato per sensori di *remote sensing* e consente l'acquisizione sistematica e ripetibile di dati geofisici e acustici su ampie aree.

In archeologia subacquea (anche forense) l'AUV è particolarmente adatto all'impiego di strumenti quali *side-scan sonar*, *multibeam echo sounder*, magnetometro e, in alcuni casi, *sub-bottom profiler*. La capacità di mantenere quota e assetto costanti rispetto al fondale permette acquisizioni ad alta qualità e geometria controllata. La navigazione autonoma lungo linee di survey predefinite garantisce una copertura omogenea dell'area di indagine, essenziale per la produzione di dataset coerenti e comparabili.

Un AUV svolge la sua missione di rilevamento senza l'intervento dell'operatore in acqua. Al termine di una missione, l'AUV tornerà nella posizione preprogrammata. Successivamente i dati raccolti possono essere scaricati ed elaborati (Fig. I.2.7 - 1).



Figura I.2.7 - 3 – AUV in scansione sopra relitto di velivolo (© Project Recover).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

ROV - Remotely Operated Vehicle

Un *Remotely Operated Vehicle* (*ROV*) è un veicolo subacqueo c.d. a nuoto libero, progettato per operare in ambiente sommerso sotto il controllo diretto di operatori in superficie. Il ROV è impiegato per attività di osservazione, ispezione, documentazione e intervento fisico, in contesti che includono applicazioni scientifiche, industriali, militari e archeologiche. La sua architettura consente operazioni a profondità e in condizioni ambientali non accessibili ai subacquei, superando i limiti imposti dalla pressione, dalla durata dell'immersione e dalla sicurezza. A differenza dei veicoli terrestri o aerei a controllo remoto, il ROV è specificamente progettato per operare in ambiente subacqueo, caratterizzato da elevata pressione idrostatica, visibilità spesso ridotta, galleggiabilità variabile e presenza di correnti. Il controllo del veicolo avviene tramite un collegamento fisico con l'unità di superficie, costituito da un cavo ombelicale o *tether*, che garantisce la trasmissione continua e affidabile di energia elettrica, segnali di controllo, dati di navigazione e flussi video. Tale soluzione è necessaria poiché le onde radio risultano fortemente attenuate in acqua, rendendo inefficaci le comunicazioni wireless su lunghe distanze.

Il ROV è generalmente collegato a una nave o pontone tramite un sistema composto da ombelicale, un cavo corazzato contenente conduttori elettrici e fibre ottiche per il trasferimento di potenza e dati, e TMS *Tether Management System*, il sistema di gestione del cavo, spesso configurato come una struttura "garage" o *tophat*, che consente il rilascio e il recupero controllato del veicolo, riducendo l'effetto di *drag* del cavo in presenza di correnti e facilitando il passaggio nella *splash zone*. L'unità di controllo in superficie comprende consolle di pilotaggio, sistemi di visualizzazione e software di acquisizione dati. L'energia elettrica fornita al veicolo viene distribuita ai sottosistemi di bordo; nei ROV di classe medio-alta, una parte della potenza alimenta un motore elettrico che aziona una pompa idraulica, utilizzata per la propulsione e per il funzionamento di utensili ad alta potenza, quali bracci manipolatori, chiavi dinamometriche e strumenti di taglio.

La dotazione minima di un ROV comprende telecamere video ad alta sensibilità e sistemi di illuminazione. In funzione delle finalità operative, può essere equipaggiato con una vasta gamma di sensori e strumenti, tra cui sonar per la navigazione e il riconoscimento morfologico in condizioni di scarsa visibilità, *multibeam* di ispezione per la documentazione tridimensionale di dettaglio, magnetometri e sensori geofisici a corto raggio, bracci manipolatori e utensili per il campionamento o l'intervento controllato, sensori ambientali per la misura di parametri fisici dell'acqua (temperatura, torbidità, velocità del suono).

In ambito archeologico, soprattutto in alto fondale, il ROV svolge un ruolo centrale nelle fasi di ispezione mirata, validazione delle anomalie e documentazione di dettaglio. Le visualizzazioni prodotte includono flussi video in tempo reale, immagini acustiche frontali e modelli tridimensionali locali, che consentono l'analisi morfologica dei reperti, la valutazione dello stato di conservazione e la pianificazione di eventuali interventi di scavo, conservazione e campionamento. Il controllo diretto da parte dell'operatore permette un'interazione precisa con il contesto archeologico, riducendo il rischio di disturbo del sito (Fig. I.2.7 - 4).



Figura I.2.7 - 4 – Esempi di ROV di media grandezza per differenti profondità e usi (HVMS 2020).

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

I.2.8 Rilievo diretto e documentazione manuale

Individuata e documentata l'area di indagine tramite indagini strumentali, si passa al lavoro in immersione con la costruzione della poligonale di fondo e del reticolato topografico.

La poligonale chiusa viene adoperata per definire l'area di indagine fisicamente sul fondale e per racchiudere l'area di studio con punti di riferimento anche in situazioni di scarsa visibilità. Dal punto di vista topografico e geodetico, una poligonale chiusa consente una serie di misurazioni sequenziali tra punti fissi che delimitano il contorno di un'area. Questa configurazione permette di verificare l'accuratezza dei dati attraverso il controllo degli errori di chiusura, garantendo una maggiore precisione nella rappresentazione planimetrica del sito rispetto a misurazioni lineari isolate. In ambiente subacqueo, ciò consente di creare una base di riferimento stabile per la mappatura tridimensionale dei reperti, fondamentale per successive analisi forensi[21]. Dal punto di vista archeologico, la poligonale chiusa delimita con chiarezza i confini dello scavo subacqueo, separando l'area di interesse dalle zone circostanti, agevolando la registrazione stratigrafica, la catalogazione dei reperti e la ricostruzione spaziale della scena. La possibilità di georeferenziare con esattezza i punti della poligonale permette di integrare i dati raccolti nel sistema informativo geografico (GIS) e di confrontarli nel tempo. In superficie saranno collocate delle boe di riferimento in corrispondenza dei capisaldi. All'interno della poligonale si collocherà la griglia spaziale impostata per ottimizzare il recupero di prove con suddivisioni interne orientate a raccogliere dati con la massima precisione attraverso l'individuazione di *loci*. La struttura geometrica di partenza è spesso costituita da elementi modulari in metallo giustapposti e fissati al fondo; ulteriori suddivisioni geometriche su reticolato mobile strutturato con cavi e picchetti possono essere integrate in maniera ordinata per terne pitagoriche[22] o quadrati secondari per acquisire maggiore dettaglio, regolarizzati sulla base della presenza di prove (Fig. I.2.8 - 1). Ogni settore dovrà essere rigorosamente documentato, rispecchiando con puntualità la situazione del giacimento, con foto, video, planimetrie e/ o fotopiani prima e durante l'attività di scavo, rilevando le Unità Stratigrafiche (US), includendo strutture e reperti. Tutta la documentazione dovrà essere dotata di riferimenti metrici, dati di orientamento, profondità, numeri di US e di reperto, corredati di legenda completa di dati topografici, di cantiere e cronologici (Fig. I.2.8 - 2). Il mapping generale oggi viene eseguito mediante tecnica fotogrammetrica - *Structure from Motion* (SfM cui vengono associati foto e video di dettaglio con riferimenti metrici e orientamento). La raccolta di immagini può essere effettuata utilizzando un ROV o un team di subacquei con foto-videocamere, spostandosi sul sito in un percorso pre-pianificato, scattando centinaia o migliaia di foto dall'alto, dai lati e dal centro dell'oggetto/sito/relitto di interesse archeologico (Fig. I.2.8 -3). Una volta raccolte le immagini (o i video), vengono elaborate tramite programmi che utilizzano algoritmi per creare un mosaico fotografico, che conserva i dettagli di ogni singola immagine, intercettando i punti di riferimento comuni all'interno delle foto (Fig. I.2.8 - 4).

[21] Per la realizzazione della poligonale v. BUCCI 2015, pp. 47-50.

[22] Gli insiemi di tre numeri interi che soddisfano il teorema di Pitagora, ad esempio 3-4-5, 5-12-13, hanno un'applicazione pratica anche nella topografia subacquea, in particolare sui fondali morfologicamente omogenei, consentendo tracciamento di angoli retti con semplici cordelle metriche, creando di griglie di rilievo rettangolari con misure modulari, fondamentali per suddividere un sito archeologico subacqueo in settori di documentazione, dove le distorsioni ottiche e la mobilità dell'operatore possono rendere più complesso il disegno e prelievo di reperti. La stessa griglia può essere di supporto anche alla fotogrammetria, facilitando la scalatura e la georeferenziazione dei modelli fotogrammetrici, fornendo punti di riferimento stabili e controllati. In condizioni operative difficili, come visibilità ridotta o acque torbide, consente di mantenere comunque l'orientamento spaziale corretto.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Figura I.2.8 - 1 - Vis, Croazia, scavi forensi sul relitto del B-24 Tulsamerican (https://www.smithsonianmag.com/smart-news/human-remains-may-have-been-uncovered-wreckage-wwii-plane-180964081/ accesso 30/10/2025).

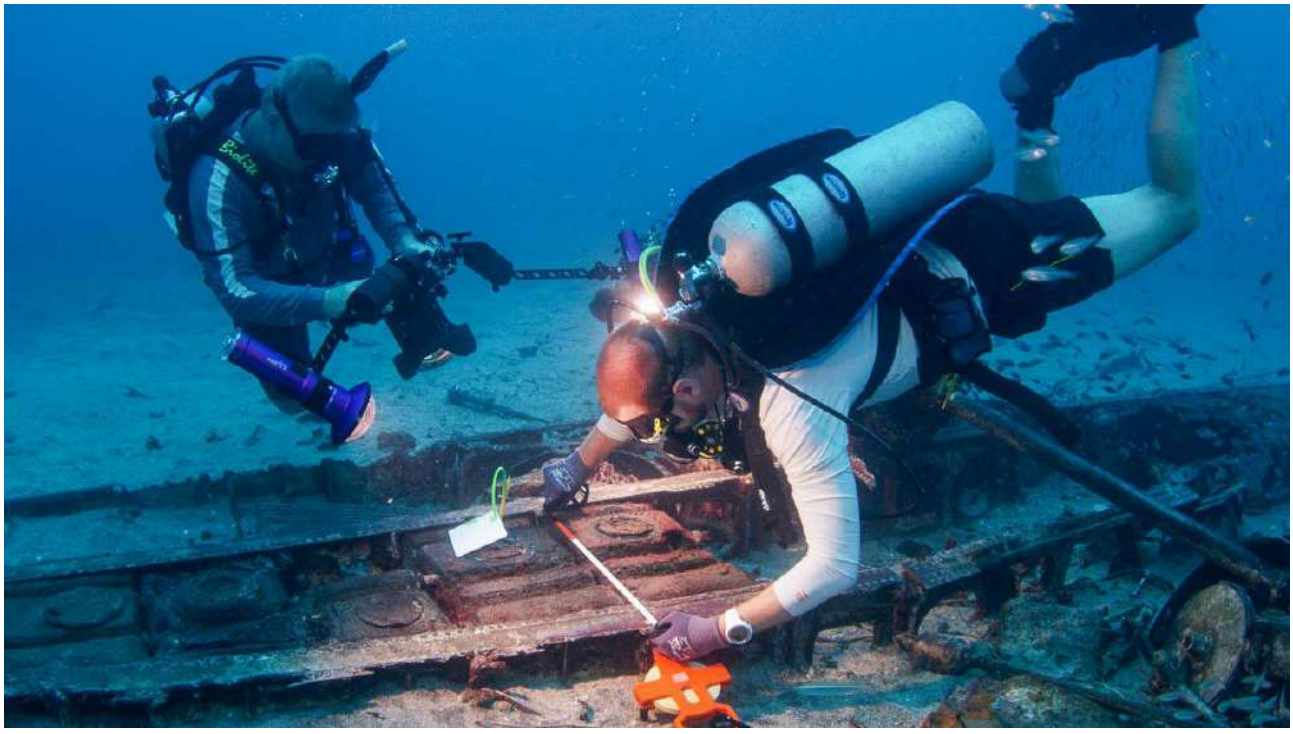


Figura. I.2.8 - 2 - Archeologi subacquei forensi intenti nella misurazione di dettagli di un relitto di velivolo (© Project Recover).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Figura I.2.8 - 3 – Documentazione fotografica di un relitto di velivolo distrutto (© Project Recover).

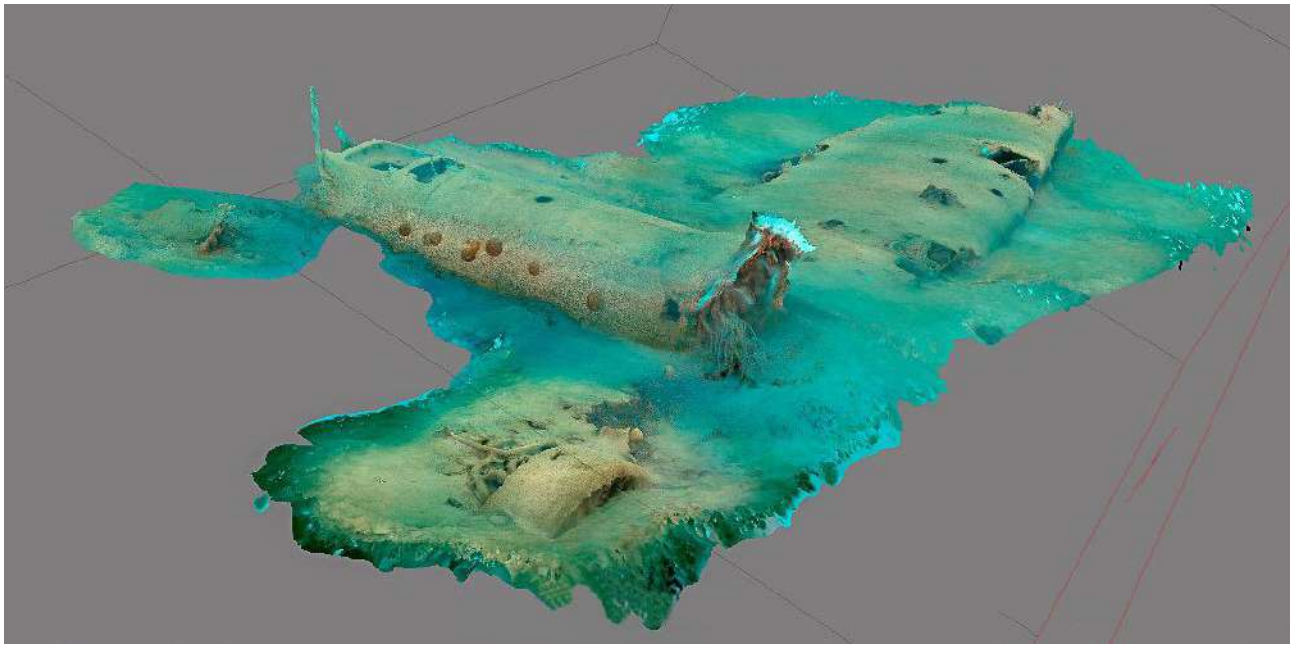


Figura I.2.8 - 4 – Elaborazione fotogrammetrica di rilevo subacqueo (© Project Recover).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Utilizzando dati dimensionali, superficiali e posizione spaziale si crea una nuvola di punti. Questa nuvola viene utilizzata per mappare vertici su una superficie solida, creando un modello 3D del sito.

I modelli creati con la fotogrammetria sono una parte importante della conservazione digitale. Nel tempo, un sito archeologico o una caratteristica del fondale marino può essere alterato fisicamente da fattori di deterioramento, erosione, correnti o azioni antropiche. Un modello 3D funge da istantanea molto dettagliata nel tempo, conservabile a lungo termine, analizzabile e studiabile anche a posteriori, senza tornare sul sito (Fig. I.2.8 - 4).

I.3 Scavo

Lo scavo archeologico forense subacqueo mira al riconoscimento, alla documentazione, alla rimozione e all'interpretazione delle unità stratigrafiche con lo scopo di acquisire dati probatori, preservando la massima quantità di elementi utili al riconoscimento.

Dal punto di vista tecnico è possibile affrontare lo scavo sia manualmente con cazzuole e piccole pale, sia con sorbona (Fig. I.3 - 1). Gli utensili tradizionali che porteremo in acqua saranno quelli tipici della professione dell'archeologo: una cazzuola, una tavoletta da disegno con fondo millimetrato e foglio di poliestere anfibio su cui scrivere con matita morbida, strumenti di misura (metri e cordelle), riferimenti metrici e indicatore del nord (possibilmente gialli e neri poiché garantiscono la massima visibilità), bussola, macchina fotografica / videocamera, contenitori stagni e sacchetti sigillabili preventivamente numerati per raccogliere reperti e prove. L'uso di contenitori pre-numerati consente di associare ogni reperto a un codice identificativo univoco, facilitando, in acqua e a terra, la registrazione e la tracciabilità. Ogni numero corrisponde a un oggetto specifico, il che permette di mantenere un registro preciso con posizione, data di recupero e altre informazioni rilevanti, essenziale per la catena di custodia.



Figura I.3 - 1 – Scavo forense con sorbona (© Project Recover).

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

L'uso della sorbona va affiancato dall'appoggio di un pontone con imbarcazione di servizio[23] (Fig. I.3 - 2).



Figura I.3 - 2 – Pontone attrezzato (© Project Recover).

La prassi prevede che si scavi settore per settore fino all'esaurimento di prove in sito (v. *infra* Limiti orizzontali e verticali). Ogni caso è differente; le aree di studio presentano caratteristiche diverse e spetta all'archeologo valutare il prosieguo o la sospensione dello scavo in un determinato settore: è necessaria una valutazione empirica dell'attestazione o meno di ulteriori prove. Il contesto, la profondità e il budget a disposizione possono essere discriminanti.

Il materiale scavato con la sorbona viene fatto rifluire all'interno di appositi cesti che verranno successivamente recuperati e sottoposti a vaglio con setacci a maglie di cm 0,5, permettendo di recuperare elementi non visibili a occhio nudo in ambiente subacqueo, come frammenti ossei molto piccoli (denti, falangi, ossicini dell'orecchio, frammenti cranici), evidenze materiali minute, proiettili, bossoli deformati, schegge metalliche, frammenti di tessuti, bottoni, fibre, piccoli preziosi, gioielli. Il passaggio al vaglio costituisce garanzia di esaustività, in quanto, in ambito forense la completezza della raccolta è cruciale, perché ogni elemento può avere valore probatorio; l'uso del setaccio riduce il rischio di perdita di potenziali prove e consente standardizzazione metodologica garantendo uniformità nelle operazioni, confrontando in maniera oggettiva i risultati di scavi diversi e assicurando la replicabilità delle procedure.

Lo screening viene condotto in loco a bordo delle imbarcazioni o pontoni di servizio. È possibile che parti di relitto debbano essere controllate a secco e in questo caso, tramite gru e cesti di sollevamento si recupera quanto necessario, controllando che non vi sia perdita di materiale durante il recupero.

Le operazioni di eventuale conservazione dei rottami andranno concordate con le autorità competenti.

I.3.1 - I limiti verticali e orizzontali dello scavo: precisazioni metodologiche

All'interno dell'area di indagine si andranno a individuare i limiti di scavo effettivi, dettati da presenza o assenza di prove, indipendentemente dalla sagoma di relitti o strutture. Ciascuna area densa di prove con coerenza interpretativa viene definita *locus*. Ogni *locus* può comprendere più quadre (le quadre di scavo possono essere tangenti o disgiunte) e avrà limiti verticali in relazione alla profondità di scavo e limiti orizzontali in rapporto all'estensione[24]. I *loci* vengono numerati o individuati con lettere.

Ogni *locus* avrà caratteristiche specifiche da inserire nel report, nella scheda di immersione, nelle schede di sito: è importante una rigorosa registrazione dei dati e delle relazioni spaziali tra i diversi *loci* per comprendere il contesto in cui vengono rinvenute le prove e le circostanze che ne hanno determinato la posizione. Il *locus* non coincide necessariamente con un singolo strato: è piuttosto un'area o porzione di spazio in cui materiali, tracce e relazioni stratigrafiche

[23] Un eccellente esempio di scavo archeologico forense subacqueo con dispiegamento di tutte le attrezzature necessarie è illustrato nel contributo di L. Trecosta *Underwater Recovery of WWII MIA Avenger & Hellcat Crew Remains* risorsa online https://www.projectrecover.org/underwater-recovery-wwii-avenger-hellcat-crew-remains/.

[24] A proposito del concetto di *loci* OBLEDO 2009.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

manifestano una logica comune (per esempio: area di scavo primaria, zona di disturbo, punto di deposizione secondaria).

L'assegnazione di un *locus* permette di distinguere chiaramente ciò che appartiene a un processo specifico da ciò che deriva da fenomeni naturali o da attività umane non correlate. Il reticolato topografico rappresenta lo strumento metodologico che consente di trasformare il *locus* da entità descrittiva a entità misurabile e replicabile. Attraverso la scomposizione del sito in celle georeferenziate, si delimitano con precisione i confini e si registra ogni evidenza secondo coordinate univoche, applicando protocolli di campionamento sistematico, riducendo bias osservativi[25] e garantendo la confrontabilità tra settori diversi del sito.

L'analisi accurata della distribuzione spaziale permette di discriminare aree di deposizione intenzionale rispetto a dispersioni accidentali, ricostruendo sequenze degli accadimenti attraverso la posizione relativa di reperti e le tracce, contribuendo a definire priorità di scavo e di documentazione, ottimizzando tempi e risorse e assicurando la tracciabilità probatoria.

L'analisi stratigrafica si conferma come metodo da applicare nello scavo di ciascun settore: quando si raggiunge uno strato sterile rispetto alla presenza di prove, ci si ferma sia sull'asse verticale, ovvero in profondità, sia in estensione. Non bisogna inseguire quelli che sono i limiti o i rottami del relitto, piuttosto cercare elementi che ci possano ricondurre a chi fosse a bordo (prove).

I limiti pratici dello scavo, dunque, sono dati dalla combinazione tra stratigrafia e dispersione di prove.

I.4 *Wet Screening* e conservazione

Il *wet screening* è il processo che utilizza l'acqua corrente per lavare i sedimenti, collocandoli sopra reti metalliche o sintetiche con supporto rigido, per recuperare microreperti, come quelli osteologici e piccoli oggetti potenzialmente utili per la ricerca forense, elementi che potrebbero essere sfuggiti alla ricerca visiva o aspirati velocemente dalla sorbona.

L'attività viene svolta dal gruppo di lavoro addetto a queste funzioni, direttamente durante lo scavo al fine di mantenere sotto controllo tutta l'attività di reperimento di prove. Queste devono essere sigillate in barattoli o sacchetti con la stessa acqua del contesto di ritrovamento. Se si lavora in ambiente marino, la desalinizzazione avverrà in laboratorio in maniera controllata.

Per le prove è opportuno adoperare imballaggi doppi ed è necessario scrivere le informazioni sul contenitore / sacchetto di plastica all'esterno e su un cartellino collocato all'interno per evitare che l'inchiostro venga cancellato (v. *infra* Imballaggio).

I.4.1 Materiali e conservazione

Vanno conservati tutti gli elementi che possono essere probatori: resti biologici, oggetti personali (presenti sul corpo o nell'area di indagine), oggetti militari (medagliette, armi), attrezzature personali incluse quelle di supporto vitale (per esempio i paracadute).

In ambiente subacqueo i resti umani possono essere bruciati, naturalmente decomposti, possono essere stati danneggiati da predatori locali, come pesci o gasteropodi, e possono essere stati colonizzati da bivalvi e coralli e/o trovarsi in strati a matrice organica con forte ossidazione (torba).

Una leggera pulizia sul campo può essere fatta solo per rimuovere grandi quantità di

[25] Il bias di osservazione, noto anche come bias di rilevazione, si verifica quando i dati raccolti in uno studio sono influenzati dalle aspettative dell'osservatore o dalle conoscenze pregresse. Questo tipo di bias può influenzare significativamente la validità dei risultati della ricerca, portando a conclusioni inaccurate.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

sedimento e/o per aiutare a riconoscere un osso, esclusivamente dopo aver fotografato con e senza riferimenti metrici l'elemento in sito. In generale non bisogna pulire i resti umani: ci saranno successive analisi in laboratorio da parte di specialisti. Il compito dell'archeologo forense è recuperare i resti documentandoli, possibilmente, insieme a un antropologo, non processarli.

Come accennato, prove biologiche e prove materiali forensi da interventi subacquei devono essere conservate nell'acqua di rinvenimento fino all'arrivo in laboratorio; questo serve a evitare deterioramenti, contaminazioni e alterazioni chimico-fisiche che potrebbero compromettere sia l'analisi scientifica sia il valore probatorio, ovvero la conservazione in acqua è funzionale a:

- Prevenzione di shock chimico/fisico: se i reperti venissero estratti e lasciati asciugare all'aria, subirebbero fenomeni di essiccamento rapido, cristallizzazione dei sali, variazioni di pH o di temperatura che possono danneggiare irreversibilmente le tracce biologiche (DNA, proteine, tessuti). Anche i materiali (metalli, vernici, fibre) possono corrodersi, ossidarsi o alterarsi più velocemente una volta esposti all'aria.
- Conservazione della scena forense originale: l'acqua in cui il reperto è stato trovato rappresenta il "microambiente" che ne ha mantenuto lo stato fino al recupero. Mantenere i reperti in quell'acqua riduce al minimo i cambiamenti chimici e biologici prima delle analisi.
- Riduzione del rischio di contaminazioni: usare acqua diversa (ad esempio acqua distillata o di rubinetto) significherebbe introdurre sostanze estranee (cloro, minerali, microrganismi) che possono falsare i risultati. L'acqua di rinvenimento mantiene la composizione originale senza introdurre nuovi fattori inquinanti[26].
- Tutela delle prove biologiche (DNA e microrganismi): alcuni microrganismi o enzimi presenti nell'acqua possono degradare il DNA. Tutti i cambiamenti improvvisi di ambiente possono accelerarne la distruzione. Conservare il campione nello stesso fluido permette al laboratorio di pianificare correttamente i metodi di filtrazione, estrazione e stabilizzazione.
- Rilevanza giudiziaria: una catena di custodia corretta prevede che il reperto venga mantenuto nelle condizioni più vicine possibili a quelle del ritrovamento, così da garantire l'integrità e la ripetibilità delle analisi. Qualsiasi alterazione imputabile a un'errata conservazione potrebbe rendere il reperto inutilizzabile in sede legale.

I.4.2 Linee guida per la raccolta delle evidenze biologiche per l'imballaggio e il trasporto delle prove

Premesso che il direttore scientifico sul campo è responsabile della corretta documentazione e raccolta delle prove in ogni momento, è necessario:

- Nel diario lavori / nelle schede di immersione inserire sempre l'elenco dei materiali raccolti.
- Mantenere un inventario di tutte le prove, biologiche e materiali, con due elenchi separati (le prove verranno conferite a differenti laboratori).
- Registrare la provenienza spaziale utilizzando il sistema a griglia con posizionamento e *loci*.
- Documentare tutte le prove con fotografie con e senza riferimenti metrici ed elaborare un elenco dedicato (foto in sito e foto post-raccolta).

[26] In merito alla conservazione di prove rinvenute in acqua: HAMILTON 1999.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

- Imballare e sigillare tutte le prove in modo appropriato affinché non si danneggino.
- Massimizzare gli sforzi per proteggere i resti umani dalla contaminazione del DNA.
- Ridurre al minimo il numero di persone che gestiscono i resti.
- Uso dei guanti durante la manipolazione di resti (anche per lo screening e qualsiasi tipo di movimentazione).
- Non far asciugare le prove biologiche e mantenerle nell'acqua del contesto.
- Compilare sempre il documento della catena di custodia.

La principale attrezzatura per imballaggio, conservazione e trasporto delle prove è costituita da sacchetti di plastica con cerniera, contenitori stagni (Fig. I.4.2 - 1), valigie stagne con passanti per i lucchetti, etichette resistenti all'acqua, serrature a combinazione o lucchetti numerati, moduli per la catena di custodia.



Figura I.4.2 - 1 – Archeologi forensi raccolgono prove e campioni con contenitori stagni (https://www.science.org/content/article/can-floating-dna-help-recover-troops-lost-long-ago-sea (accesso 10/26/2025).

Gli oggetti personali e le attrezzature di supporto vitale recuperati devono essere imballati separatamente dai resti biologici. Se le prove materiali non sono facilmente separabili dai resti umani, vanno mantenute associate.

Qualora, per esempio, stivali o guanti contenessero resti ossei, sarà necessario conservarli nello stato in cui si trovano, poiché verranno scissi in laboratorio dagli specialisti.

Specifiche per resti biologici:

- lo scheletro articolato va prelevato e imballato mantenendo intatto il complesso; se si prelevano ossa separatamente, effettuare il recupero secondo i più attenti criteri archeologici (separando destra e sinistra, mantenendo un ordine di scomposizione razionale e preciso).
- frammenti e porzioni ossee dissociate dallo scheletro devono essere imballati separatamente, così come i resti dentali sparsi.
- se viene recuperato un apparecchio dentale, va nel sacchetto con resti dentali ad esso pertinenti.

Prove materiali:

- Gli oggetti vanno imballati separatamente.
- Se sono concrezionati in un unico blocco, prelevarli e imballarli allo stato in cui si trovano.

Etichettatura:

Ogni reperto deve essere dotato di cartellino di plastica scritto con pennarello indelebile; è bene usare un doppio involucro e inserire sempre un cartellino interno (tra i contenitori, non a contatto con le prove).

Le informazioni da riportare sui cartellini sono:

- Numero dell'incidente e del sito.
- Identificatore univoco della missione.
- Numero del reperto.
- Provenienza: *locus*, quadra, unità stratigrafica.
- Data.
- Quota / Profondità.
- Descrizione del contenuto.
- Nome e cognome della persona che etichetta il contenitore e del direttore scientifico.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Ogni contenitore di stoccaggio di reperti e trasferta deve recare le stesse informazioni dei cartellini con l'aggiunta del numero di imballaggio (c.d. numero di cassa), all'esterno e all'interno.

Naturalmente andrà stilato un elenco degli imballaggi / casse / valigie corredato di tutti gli identificativi, funzionale alla catena di custodia.

Importante: non devono essere usati sacchi in fibra naturale, biodegradabili, di juta, cotone, ecc. poiché i materiali vegetali sono pensati per decomporsi rapidamente in condizioni ambientali normali.

Questo significa che, se usati per contenere resti umani, tessuti, campioni ossei o reperti delicati, rischiano di alterarsi, distruggersi, danneggiando le prove, prima che i reperti possano essere studiati, compromettendo le indagini. Oltre a ciò, i sacchi vegetali rilasciano fibre, polveri organiche e sostanze che possono contaminare i reperti e questo è particolarmente grave in archeologia e antropologia forense, dove servono analisi genetiche, isotopiche o chimiche: la contaminazione può falsare i risultati.

Per questo si usano sacchi in materiale sintetico neutro (es. polietilene, nylon, TNT non tessuto) che garantiscono stabilità e resistenza nel tempo.

L'uso di casse stagne pressurizzabili è necessario in caso di spostamento in aereo.

È buona prassi documentare con foto gli elementi probatori prima del trasporto. Ciò fornisce un eccellente backup dei dati ed è utile in caso si ravvisino delle discrepanze tra i reperti, garantendo trasparenza e qualità del lavoro qualora vi fossero imprevisti durante il trasporto.

Queste foto faranno parte del registro fotografico ufficiale e dunque saranno parte dell'archivio.

I.5 Catena di custodia e materiali da consegnare

La consegna provvisoria e definitiva di reperti e prove prevede il c.d. *chain of custody* – catena di custodia.

Si tratta di una sequenza di procedure documentate che garantiscono l'integrità, l'autenticità e la tracciabilità di un reperto o di una prova, dal momento del suo rinvenimento fino alla sua presentazione in sede legale.

L'obiettivo primario della catena di custodia è assicurare che i materiali probatori non siano stati alterati, contaminati o manomessi e che possano quindi essere considerati attendibili. Ogni passaggio relativo alla prova (raccolta, imballaggio, trasporto, analisi e conservazione) deve essere registrato in maniera dettagliata, indicando chi ha consegnato e chi ha ricevuto il reperto, quando, dove e per quale finalità.

Da un punto di vista operativo, la catena di custodia prevede che siano state espletate tutte le fasi che precedono la compilazione, ovvero verifica della raccolta, identificazione, documentazione, conservazione in sicurezza e predisposizione del trasferimento.

La rilevanza del *chain of custody* emerge sia in campo giuridico sia in quello scientifico. Una catena di custodia interrotta o incompleta può compromettere la validità delle prove e pregiudicare l'intero procedimento.

Il documento di *chain of custody* deve contenere i seguenti dati:

- Intestazione con estremi del cantiere e dei responsabili.
- N. Reperto: numero progressivo univoco.
- Descrizione del reperto: sintetica, con i dettagli utili (definizione, categoria, tipologia, misure, colore).
- Condizioni del reperto: integro, frammento, frammentario, frammentato.
- Imballaggio: sacco, contenitore, valigia, cassa.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

- Data e ora: momento della raccolta, momento del trasferimento, della prima consegna, della seconda, ecc.
- Luogo del ritrovamento: dove è stato recuperato (*locus*, quadra, profondità).
- Consegnato da / Ricevuto da: nome, cognome, firma leggibile.
- Note: eventuali osservazioni (es. urgenza, anomalie, sigilli danneggiati).

Il c.d. *chain of custody form* deve rimanere sempre con le prove ed è buona prassi tenere sempre una copia cartacea e digitale a ogni consegna.

I materiali che verranno consegnati alla committenza e alle autorità includono elementi su cui si lavora quotidianamente, come il diario lavori, i report di aggiornamento, il quaderno / *wet note* da campo con schizzi e disegni realizzati in cantiere, foto, metadati, relazione scientifica generale con tutti i dati di scavo, inclusi i rilievi preliminari, i rilievi in corso d'opera corredati di opportuni elenchi, elenco e schede di unità stratigrafica, matrix.

Nell'ambito delle concessioni di ricerca ministeriali italiane, l'elenco della documentazione va completato anche con quanto previsto dalla normativa vigente (https://ica.cultura.gov.it/atto-di-indirizzo-e-modulistica-per-concessioni/istruzioni-e-modulistica-per-la-consegna-della-documentazione/=).

Alcune considerazioni a proposito della documentazione video-fotografica.

Le fotografie e i video scientifici che documentano le attività e i reperti dell'indagine forense appartengono a tre categorie: scientifica probatoria, documentazione delle attività, immagini per la comunicazione. La prima è specialistica; la seconda, ritraendo l'attività e la strumentazione di lavoro, è complementare alla sezione meramente scientifica; la terza testimonia alcuni momenti salienti per far comprendere l'importanza del lavoro e comunicare la ricerca. Tutto va sempre rigorosamente concordato in anticipo con le autorità.

Sul lavoro è prevista la massima riservatezza nel rispetto di coloro che sono venuti a mancare e delle loro famiglie, anche al fine di non creare possibili false speranze di ritrovamento per possibili parenti in vita, occupandoci prevalentemente di un settore storico piuttosto recente.

Le foto scientifiche dovranno includere panoramiche del contesto, dettagli dei *loci* e delle quadre, dettagli specifici dei reperti. Ogni scatto dovrà avvenire con e senza riferimenti metrici, didascalia e orientamento, come per un normale cantiere archeologico.

Le tre classi di foto/video andranno numerate, schedate e salvate in cartelle separate corredate di relativi elenchi.

Tutta la documentazione che si produce in corso d'opera e a fine scavo deve essere conservata in luogo sicuro, possibilmente sotto duplice chiave.

La documentazione digitale deve essere consegnata senza subire alterazioni, per questo solitamente si adoperano schede di memoria nuove dedicate.

Di seguito si riporta un esempio di documento di catena di custodia:

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Cantiere		**Direzione**	

N. REP.	DESCRIZIONE	CONDIZIONI	IMBALLAGGIO	RITROVAMENTO					CONSEGNATO DA	RICEVUTO DA	DATA	FIRME
				DATA	ORA	QUADRA	LOCUS	PROFONDITÀ [m]				
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												

PARTE II

CASI DI STUDIO

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Introduzione ai casi di studio

L'archeologia forense subacquea applicata allo studio di velivoli è una disciplina all'intersezione tra archeologia marittima, scienze forensi, ingegneria aeronautica e storia militare. Uno dei suoi ambiti più complessi e particolarmente significativi è l'identificazione di aeromobili precipitati in mare e nelle lagune durante operazioni belliche. Tra questi, i bombardieri prodotti in grandi quantità durante i conflitti del XX secolo rappresentano una tipologia peculiare, poiché l'elevato grado di standardizzazione industriale, la modularità costruttiva e l'omogeneità delle configurazioni possono rendere estremamente arduo distinguere un relitto da un altro senza un'analisi altamente specialistica, quando non sono visibili numeri di targa e decorazioni sulla carlinga o sui piani di coda o il velivolo è particolarmente danneggiato o distrutto; la grande uniformità progettuale impone un alto livello di competenza tecnica per riconoscere dettagli strutturali e collocazione di minimi dettagli determinanti per il riconoscimento.

Adottando una metodologia strutturata, basata sull'osservazione indiretta e diretta dei resti del relitto, sul rilievo remote sensing, sulla mappatura delle dispersioni e sull'analisi dei pattern di impatto e frattura, si comprendono le dinamiche dell'affondamento, e le connessioni storiche con specifici episodi e incidenti di guerra.

La corretta identificazione di tali velivoli si fonda infatti sull'analisi di componenti chiave che raramente vengono distrutti completamente, anche in caso di impatto violento o disintegrazione in quota. Le configurazioni del castello motore e dei supporti dei propulsori, le specifiche geometrie delle gondole motore, l'assetto e la forma del timone verticale, le finestre del cockpit, le postazioni armate, i sistemi di sgancio del carico bellico, particolarità dei longheroni e delle ordinate di fusoliera, ma soprattutto le iscrizioni seriali punzonate collocate su targhette rivettate applicate a elementi meccanici secondari come carter dell'olio alla base dei motori, o fissate sulle radio, consentono tramite confronti con i data base degli archivi di guerra il riconoscimento dei velivoli, riconducendo poi all'equipaggio.

L'identificazione di un bombardiere non è un esercizio puramente tecnico, ma un atto di ricomposizione storica, che permette di attribuire un nome a un episodio bellico e di restituire identità agli equipaggi dispersi. La disciplina infatti dialoga con l'antropologia forense, con gli archivi militari e con le indagini storico-documentarie, configurandosi come una pratica interdisciplinare ad alta intensità metodologica.

Vengono presentati due casi di studio portati a termine sulle coste dell'Alto Adriatico dedicati a una ricollocazione di incidente bellico occorso a un B-24 (Fig. a) nei pressi di Comacchio (Caso 1) e al riconoscimento di un B-17 (Fig. b) al largo di Ravenna (Caso 2). Le due missioni sono state portate a termine con due campagne ciascuna.

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

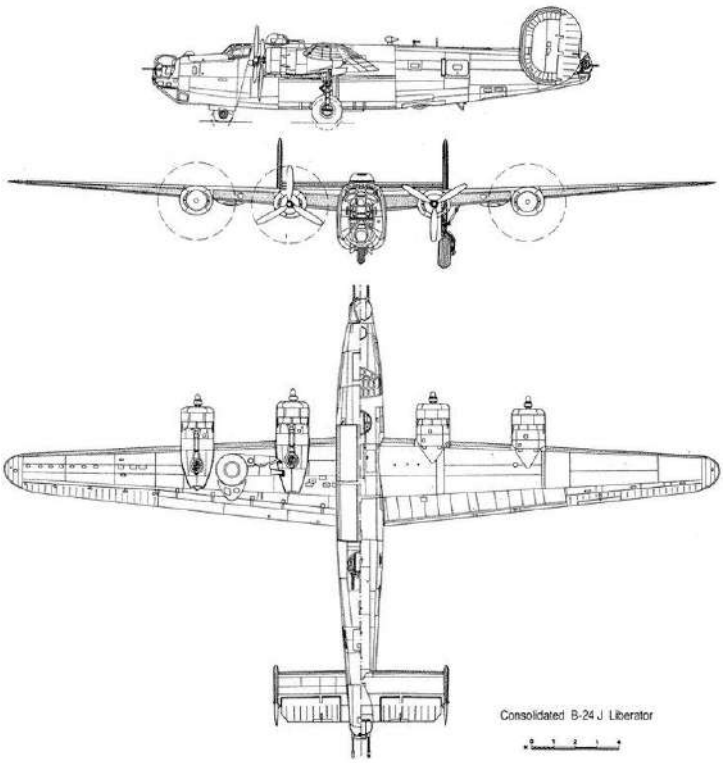


Figura a – Disegni schematici di un modello di B-24 (da https://ww2aircraft.net/forum/threads/technical-drawings-b-24.5435/ accesso 30/10/2025).

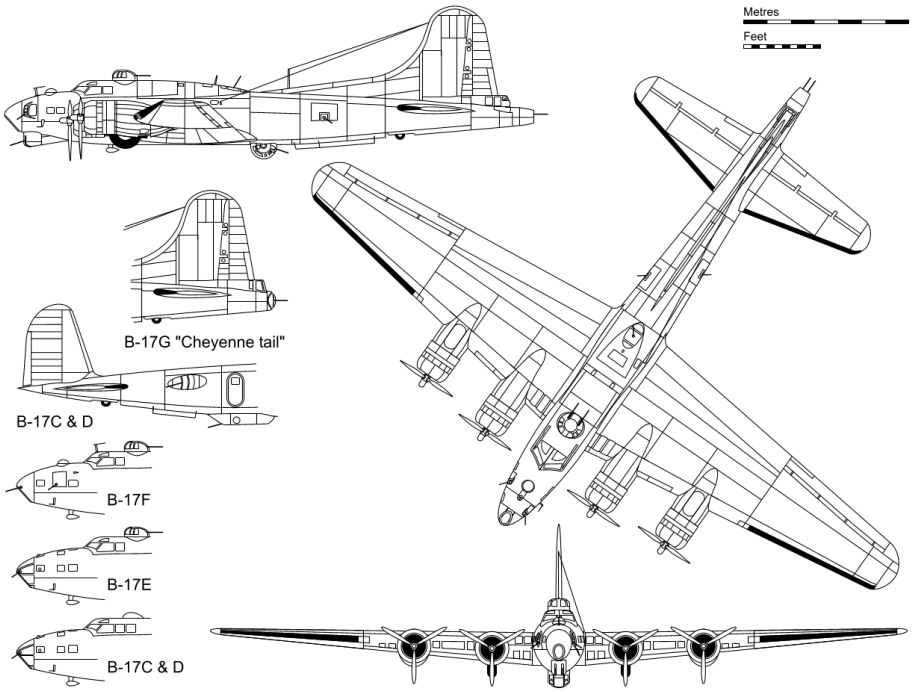


Figura b – Disegni schematici di alcuni modelli di B-17 (https://it.wikipedia.org/wiki/Boeing_B-17_Flying_Fortress CC BY-SA 2.5, accesso 30/10/2025).

II.I

CASO DI STUDIO 1

BARO ZAVELEA, COMACCHIO (FE)

B-24

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.I.1 La prima campagna

La ricerca archeologica forense portata a termine presso il Baro Zavelea (Comacchio FE) tra 2021 e 2022 si inserisce nell'ambito delle concessioni per ricerche non invasive attraverso una collaborazione internazionale tra più istituzioni: Project Recover[27], Partnerships and Innovations Defense POW/MIA Accounting Agency USA, Henry M. Jackson Foundation USA, Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Bologna e le province di Modena, Reggio Emilia e Ferrara, con l'ausilio del Nucleo TPC Bologna, dei Carabinieri del Comando Stazione di Comacchio (FE), della Prefettura di Ferrara, del Parco del Delta Emilia Romagna e del Consorzio di Bonifica di Ferrara. Il gruppo di ricerca ha ricevuto la concessione per indagini non invasive[28] presso la Valle Fossa di Porto Comacchio (FE), anche con il nulla osta del Parco del Delta, Settore Emilia Romagna[29], portando termine a Comacchio in località Fosse, Baro Zavelea, una serie di indagini strumentali mirate al riposizionamento dell'incidente aereo occorso il 28 dicembre 1943, a uno dei 17 bombardieri B-24 del 376° Gruppo Bombardamento Pesante, 15° Aeronautica Militare statunitense, prima di raggiungere l'obiettivo, attaccato da caccia nemici. Le indagini *remote sensing* si svolte dal 17 settembre 2021 al 5 Ottobre 2021 e hanno visto una seconda fase di documentazione nell'agosto 2022 con lavoro in raccordo tra Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Bologna e le province di Modena, Reggio Emilia e Ferrara e Soprintendenza Nazionale per il patrimonio culturale subacqueo nella figura della scrivente portando a termine una sessione di topografia con drone aereo finalizzata al posizionamento di *small finds* ascrivibili al relitto di un bombardiere americano.

II.I.2 L'area di indagine

Il sito principale delle indagini corrisponde all'area dell'oasi Baro Zavelea, una riserva naturale protetta di forma triangolare con estensione di ~650.000 m^2 comprendente una serie di canali e aree allagate, con profondità variabile da 5 cm a 1,5 m (Fig. II.I.2 - 1).

[27] Project Recover è un'organizzazione senza scopo di lucro che, coinvolgendo scienza e tecnologia del XXI secolo si impegna nella ricerca e nel rimpatrio di cittadini americani dispersi in azioni di guerra (MIA – *missing in action*), al fine di garantire riconoscimento e conclusione alle famiglie e alla nazione. (https://www.projectrecover.org/).

[28] Concessione: MIC|MIC_SABAP-BO|30/08/2021|0020674-P - Comacchio (FE) - Istanza per rilascio di concessione per esecuzione indagini non invasive (Circolare 14 MIC|MIC_DG-ABAP_SERV_UO1|31/03/2021|0010749-P) dedicate a ricerche archeologiche forensi relative a incidente aereo occorso a velivolo americano nel 1943 presso Baro Zavelea, Comacchio (FE). Autorizzazione ai sensi degli artt. 88 e 89 del D. Lgs.42/2004#39558191#.

[29] Istanza: 2021/00414/NO_ORD_INC - Indagini archeologiche forensi presso l'area di Valle Zavelea. Nulla osta e valutazione di incidenza ambientale (Prot. 2021/0005952 del 17/08/2021) [MSG000012457|2021/0005952]. Il gruppo di lavoro sul campo, oltre alla scrivente, Lead Archaeologist per Project Recover, era costituito da Pat Scannon, Derek Abbey, Aldo Costigliolo, Daniel O'Brian, con la collaborazione di Pro Ambiente (Fabrizio Del Bianco, Francesco Riminucci, Gianluca Zuffi per il *remote sensing*, settore idrografia); Scubalandia S.r.l. di Guido Lapucci, Caterina De Seta tecnici metal detector, Skyfront, Carlos Garcia per il drone aereo con magnetometro insieme al geofisico Stev Thomas).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Figura II.I.2 - 1- Immagine satellitare di Google Earth (consultata il 20/03/2021). Comacchio (FE), Baro Zavelea. Triangolo giallo: area di indagine primaria, poligono rosso, area secondaria (elab. G. Bucci).

L'oasi naturalistica si trova a est della SP 72, Argine Agosta - Via per Anita, a Nord-Est alla Stazione Bonifica Impianto Fosse e dista circa 8 km da Comacchio. A sud si trovano il Canale Fosse, sovrapposto a un settore del fiume romano *Vatrenus* e la Valle Fossa di Porto, terminante con il Casone Garibaldi, antica dimora storica bombardata nella Seconda Guerra Mondiale e ricostruita.



Figura II.I.2 – 2 – Comacchio, Valle Fossa di Porto, Casone Garibaldi (foto: G. Bucci).

Per razionalizzare il lavoro sono stati definiti un settore primario (evidenziato in giallo nell'immagine satellitare) e un settore secondario (in rosso) (Fig**.** II.I.2 - 1).

Il sito ha subito profonde trasformazioni, soprattutto a partire dagli Anni Cinquanta; le opere di bonifica per rendere praticabile l'area sono state eseguite da grandi mezzi meccanici, pontoni, *dragline*, ruspe, escavatori, pompe per il prosciugamento e lo scolo delle acque. In base alle delucidazioni ricevute dal Consorzio di Bonifica di Ferrara, da Barbara Guzzon (Ex Responsabile Archivio del Consorzio), sembra che nei tentativi di bonifica dell'area del Baro Zavelea si cercasse di accumulare parte del fango proveniente dallo scavo nell'area sudovest del Baro.

Il settore di indagine primario, negli Anni Ottanta, era destinato alla pesca, per poi diventare nel 2002 un'oasi naturalistica protetta.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.1.3 Contesto geo-ambientale

Il complesso geologico del Baro Zavelea si inserisce nel contesto delle dune costiere e delle antiche linee di costa, con particolare riferimento ai periodi etrusco, romano e tardoromano[30] (Fig. II.I.3 – 1).

Le litologie attestate sull'area di indagine sono caratterizzate da sabbie medio-fini in strati di spessore decimetrico, intervallate da sabbie limose fini e molto fini, localmente sabbie grossolane a corpi lenticolari e nastriformi.

Si trovano depositi di canale distributore, quali argille limose, limi e sabbie finissime organizzate in strati decimetrici intervallati da livelli torbosi e materia organica parzialmente decomposta. Nella stratigrafia sono presenti localmente conchiglie di molluschi, sabbie limose fini e finissime. Vi sono depositi costieri (paleorive), cordoni litorali e dune di sabbia di derivazione eolica con intercalati livelli decimetrici di gusci di molluschi, con strati interni di limi sabbiosi e materia organica parzialmente decomposta, anche con depositi di palude salmastra (Fig. II.1.3 - 1).

Nello specifico l'area di ricerca primaria è caratterizzata in superficie da limo grigio (colore N4 Munsell) e argilla bruna (N2 Munsell), argilla limosa e sabbia grigia; acqua salmastra e vegetazione tipica della zona, ovvero canneto fitto (min 0,00; max visibile cm 0,50), salicornia e con tamerici ai margini della laguna (Fig. II.1.3 - 2). Le acque raggiungono profondità massima m 1,80.

La zona di indagine secondaria I, a ovest dell'Argine Agosta – Via per Anita, è un'area agricola, caratterizzata da argilla grigio chiaro (5Y 6/2 Munsell) e sabbia giallastra (5Y 6/4 Munsell) (min 0,20; max visibile -0,50 cm) (Fig. II.1.3 - 3). la zona secondaria II, si trova in corrispondenza del Canale Fosse (Fig. II.1.3 - 4); la zona secondaria III, a sud del Canale Fosse è una spiaggia di argilla e sabbia grigia immergente verso sud (Fig. II.1.3 - 5).

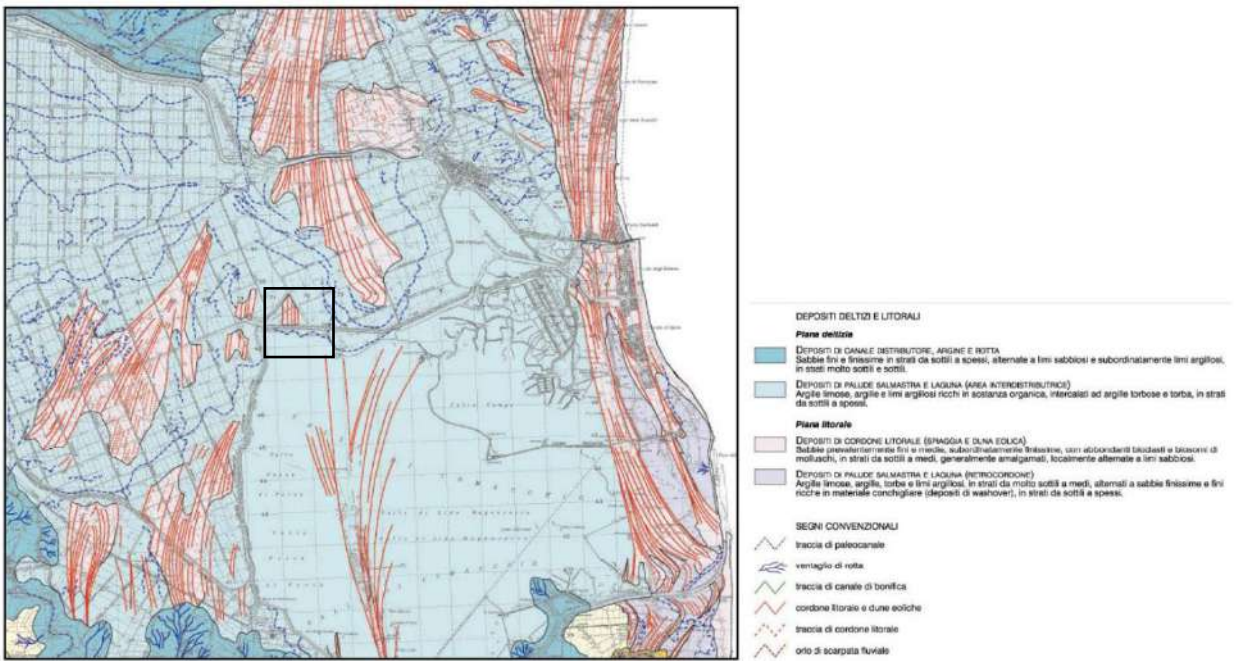


Figura II.I.3 - 1 Paleodune e antiche linee di cosa in rosso; nel riquadro area di indagine – (da *PIANO DI GESTIONE IT4060002 SIC - ZPS Valli di Comacchio, Revisione 2015)*.

[30] Per gli studi geologici specifici dell'area oggetto di studio: (v. BONDESAN 1984, 1990; BONDESAN – BUCCI 1972; SARTI, CENTINEO, CALABRESE 2009 VEGGIANI 1982).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

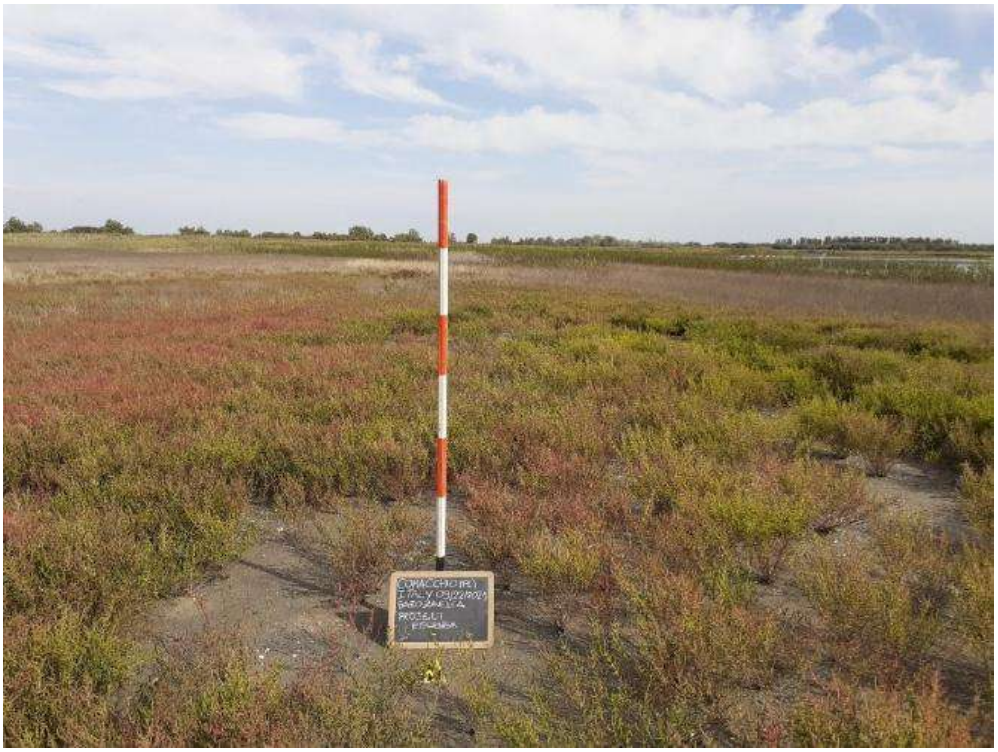


Figura II.1.3 – 2 -Comacchio (FE), Baro Zavelea, panorama dell'area di indagine principale.



Figura II.1.3 - 3 - Comacchio (FE), Baro Zavelea, panorama dell'area di indagine secondaria I, a ovest dell'Argine Agosta – Via per Anita (Tenuta Vallone).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Figura II.1.3 - 4 - Comacchio (FE), Baro Zavelea, panorama dell'area di indagine secondaria II, Canale Fosse.



Figura II.1.3 - 5 - Comacchio (FE), Baro Zavelea, panorama dell'area di indagine secondaria III, Valle Fossa di Porto, margine nord-ovest.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Sono state documentate su gran parte del fondo della palude strutture calcaree costituite da policheti. Questi si sono rivelati un forte disturbo nella lettura indiretta della stratigrafia, poiché tendono a bloccare gli impulsi geofisici, compromettendone la lettura (Fig. II.1.3 - 6).



Figura II.1.3 - 6 - Comacchio (FE), Baro Zavelea, campione delle strutture calcaree create dai policheti.

II.I.4 Metodologia d'indagine

Gli strumenti adoperati per il *remote sensing* survey sono stati un magnetometro montato su drone esacottero, un metal detector a moduli, un drone idrografico dotato di *Echo Side-scan sonar, singlebeam* e *sub-bottom profiler*.

Il magnetometro MagArrow di Geometrics, con scocca in fibra di carbonio, agganciato a drone aereo Perimeter 8 Skyfront, dotato di GPS, sensori IMU, scheda SD, ha lavorato con frequenza di campionamento di 1000 Hz sincronizzata con GPS (Fig. II.I.4 – 1-2).



Figura II.I.4 - 1 - Drone esacottero Perimeter 8.



Figura II.I.4 – 2 - Magnetometro MagArrow.

I rilievi sono stati completati alla velocità di 10 m/s con dati raccolti ogni cm, seguendo lo schema di rilevamento allineato Nord/Sud con 5 m nominali di spaziatura orizzontale. Il sensore ha volato a quota +5 e +15 m, seguendo le indicazioni ENAC. Il drone con magnetometro ha coperto un'area pari a m^2 181.112,00 (Fig. II.I.4 - 3).

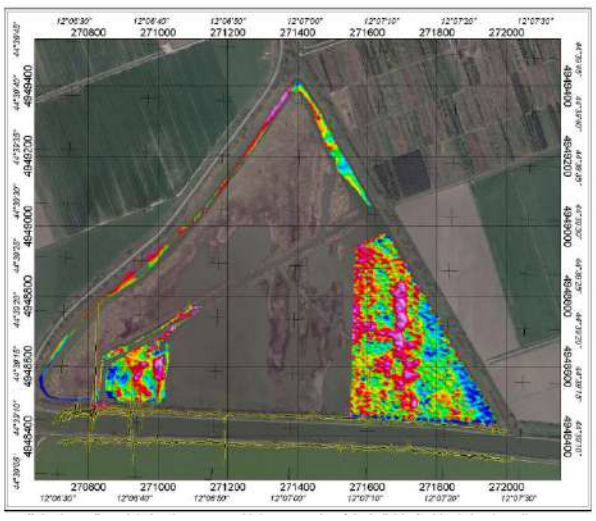


Figura II.I.4 - 3 Comacchio (FE), Baro Zavelea, area indagata con magnetometro (elaborazione S. Thomas).

Il metal detector "Grande spira" Scubalandia a bobina grande, progettato per

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

ambiente terrestre e acquatico, dotato di sistema di localizzazione, integrato con sistema satellitare per la mappatura, è uno strumento modulare di m 1 × 4, cui è stata applicata una sonda aggiuntiva di 20 cm di diam. per le indagini in acqua. Lo strumento è stato trainato in acqua da una barca in alluminio a fondo piatto e a spalla sulla terraferma (Fig. II.I.4 - 4). Il metal detector ha coperto un'area di indagine pari a m^2 47.000,00 (Fig. II.I.4 - 5).



Figura II.I.4 - 4 - Metal detector "Grande spira".



Figura II.I.4 - 5 - Aree indagate con metal detector: azzurro settori Nord e Est, beige isola "grande", grigio, angolo Sudovest (G. Lapucci).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Il drone idrografico, *USV Unmanned Surface Vehicle OpenSWAP Shallow Water Autonomous Prospector* (hydrosuite) è un veicolo robotizzato (dimensioni fuori tutta di 120 × 120 cm), strumento a zero impatto ambientale, basso pescaggio, controllato da stazione remota da un operatore che segue in tempo reale la navigazione e l'andamento dei parametri operativi, è stato equipaggiato con sensore batimetrico *single-beam echo sounder* (200 kHz), profilatore stratigrafico *sub-bottom profiler* (10-50 KHz), s*ide-scan sonar* Tritech StarFish 990F (900 kHz) (Fig. II.I.4 - 6), disponendo anche un mini gommone di assistenza.



Figura II.I.4 - 6 - Drone idrografico Open Swap.

Le indagini con drone idrografico hanno investigato in totale m^2 622.960,00 (Fig. II.I.4 - 7).



Figura II.I.4 - 7 - Immagine satellitare di Google Earth: aree indagate con drone idrografico (profilo azzurro) – accesso Google Earth 11.15.2021, 9,00 PM.

Utilizzando la combinazione di tecnologie integrate e con le ricerche di superficie, il team ha rilevato un totale di ~800.000 m^2.

Tutte le scansioni sono state completate con una geometria il più possibile rigorosa, basandosi su *swath* paralleli Nord-Sud, nonostante le grosse difficoltà create dalle grandi e diffuse formazioni calcaree create dai policheti, semi-affioranti e piani paludosi non calpestabili. La profondità di indagine indiretta massima ha raggiunto i 9 m al di sotto dei fondali e dei piani di calpestio attuali.

Sono state portate a termine anche ricognizioni dirette visive sul campo, dove il territorio risultava accessibile e calpestabile: è stato completato il censimento visivo su 222.300 m^2 (Fig. II.I.4 - 8).



Figura II.I.4 - 8 - Immagine satellitare Google Earth, ricognizione a piedi, *visual census* (aree evidenziate con profilo viola (accesso 11/15/2021, 9,00 PM).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.I.5 Risultati delle ricerche

Le indagini hanno rilevato grosse anomalie geomorfologiche riguardanti paleo-suoli, paleoalvei, dune e cordoni litorali antichi e anomalie riconducibili a oggetti metallici.

Il drone aereo con magnetometro ha raccolto dati magnetici ritenuti utilizzabili e ha mostrato paleodune residue. La dislocazione Nord a Sud segue il sistema di dossi del litorale romano (paleosuoli sono dati identificati anche dal drone idrografico a 8 m di profondità confermando i dati geologici) (Fig. II.1.5 - 1).

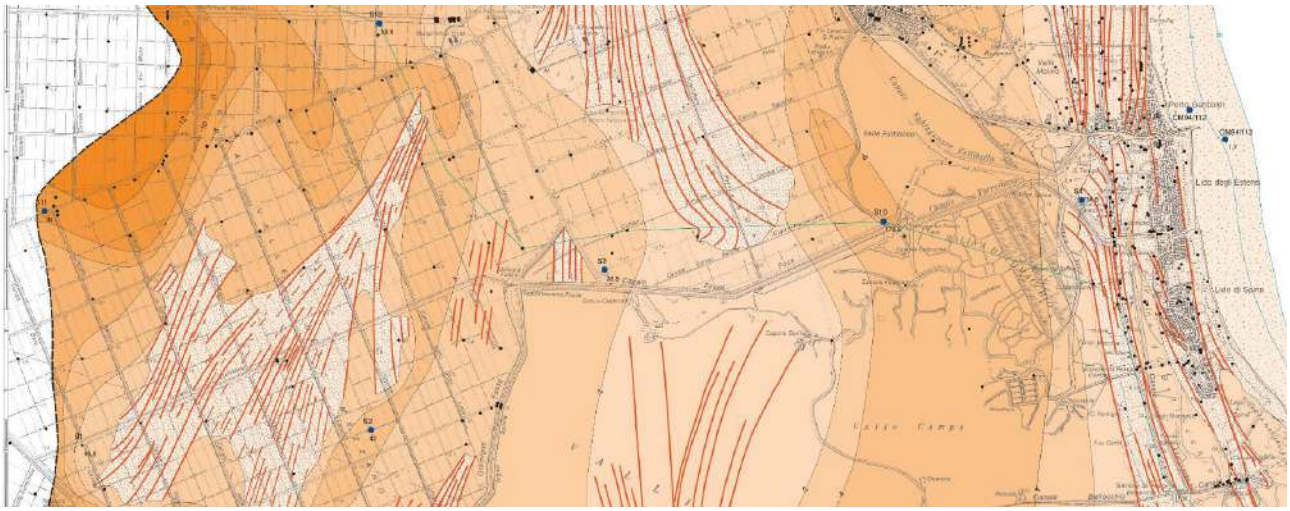


Figura II.I.5 - 1 - Paleodune e antiche linee di costa (in rosso) – (da *Carta Geologica d'Italia 1:25000 online https://www.openaccessrepository.it/records/159974).*

Il metal detector ha rilevato inizialmente 79 anomalie su 44.000 m^2. L'analisi dei dati rilevati effettuando una scrematura tra i elementi evidenti e quelli che potevano essere trascurabili, porta a evidenziare 29 anomalie, concentrate sul lato Nord Ovest del triangolo, sul canale Est e sull'angolo sud-ovest. Un paio di punti sono invece sulla grande isola occidentale.

Il drone idrografico è stato in grado di scansionare 575.960 m^2, sovrapponendo alcune aree per ottenere risultati migliori, comprese le aree secondarie dell'indagine (il Canale Fosse e il settore della laguna sud fino al Canale Fosse).

Il complesso degli strumenti che equipaggiavano l'OpenSWAP ha rilevato elementi naturali e artificiali. Delle 13 anomalie rilevate dall'*hydrosuite*, 6 sono forse riconducibili ad oggetti, 3 sono riconducibili ad anomalie naturali, probabilmente bolle di gas, e 4 sono riconducibili allo scavo artificiale del canale Est durante gli Anni Ottanta.

Le anomalie sono state oggetto di approfondimenti e studi.

Per una migliore comprensione della posizione dei reperti, relativa alla loro stratificazione, e alla loro possibile relazione reciproca, è stata prodotta una classificazione delle anomalie suddivise per profondità di rilevamento, anche in funzione di un possibile scavo.

La classificazione per profondità è divisa in 4 categorie principali *a, b, c, d* con le seguenti profondità medie: *a*, 0,00 -1,00 m, *b,* -1,00 -1,77, *c*, -2,00 -2,43 m, *d*, -3,50 -5,60.

È possibile rilevare come si attesti il maggior numero di anomalie ad una profondità compresa tra -1,00 e 1,77 m (41%); il 28% delle anomalie è vicino alla superficie del

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

fondo; il 17% è compreso tra -2,00 e -2,43 m; il 14% raggiunge quote molto profonde, con una profondità massima di -5,60 m (Grafico 1).

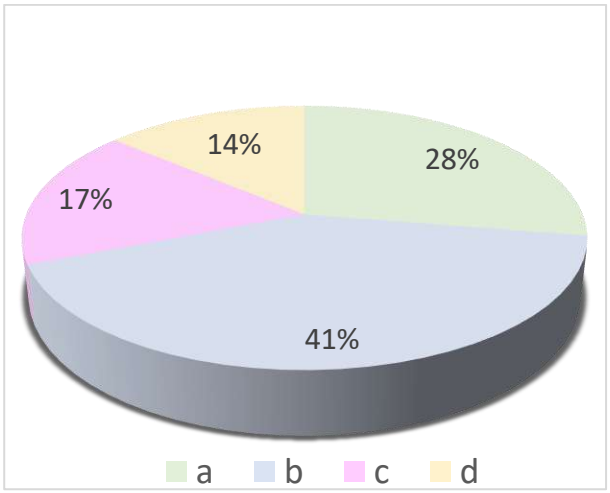


Grafico 1 – Indagini con metal detector - ripartizione percentuale delle anomalie per profondità (elab. di G. Bucci).

Esaminando i dati provenienti dal drone idrografico si registrano le seguenti percentuali per classe si attestano *a* 46%, *b* 23%, *c* 31%, *d* zero (Grafico 2).

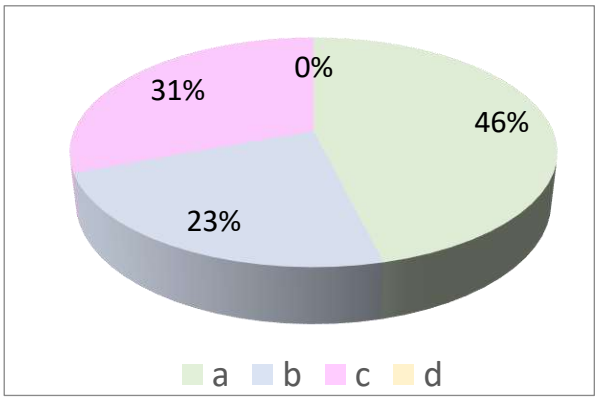


Grafico 2 – Indagini del drone idrografico - ripartizione percentuale delle anomalie per profondità (elab. di G. Bucci).

Osservazioni sulle principali anomalie rilevate.

Il rapporto del metal detector evidenzia alcune anomalie importanti più grandi: N. 10 -11, Canale Est con grandi misure fino a 4 m di lunghezza e 3 m di larghezza.

La posizione delle anomalie 18, 19, 20 (metallo) coincide con le n.4 e 5 del drone idrografico.

Il software del metal detector ha rilevato le seguenti misure: 1,45, 2,01, 1,77 m; l'hydrosuite ha rilevato 2 anomalie: n.4 di circa 2 m di lunghezza e 1 m di spessore, n.5 di circa 1 m di lunghezza.

Le anomalie metalliche nn. 25-29 a terra, presso l'angolo Sudovest, hanno una grande estensione, ma la forma esatta non è riconoscibile.

Allo stato attuale degli studi, l'unica possibile anomalia ricollegabile agli elementi aeronautici potrebbe essere la n.1: un elemento semicircolare di 2 m di diametro potrebbe forse connesso a un secondo elemento rettilineo ravvicinato o attaccato, lungo 4 m: questi 2 reperti potrebbero far parte di telai e paratie della cintura della fusoliera (v. *infra*).

Tra le 13 anomalie segnalate dai geofisici, dobbiamo notare che 6 possono essere riferite a possibili oggetti.

La dispersione degli elementi metallici sembra attestata principalmente su 3 zone, ma la restrizione dell'indagine causata da un contesto naturale non collaborativo (acqua, fango, strutture calcaree create dai policheti, fitta boscaglia) e il cedimento del drone aereo potrebbero avere in parte compromesso la lettura precisa di alcuni settori dell'area di indagine.

Considerazioni stratigrafiche in base alla posizione e alla profondità dei reperti.

È necessario precisare che nel secolo scorso sono stati effettuati numerosi scavi per rimodellare il fondo dei canali perimetrali del triangolo del Baro Zavelea, il che implica la possibilità di ritrovare stratigrafie invertite. I dati del drone acquatico rivelano ampie zone scavate e dragate, soprattutto sul canale Est (lunghezza 100 m, profondità fino a m 2,80). È evidente che ciò non consente una lettura diacronica continua degli elementi stratigrafici.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Occorre quindi cercare di fare sistema tra le combinazioni di profondità e il possibile tipo di scoperta in relazione al materiale stesso.

La profondità non è in questo caso un elemento discriminante, soprattutto se si pensa al possibile affondamento dei vari componenti dell'aereo che probabilmente è esploso prima di un tentativo di ammaraggio.

Le opere di bonifica, a loro volta, a partire dagli Anni Cinquanta, hanno sicuramente modificato il fondo della valle, ora parzialmente emerso, nel tentativo di prosciugare il territorio.

Altro elemento da considerare nell'ambito delle opere di bonifica eseguite con grossi mezzi meccanici invasivi che possono aver lasciato in dispersione elementi metallici, staccati dalle strutture delle gru, sorbone e pontili, ma anche attrezzi manuali caduti in acqua. Inoltre, l'utilizzo del Baro Zavelea come riserva di pesca, pone certamente problemi in relazione alla dispersione di elementi metallici nell'area primaria di indagine, mi riferisco in particolare agli attrezzi da pesca fissi e portatili (Figg. II.I.5 – 2,3,4).



Figura II.I.5 – 2 - Comacchio (FE), 1955, lavori di bonifica (Guzzon 2017).



Figura II.I.5 – 3 - Comacchio (FE) 1953: sistemi di scarico delle attività di bonifica (Guzzon 2017).

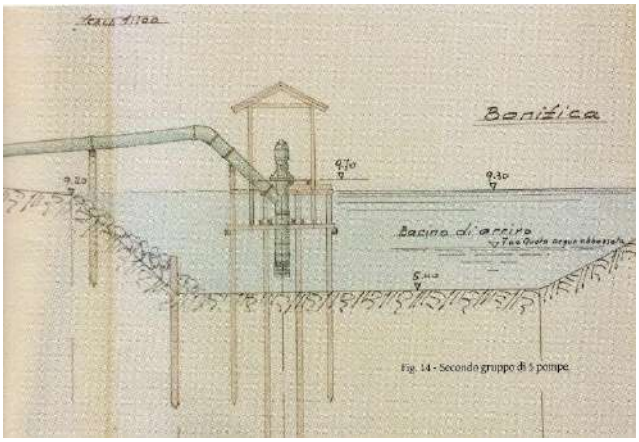


Figura II.I.5 – 4 - Archivio del Consorzio di Bonifica: 1953, disegno dell'impianto dell'Impresa Mazzacurati per la bonifica di Comacchio (Guzzon 2017).

Bisogna considerare che nel 1943, ai tempi dell'incidente occorso al B-24, il territorio era occupato dalla laguna. L'aereo probabilmente si è schiantato in acqua e visti i risultati delle indagini portate a termine si pensa che il velivolo sia esploso prima dell'impatto con l'acqua.

I possibili pezzi relativi a un aeromobile appaiono dispersi nell'area primaria.

I testimoni locali parlano di componenti di aerei della Seconda Guerra Mondiale recuperati occasionalmente. Almeno due testimoni secondari indipendenti hanno affermato che almeno un motore, una pala di elica con altri detriti sono stati rimossi

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

dall'angolo sud-ovest del triangolo investigato. Un terzo testimone ha affermato di aver parlato con un anziano (nome sconosciuto) che ricorda resti di un aereo nella stessa posizione.

L'elettro-metal detector e il sistema *hydrosuite* hanno portato informazioni preziose, rilevando anomalie che potrebbero essere legate al contesto dello schianto.

Con il team, abbiamo studiato in dettaglio la morfologia delle anomalie per fare confronti con i componenti dei velivoli. Dopo approfondite ricerche bibliografiche, relative all'ingegneria e alle strutture meccaniche del B-24, si può ipotizzare che alcuni elementi, rilevati indirettamente, appartengano a parti di un aeromobile.

Come accennato, uno dei dati più interessanti appartiene all'anomalia n.1 rilevata dal drone idrografico tramite *echo side-scan sonar*: un elemento semicircolare di 2 m di diametro, collegato (o affiancato) da un longherone della nervatura della carlinga (lunghezza 4 m), si trova sul fondo del canale Ovest nel settore Nordest; entrambi gli elementi sono visibili dalle immagini del sonar a scansione laterale (Fig. II.1.5).

Studiando il confronto delle morfologie e delle misure, vediamo che potrebbero adattarsi a possibili parti dei telai delle cinture di fusoliera e delle paratie di un B-24. Un confronto con i dettagli della struttura del velivolo B-24 con elementi compatibili è qui riportato (Fig. II.1.6).

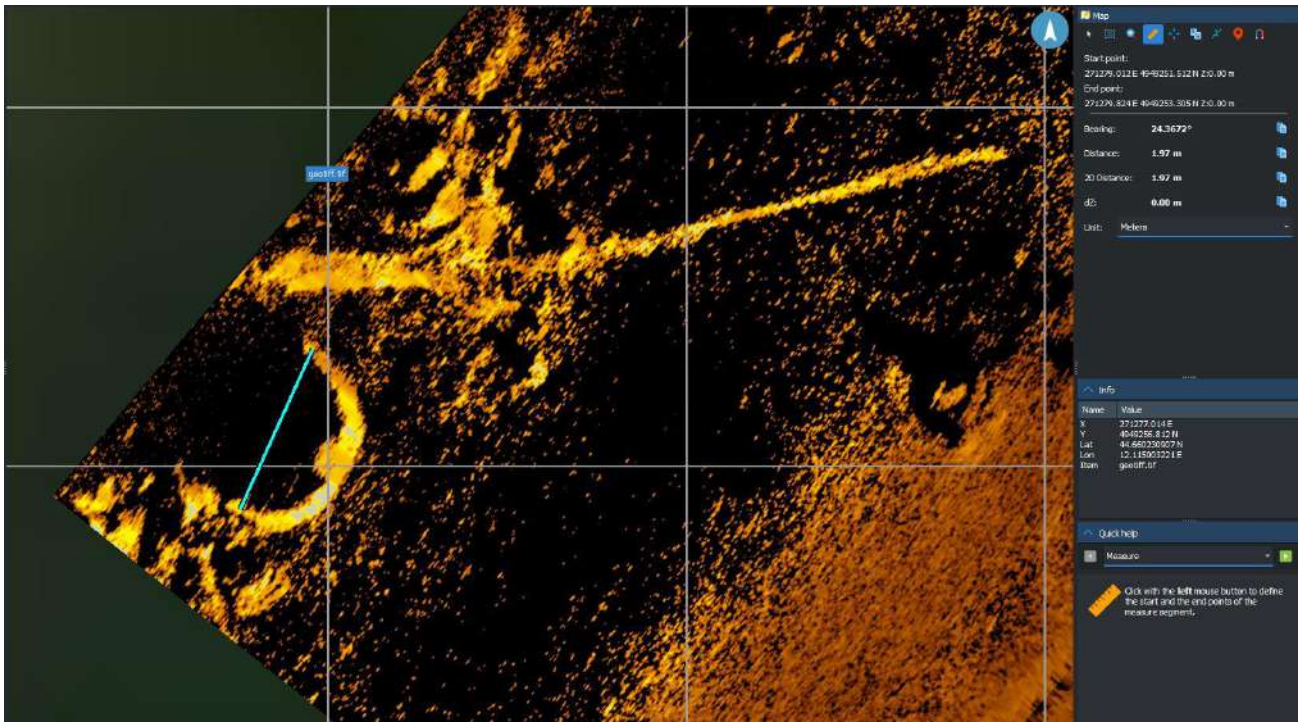


Figura II.I.5 – 5 - Immagine da *echo side-scan sonar* con elemento semicircolare a sud di una lunga barra (F. Del Bianco).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

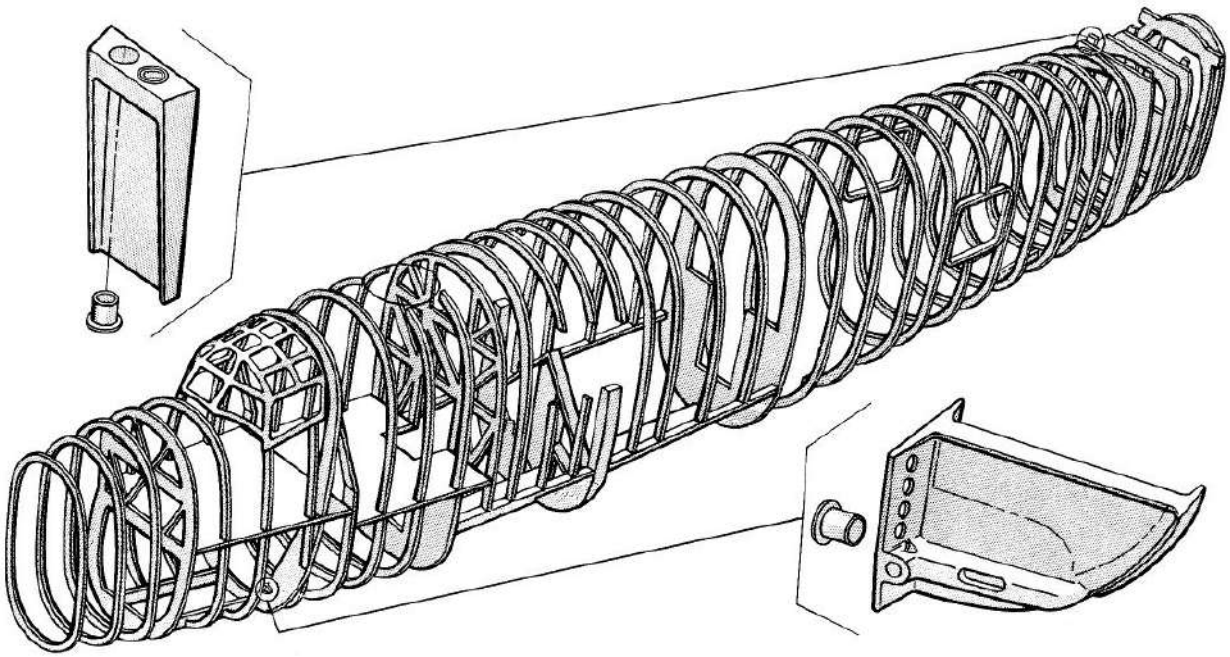


Figura II.I.5 – 6 – Bombardiere B-24, Telaio e paratie della fusoliera (FAMME, 2005).

Il *sub-bottom profiler*, come detto, ha rilevato un paleosuolo a circa 8,00 m di profondità, ascrivibile all'ultima glaciazione.

Più difficile è l'interpretazione delle anomalie 2, 3, 4, 5, 6 che mostrano nell'immagine del profilo inferiore una grande iperbole di diffrazione. No.2, lunghezza ca. m3; n.3, lunghezza ca. m 2; n.4, lunghezza ca. m 2, spessore m 1; n.5, lunghezza ca. m1, 6 lunghezza ca. m 1. Anche queste anomalie non sono profonde (Fig. II.I.5 - 7,8).

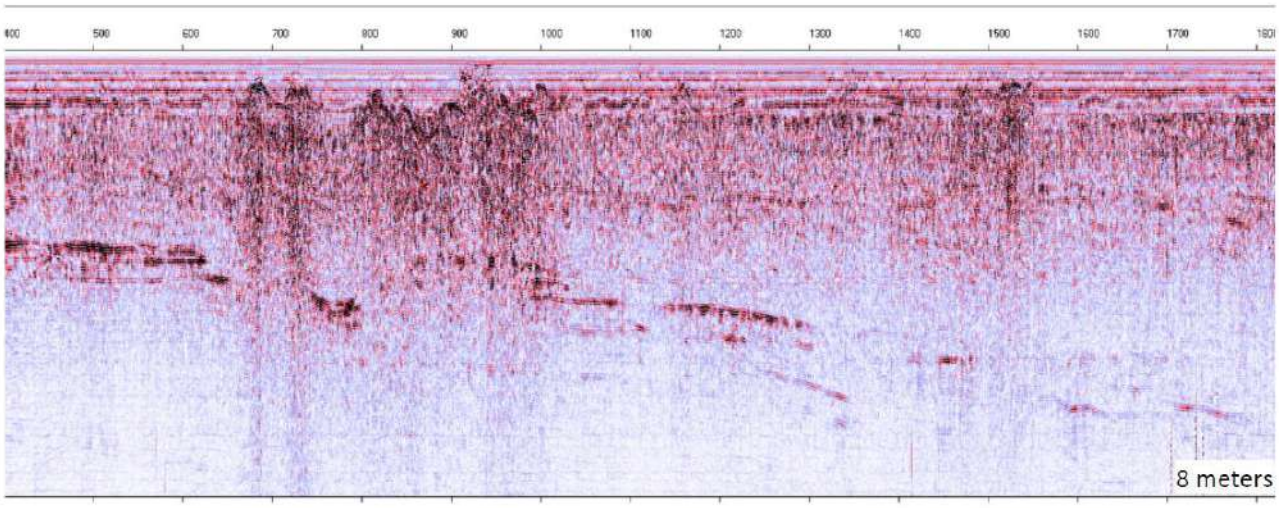


Figura II.I.5 – 7 - Paleosuoli individuati dal *sub-bottom profiler* (elab. F. Del Bianco).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

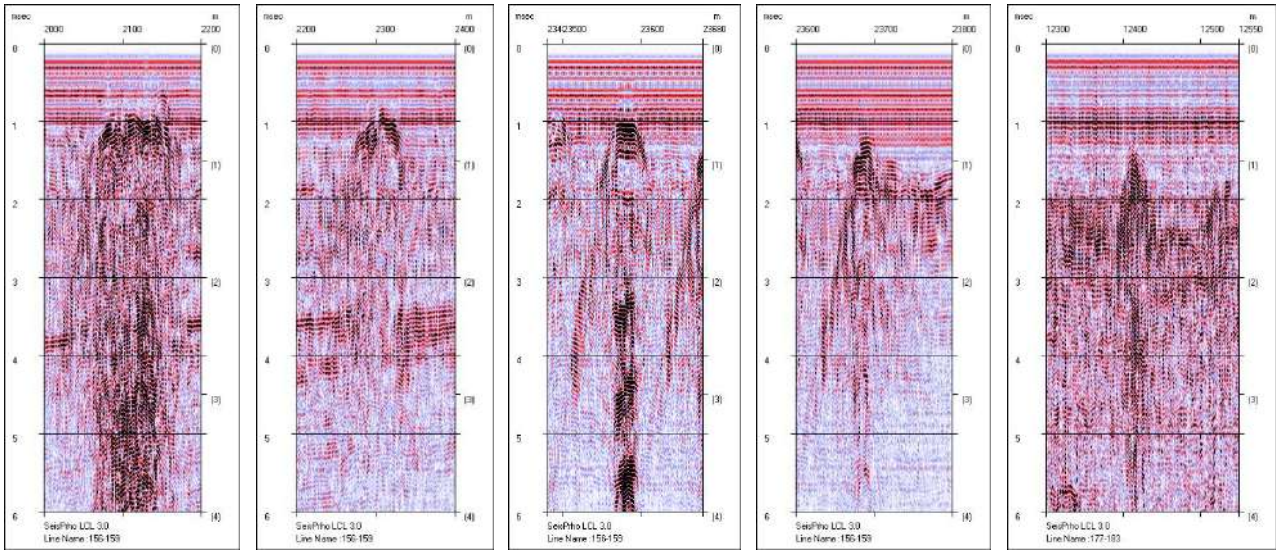


Figura II.I.5 – 8 - Anomalie rilevate dal drone idrografico nn. 2, 3, 4, 5, 6 (elab. F. Del Bianco).

Nel canale Est sono attestate due grosse anomalie, rilevate dal metal detector. L'anomalia n. 10 misura ca. 3-4 m, situata a 1-1,90 m di profondità, l'anomalia n.11 che misura circa 4,00 m e scende da m -1,80 a -3,36: potrebbero essere elementi da correlare all'aereo (Fig. II.I.5 - 9).

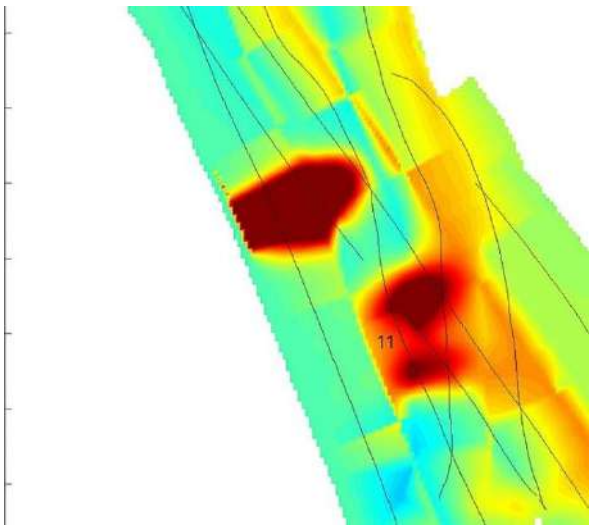


Figura II.I.5 – 9 - Anomalie magnetiche nn. 10-11 rilevate dal metal detector nel canale est (elab. G. Lapucci).

Non è possibile formulare un'ipotesi sull'esatta morfologia delle anomalie riscontrate in questo settore in base allo stato degli studi realizzati, ma alla luce dei riscontri della ricognizione 2022 è possibile contestualizzare questi dati nell'ambito dell'incidente aereo.

Altre aree caratterizzate da anomalia metallica molto riflettente si trovano nell'angolo sud-ovest del Baro Zavelea (nn. 25 - 29 – Fig. II.I.5 - 10).

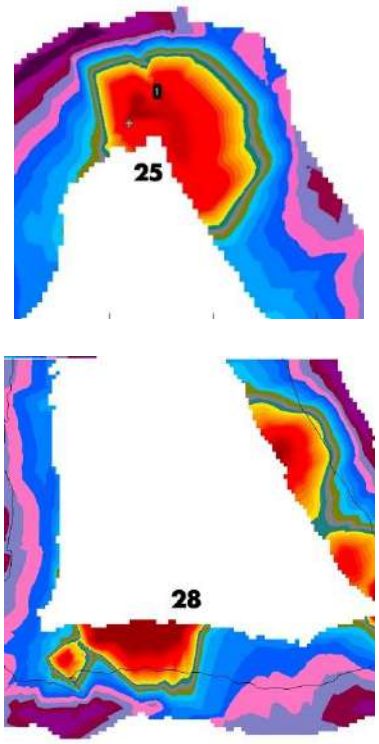


Figura II.I.5 – 10 – Esempi di anomalie magnetiche rilevate dal metal detector nel settore sud-ovest nn. 25, 26, 27, 28, 29 (elab. G. Lapucci).

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Sono stati effettuati anche controlli specifici in rapporto a impianti attuali in sito relativi a un metanodotto. Siamo certi che non ci sia alcun collegamento tra il gasdotto Snam che corre lungo via Argine Agosta – per Anita, grazie a una verifica effettuata con i tecnici Snam che hanno provveduto insieme al team a un controllo di misure e profondità dello scavo per la condotta (e relative camerette) insieme alle dimensioni del tubo.

Le anomalie nel settore sudovest potrebbero essere riconducibili ad aeromobili, ma non è da escludere che appartengano a strumentazioni e impianti di pompaggio dismessi e abbandoanti; il sistema di bonifica consisteva in una sorta di fondazione mobile su pali, con grossi appoggi metallici, dotati di benne e benne da lancio per poter scavare in raccordo con sistemi di pompaggio, collegati con canali e strutture tubolari sospese – Cfr. Figg. IV.2 a-b e IV.3). Potrebbero esserci delle coincidenze morfologiche tra attrezzature e parti del velivolo non riscontrabili nella lettura dei dati strumentali.

Altre due ampie anomalie (nn. 23 e 24) si trovano sull'isola grande a nord della torre per il *bird watching*: un elemento forse riconducibile a un rivestimento (lunghezza di circa 2 m, solo parzialmente rilevabile).

Il confronto tra la mappa del metal detector e la mappa del drone idrografico individua alcune coincidenze, studiate mediante *overlay* mapping. Le anomalie di grandi dimensioni risultano sparse in più settori di indagine (Fig. II.I.5 - 11).



Figura II.I.5 – 11 - Vista in pianta generale delle principali anomalie rilevate forse relative a un velivolo (elab. G. Bucci, immagine satellitare Google Earth 12/06/2021).

Grazie alla raccolta di tutti i dati possiamo tracciare una possibile zona principale di potenziale interesse con un perimetro di 3.125 m e un'area di 334.000 m^2 (ma la dispersione degli elementi potrebbe essere maggiore). Lo studio della scomposizione percentuale per tipologia di anomalia suddivisa in tre classi principali, naturali (paleosuoli e sacche di gas), primi scavi artificiali di Bonifica, possibili oggetti, offre i seguenti risultati riferiti alle principali 42 anomalie: naturali 7%; scavi artificiali 10%; oggetti possibili 83% (Grafici 3 e 4).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

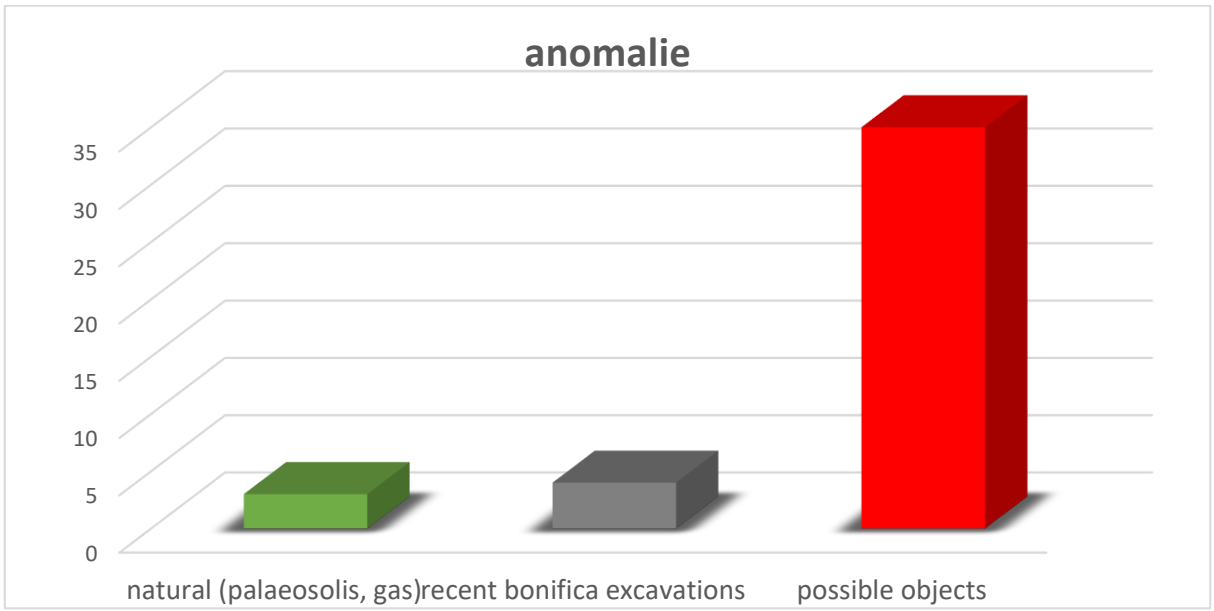


Grafico 3 – Istogramma suddiviso per tipologia di anomalia (elaborazione di G. Bucci).

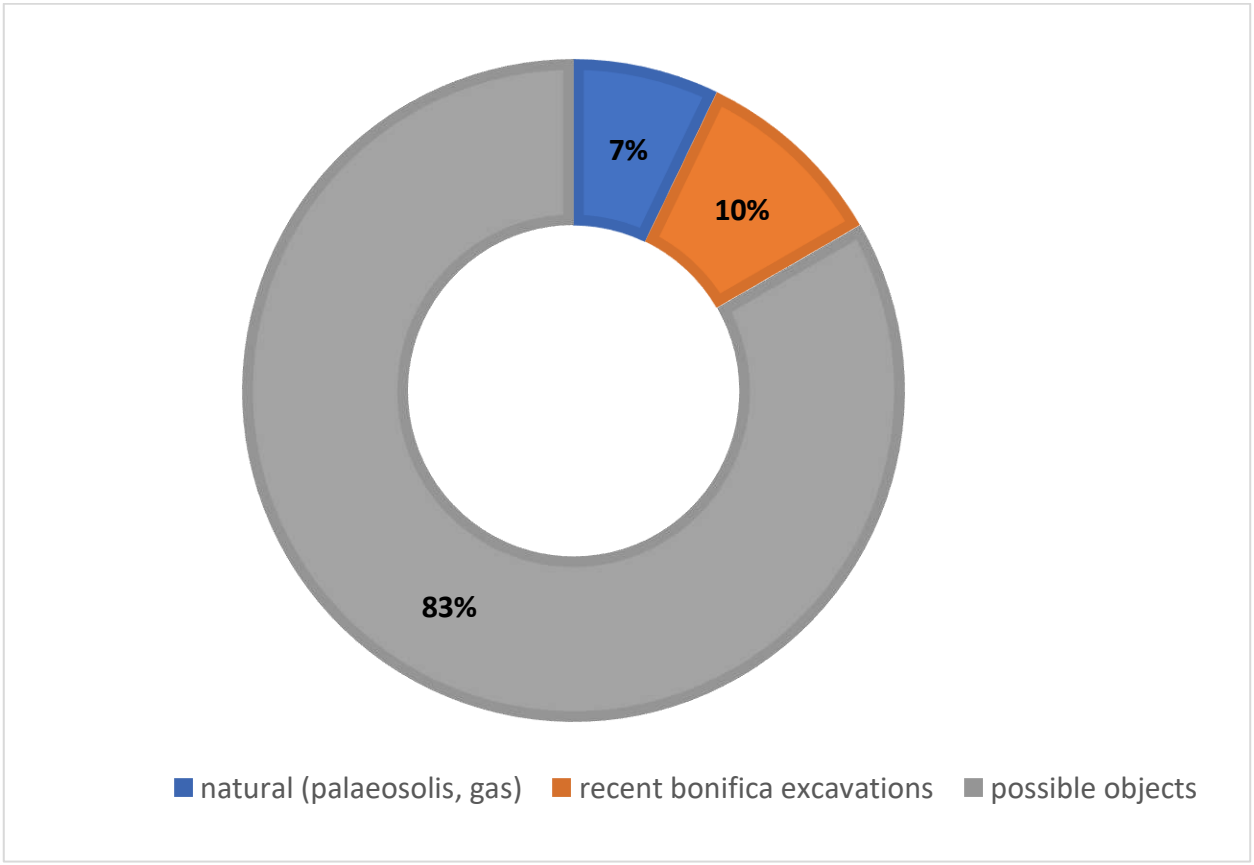


Grafico 4 – Grafico a corona circolare con ripartizione percentuale delle anomalie per tipologia (elaborazione di G. Bucci).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.I.6 La seconda campagna: survey topografico 2022

In data 03/08/2022, nell'ambito delle collaborazioni fra l'allora Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Bologna, Modena, Reggio Emilia e Ferrara e la Soprintendenza Nazionale per il patrimonio culturale subacqueo, è stato effettuato un sopralluogo sul sito semisommerso del Baro Zavelea, Comacchio (FE)[31], a seguito di una segnalazione pervenuta alla soprintendenza territoriale, nel periodo in cui a causa della straordinaria siccità del 2022, la Valle Zavelea si era quasi prosciugata e molti elementi riconducibili all'incidente del velivolo erano emersi su un piano di argilla grigia con grandi *mud cracks* parzialmente calpestabile (Fig. II.I.6 – 1,2).



Figura II.I.6 - 1 – Baro Zavelea, Comacchio (FE), 2022: panorama delle aree prosciugate dalla siccità (foto G. Bucci).



Figura II.I.6 - 2 – Baro Zavelea, Comacchio (FE), 2022: dettaglio dei *mud cracks* (foto G. Bucci)

[31] Autorizzazione SN-SUB in raccordo con SABAP-BO: MIC|MIC_SN-SUB|04/08/2022|0005778-P. La segnalazione è pervenuta dall'Archeologo del Comune di Comacchio Marco Bruni, cui va il nostro ringraziamento per la collaborazione tecnica ai rilievi topografici 2022.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Dopo un confronto tra le Istituzioni civili e militari italiane e americane, confermato l'interesse per una ricognizione dedicata alla possibilità di riconoscimento fisico delle anomalie precedentemente rilevate con gli strumenti, anche in relazione alla posizione effettiva, è stata completata una indagine diretta con documentazione fotografica con riferimento metrico e orientamento di tutti i reperti notevoli emersi, schedatura dei reperti notevoli in sito, senza rimozione secondo gli schemi dell'archeologia forense, rilievo fotogrammetrico mediante drone aereo DJI Mavic Air con posizionamento di tutti i reperti mediante GNSS con relative elaborazioni topografiche in QGIS.

Il *survey* si è protratto per Km 3,93, partendo dall'ingresso dell'oasi su Via Argine Agosta, per poi percorrere il margine spondale sud del Baro, tangente all'argine nord del Canale Fosse, arrivando al canale centrale che attraversa l'oasi in direzione nordest sud-ovest, ovvero la prosecuzione del Canale Bingotta, per poi raggiungere l'area con le emergenze storiche affioranti (Fig. II.I.6 - 3).



Figura II.I.6 - 3 – Posizionamento della ricognizione: overlay mapping GPS Samsung A32 su immagine satellitare Google Earth (accesso 05/08/2022).

In sito, sono stati collocati 4 riferimenti topografici, *GCP Ground Control Point*, per inquadrare l'area di studio tramite sistema satellitare globale di navigazione, *GNSS Global Navigation Satellite System*, e realizzare il fotopiano per il posizionamento di tutti i reperti.

Il drone con videocamera ha documentato l'area di dispersione sulla quale sono stati posizionati 256 reperti di cui 46 considerati notevoli per l'interpretazione dei dati.

I 46 reperti notevoli sono frammenti di profilati in alluminio con differenti morfologie, tubi in ferro con diversi diametri, frammenti di plexiglass curvi e piatti, piastre, proiettili calibro 50, molti nuclei di metallo fuso, alcuni raccordi tubolari in bronzo, una carenatura di mozzo d'elica con perni, un ammortizzatore di piccole dimensioni.

L'area su cui è stata effettuata la verifica si colloca tra i punti noti 6 e 11 del rilievo magnetometrico Lapucci effettuato nell'ambito delle ricerche 2021 insieme a Project Recover.

La possibilità di avere constatato *de visu* lo stato di conservazione molto precario dei reperti ha permesso di esaminare direttamente i frammenti, valutarne la tipologia, non sempre intuibile con precisione dalle indagini indirette, misurare e catalogare i rinvenimenti, effettuare i primi studi su classe e tipologia degli oggetti.

Gran parte dei ritrovamenti dovrebbero essere riconducibili a una mitragliatrice Browning M2 in dotazione ai B 24, dunque si intuisce che l'area del sopralluogo è interessata da resti del velivolo (forse prua o *gun turret* centrale, vista la presenza di numerosi frammenti di plexiglas curvi).

L'ampia dispersione del materiale, la presenza di altri pezzi relativi a un aereo presenti in altri settori del Baro Zavelea distanti centinaia di metri fanno pensare che l'esplosione del B-24 possa essere avvenuta poco prima di toccare l'acqua delle Valli.

Come descritto, a nordovest del Baro, per esempio, sono stati documentati dall'*echo side-scan sonar* un lungo longherone con parte dello scheletro della carlinga: l'insieme della strumentazione utilizzata nel 2021 ha permesso di dedurre che l'83% delle anomalie rintracciate è pertinente a oggetti metallici sparsi nei settori est e ovest dell'area triangolare del Baro Zavelea (area di investigazione primaria).

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Sono state scattate 94 foto con panoramiche del sito, dettagli dei reperti con riferimento metrico didascalia e orientamento; compilate 46 schede brevi di catalogazione dei reperti con numerazione progressiva, numerazione topografica, definizione del reperto, breve descrizione, misure, fotografia con riferimento metrico didascalia e orientamento, data di esecuzione; mediante drone sono state scattate tre panoramiche con prospettiva Est Ovest, Nord Sud, Nordest Sudovest; è stato realizzato un grande fotopiano sviluppato a bassa e alta risoluzione dove sono riconoscibili i reperti associati all'elenco delle coordinate (Fig. II.I.6 – 4).

Il posizionamento dei rinvenimenti parte dal numero 100 e arriva al n. 255 (Fig. II.I.6 – 5) A titolo esemplificativo si riportano due panoramiche degli affioramenti (Figg. II.I.6 – 5, 6, 7 e quattro immagini di reperti identificati (Figg. II.I.6 – 8, 9, 10, 11).

Segue schedatura dei reperti notevoli.



Figura II.I.6 – 4 - Baro Zavelea, Comacchio (FE), concentrazione dell'affioramento di reperti ascrivibili a un bombardiere (elab. M. Bruni).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

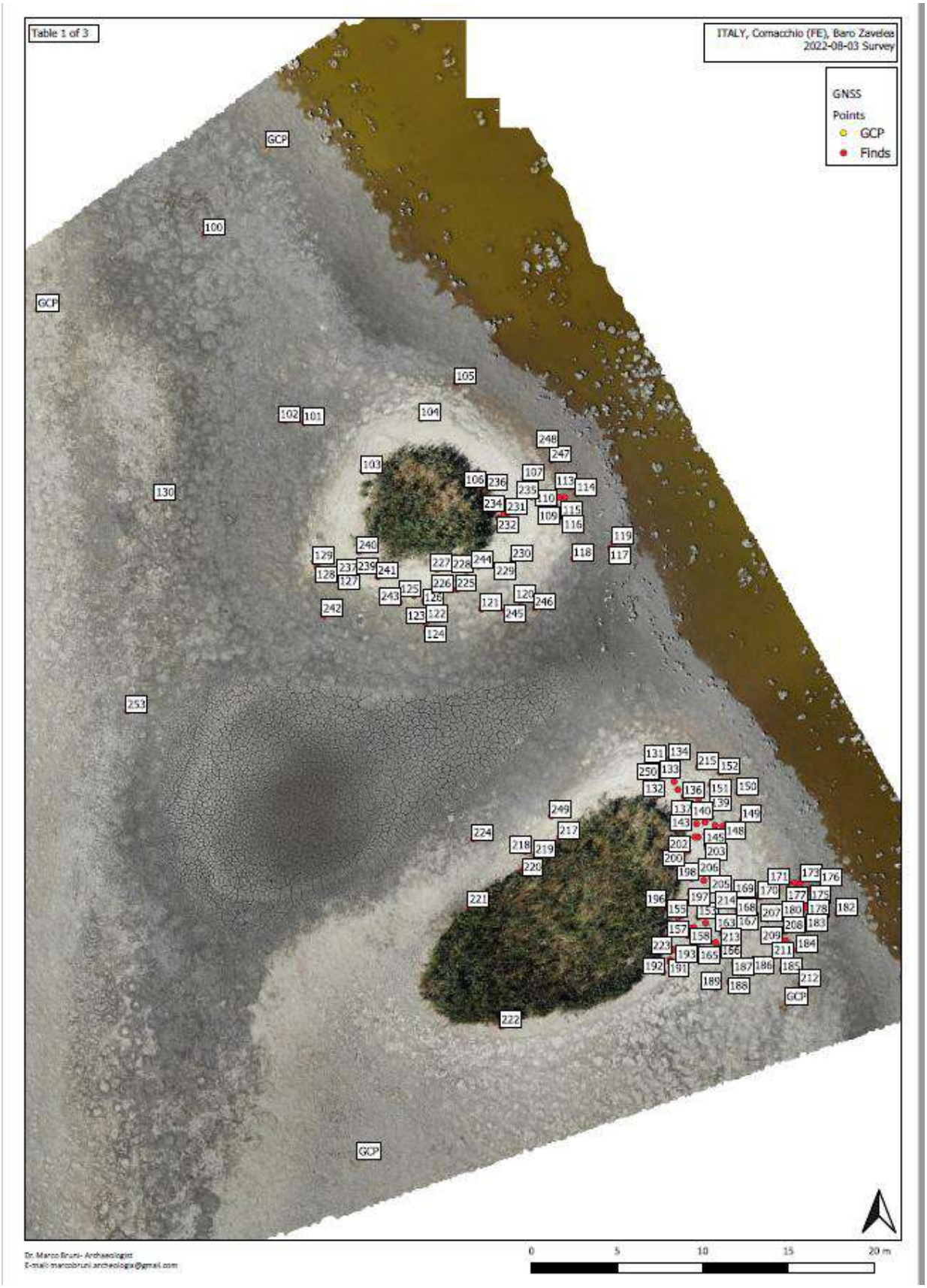


Figura II.I.6 - 5 - Baro Zavelea, Comacchio (FE), georeferenziazione dei reperti (M. Bruni).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Figura II.I.6 - 6 – Baro Zavelea, Comacchio (FE), 2022: spargimento di frammenti di velivolo (foto G. Bucci).



Figura II.I.6 - 7 – Baro Zavelea, Comacchio (FE), 2022: spargimento di frammenti di velivolo (foto G. Bucci).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Figura II.I.6 - 8– Baro Zavelea, Comacchio (FE), 2022: repp. 128-129, frammenti metallici ascrivibili alle mitragliatrici Browning M2 (foto G. Bucci)



Figura II.I.6 - 10 – Baro Zavelea, Comacchio (FE), 2022: Rep. 153, carenatura del mozzo d'elica (foto G. Bucci).



Figura II.I.6 – 9 – Baro Zavelea, Comacchio (FE), 2022: rep. 102, frammento di raccordo idraulico (foto G. Bucci).



Figura II.I.6 - 11 – Baro Zavelea, Comacchio (FE), 2022: repp. 218, 219, 220, frammenti metallici (foto G. Bucci).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.I.7 Elenco reperti notevoli da ricognizione



Reperto notevole n. 1
N. prog.: 100.
Oggetto: Profilato.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Frammento di profilato in alluminio ritorto.
Misure: h cm 3; lungh. cm 31; largh. cm 5.



Reperto notevole n. 2
N. prog.: 101.
Oggetto: Profilato.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Fascia a sezione piatta.
Misure: lungh. cm 27; largh. cm 4,5; spess. cm 0,2.



Reperto notevole n. 3
N. prog.: 102.
Oggetto: Tubo.
Materiale: Ferro rivestito in gomma.
Descrizione: Frammento di tubo con estremità espansa.
Misure: lungh. cm 20; diam. cm 3,3; spess. cm 0,65.



Reperto notevole n. 4
N. prog.: 103.
Oggetto: Connettore doppio.
Materiale: Ferro.
Descrizione: Connettore doppio; da un tubo si dipartono due uscite; diam. primo connettore cm 2, diam. secondo connettore cm 3.
Misure: lungh. cm 27; diam. cm 6,5; spess. cm 1.



Reperto notevole n. 5
N. prog.: 104.
Oggetto: Giunto a gomito tubolare.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Materiale: Bronzo.
Descrizione: Giunto a gomito tubolare in bronzo.
Misure: lungh. cm 5; diam. cm 3,5; spess. cm 0,6.



Reperto notevole n. 6
N. prog.: 105.
Oggetto: Cupola.
Materiale: Plexiglass.
Descrizione: Piccolo frammento di cupola in plexiglass.
Misure: h cm 6; largh. cm 5; spess. cm 0,6.



Reperto notevole n. 7
N. prog.: 106.
Oggetto: Nucleo fuso.
Materiale: Ferro.
Descrizione: Nucleo metallico fuso.
Misure: h cm 7; lungh. cm 10; largh. cm 6,5.



Reperto notevole n. 8
N. prog.: 107.
Oggetto: Nucleo fuso.
Materiale: Metallo.
Descrizione: Nucleo metallico fuso.
Misure: h cm 7; lungh. cm 16; largh. cm 10.



Reperto notevole n. 9
N. prog.: 108.
Oggetto: Elemento a parallelepipedo con due estremità sporgenti
Materiale: Alluminio – metallo
Descrizione: Elemento metallico a parallelepipedo con due estremità per possibile connessione, associato a piccole piastre con due o quattro sedi per fissaggio viti.
Misure: h cm 17; lungh. cm 11; largh. cm 5.



Reperto notevole n. 10
N. prog.: 109.
Oggetto: Piastra.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Frammento di piastra piatta a sezione rettangolare; presenti due fori, una vite; tracce di pezzi di compensato.
Misure: h cm 8,5; largh. cm 3,5; spess. cm 0,25.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Reperto notevole n. 11
N. prog.: 110.
Oggetto: Nucleo fuso.
Materiale: Ferro.
Descrizione: Nucleo ferroso fuso.
Misure: diam. cm 3,5.



Reperto notevole n. 12
N. prog.: 111.
Oggetto: Fasce congiunte.
Materiale: Ferro / Alluminio.
Descrizione: Due fasce piegate e congiunte; presenti un foro e un rivetto.
Misure: h cm 18; lungh. cm 45; largh. cm 2.



Reperto notevole n. 13
N. prog.: 112.
Oggetto: Nucleo fuso.
Materiale: Ferro.
Descrizione: Nucleo ferroso fuso.
Misure: diam. cm 7.



Reperto notevole n. 14
N. prog.: 113.
Oggetto: Nucleo fuso.
Materiale: Ferro.
Descrizione: Nucleo ferroso fuso.
Misure: h cm 13; lungh. cm 9.



Reperto notevole n. 15
N. prog.: 114.
Oggetto: Piastra.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Piastra con elemento aggettante tondo.
Misure: h cm 15; largh. cm 11; spess. cm 0,02.



Reperto notevole n. 16
N. prog.: 115.
Oggetto: Piastra.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Piastra con piegatura.
Misure: h cm 19; largh. cm 6; spess. cm 0,03.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Reperto notevole n. 17
N. prog.: 116.
Oggetto: Cordolo.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Cordolo con estremità espansa.
Misure: lungh. cm 29; largh. cm 2,3; spess. cm 0,02–0,03.



Reperto notevole n. 18
N. prog.: 117.
Oggetto: Lastra.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Frammento di lastra piegata (accanto, a Est, nucleo metallico fuso).
Misure: h cm 30; largh. cm 15; spess. cm 2,5.



Reperto notevole n. 19
N. prog.: 118.
Oggetto: Lastra.
Materiale: Plexiglass.
Descrizione: Frammento di lastra piatta in plexiglass.
Misure: h cm 20,8; largh. cm 13; spess. cm 0,7.

Reperto notevole n. 20
N. prog.: 119.
Oggetto: Tubo.
Materiale: Ferro.
Descrizione: Frammento di tubo in ferro.
Misure: lungh. cm 18; diam. cm 5; spess. cm 2,5.



Reperto notevole n. 21
N. prog.: 120.
Oggetto: Longherone.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Frammento di longherone con sezione a T.
Misure: lungh. cm 25; largh. cm 3; spess. cm 0,4–0,5.



Reperto notevole n. 22
N. prog.: 121.
Oggetto: Nucleo fuso.
Materiale: Metallo.
Descrizione: Frammento metallico fuso, con traccia di esplosione.
Misure: diam. cm 10; spess. cm 3.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Reperto notevole n. 23
N. prog.: 122.
Oggetto: Tubo.
Materiale: Bronzo.
Descrizione: Raccordo tubolare a L con sezione circolare.
Misure: lungh. cm 6,5; h cm 7; diam. cm 2,5; spess. cm 0,25.



Reperto notevole n. 24
N. prog.: 123.
Oggetto: Nucleo fuso.
Materiale: Metallo.
Descrizione: Frammento metallico fuso, con traccia di esplosione.
Misure: diam. cm 8.



Reperto notevole n. 25
N. prog.: 124
Oggetto: Nucleo fuso
Materiale: Metallo
Descrizione: Frammento metallico fuso, con traccia di esplosione.
Misure: diam. cm 15.



Reperto notevole n. 26
N. prog.: 125.
Oggetto: Profilato.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Frammento di profilato con sezione a S.
Misure: lungh. cm 53; largh. cm 14; spess. cm 0,3.



Reperto notevole n. 27
N. prog.: 126.
Oggetto: Nucleo fuso.
Materiale: Metallo.
Descrizione: Frammento metallico fuso, con traccia di esplosione.
Misure: h cm 4,5; lungh. cm 17; largh. cm 7.



Reperto notevole n. 28

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

N. prog.: 127.
Oggetto: Profilato.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Frammento di profilato piegato con sezione a U e gole rovesciate.
Misure: lungh. cm 40; largh. cm 25; spess. cm 0,3.



Reperto notevole n. 29
N. prog.: 128.
Oggetto: Leva.
Materiale: Bronzo / Ottone.
Descrizione: Leva oblunga piatta monofusione.
Misure: lungh. cm 28,5; largh. cm 9; spess. cm 1.



Reperto notevole n. 30
N. prog.: 129.
Oggetto: Profilato.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Frammento di profilato con sezione a U e gole contrapposte, piegato.
Misure: lungh. cm 70; largh. cm 17; spess. cm 0,3.



Reperto notevole n. 31
N. prog.: 130.
Oggetto: Calotta.
Materiale: Plexiglass.
Descrizione: Frammento curvo di plexiglass, probabilmente riferibile alle calotte frontali del velivolo o alla calotta della mitragliatrice.
Misure: lungh. cm 30; largh. cm 17; spess. cm 0,5.



Reperto notevole n. 32
N. prog.: 131.
Oggetto: Pneumatico.
Materiale: Gomma.
Descrizione: Frammento di pneumatico fuso, semi attorcigliato; esigue tracce lineari del battistrada.
Misure: lungh. cm 90; largh. cm 18; spess. cm 0,5.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Reperto notevole n. 33
N. prog.: 153.
Oggetto: Involucro tubolare.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Struttura a sezione circolare rastremata da un lato, con supporti e perni in alluminio ancora innestati.
Misure: lungh. cm 20; diam. max cm 19; diam. min cm 16,7; spess. cm 0,3.



Reperto notevole n. 34
N. prog.: 154.
Oggetto: Tubi.
Materiale: Ferro.
Descrizione: Due frammenti di tubo, forse riferibili a componenti della mitragliatrice.
Misure: non rilevate.



Reperto notevole n. 35
N. prog.: 193.
Oggetto: Ammortizzatore.
Materiale: Bronzo, ferro.
Descrizione: Ammortizzatore collegato a cavetto in bronzo e frammento di tubo in ferro.
Misure: lungh. cm 14; diam. cm 5,5.



Reperto notevole n. 36
N. prog.: 213.
Oggetto: Rotella.
Materiale: Ferro.
Descrizione: Rotella in ferro pieno con perno centrale; largh. del battistrada cm 3.
Misure: diam. cm 15; largh. cm 9; spess. cm 5.



Reperto notevole n. 37
N. prog.: 218.
Oggetto: Profilato.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Frammento di profilato con sezione a U.
Misure: lungh. cm 81; largh. cm 8; spess. cm 0,2.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Reperto notevole n. 38
N. prog.: 219.
Oggetto: Profilato.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Frammento di profilato in alluminio.
Misure: lungh. cm 41; largh. cm 14; spess. cm 0,2.



Reperto notevole n. 39
N. prog.: 220.
Oggetto: Lamine.
Materiale: Alluminio.
Descrizione: Pacchetto fuso di lamine.
Misure: lungh. cm 81; largh. cm 8; spess. cm 0,2.



Reperto notevole n. 40
N. prog.: 226.
Oggetto: Proiettile.
Materiale: Ottone e rame.
Descrizione: Proiettile calibro 50.
Misure: bossolo cm 9,9; cartuccia cm 13,8; diam. cm 2,04.



Reperto notevole n. 41
N. prog.: 228.
Oggetto: Cinque proiettili.
Materiale: Ottone e rame.
Descrizione: Cinque proiettili calibro 50 attaccati.
Misure: bossolo cm 9,9; cartuccia cm 13,8; diam. cm 2,04.



Reperto notevole n. 42
N. prog.: 229.
Oggetto: Proiettile.
Materiale: Ottone e rame.
Descrizione: Proiettile calibro 50.
Misure: bossolo cm 9,9; cartuccia cm 13,8; diam. cm 2,04.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.I.8 Approfondimento sui rinvenimenti archeologici

È noto che l'area oggetto di indagine sia ad alto rischio archeologico a seguito dei ritrovamenti a nord e a sud dell'oasi del Baro Zavelea, con particolare riferimento alla fase romana: la torre-faro presso l'Argine Agosta, la Villa di Salto del Lupo, la Villa del Dosso dei Sassi e i resti di abitato presso il casone dell'argine meridionale del Canale Fossa di Porto[32].

In occasione delle ricognizioni di superficie e del varo del drone idrografico presso la spiaggia a Sud del Canale Fosse, ovvero in corrispondenza del margine attuale nordovest della Valle Fossa di Porto (Fig. II.I.8 - 1), sono stati ritrovati frammenti di mattoni e coppi antichi (anche parzialmente vetrificati per bruciatura), frammenti di ceramica comune e da cucina, romana / tardo romana, e frammenti di ceramica rinascimentale e post rinascimentale.



Figura II.I.8 – 1 -Comacchio, settore a sud del Canale Fosse, margine attuale nord-ovest della Valle Fossa di Porto (foto G. Bucci).

I reperti sono stati consegnati alla Soprintendenza e depositati presso i magazzini del Museo Delta Antico di Comacchio.

Tra i reperti notevoli, si segnalano un peso da rete da pesca in calcare, un orlo con porzione di parete di un bicchiere rinascimentale con motivi fitomorfi e il fondo piatto di una brocca (Fig. II.I.8 -2 e v. *infra* Catalogo).



Figura II.I.8 – 2 - Comacchio (FE), Baro Zavelea 2021: campioni lavati e schedati (foto G. Bucci).

Dal punto di vista stratigrafico è stato documentato un potente strato di argilla grigia, che emerge dalla sabbia (spessore > 50 cm), sul quale si trovano buche di palo con diametro di cm 15 circa, residui di pali infissi insieme a travi orizzontali, con essi in fase[33] (Fig. II.I.8 – 3, 4, 5, 6).

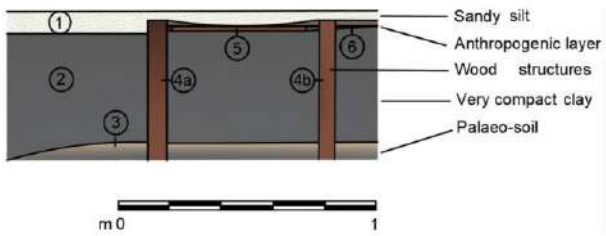


Figura II.I.8 – 3 - Comacchio (FE), Baro Zavelea 2021: sezione schematica del margine spondale frequentato (elab. G. Bucci).

[32] Per gli studi archeologici di questo territorio v. Bibliografia CALZOLARI, CORTI, PATITUCCI UGGERI, UGGERI, VISSER.

[33] Per un approfondimento sui dati archeologici rinvenuti in rapporto all'idrografia antica con particolare riferimento al *Vatrenus* BUCCI 2023.

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Figura II.I.8 – 4 Comacchio, settore a Sud del Canale Fosse, margine attuale Nordovest della Valle Fossa di Porto: strato di argilla grigia con pali infissi e travi orizzontali (foto G. Bucci).



Figura II.I.8 – 5 - Comacchio, settore a Sud del Canale Fosse, Valle Fossa di Porto: dettaglio delle buche di palo con riferimento metrico, didascalie e orientamento (foto G. Bucci).



Figura II.I.8 – 6 - Comacchio, settore a Sud del Canale Fosse, Valle Fossa di Porto: dettaglio di pali infissi e travi orizzontali con riferimento metrico, didascalie e orientamento (foto G. Bucci).

I lacerti di struttura sono in corrispondenza della battigia, parzialmente emersi e soggetti a deterioramento a causa delle maree e del lieve moto ondoso generato dai venti locali (in prevalenza Scirocco).

A seguito della scarsa piovosità del periodo e della bassa marea il piano frequentato si è reso visibile durante i nostri lavori.

La scansione del *sub-bottom profiler* ha fornito importanti informazioni sulla presenza di superfici erosive e paleocanali, attestando anche paleo suoli (strati sedimentari altamente riflettenti), probabilmente legati all'ultima fase di bassa marea (ultima glaciazione), con dune di sabbia sepolte, ma anche il preciso tracciato del *Vatrenus*, individuato con in dettaglio a seguito della forte discordanza tra il riempimento omogeneo che lo caratterizza, probabilmente legato a una grande esondazione, e gli stati deposizionali circostanti (Fig. II.I.8 – 7, 8).

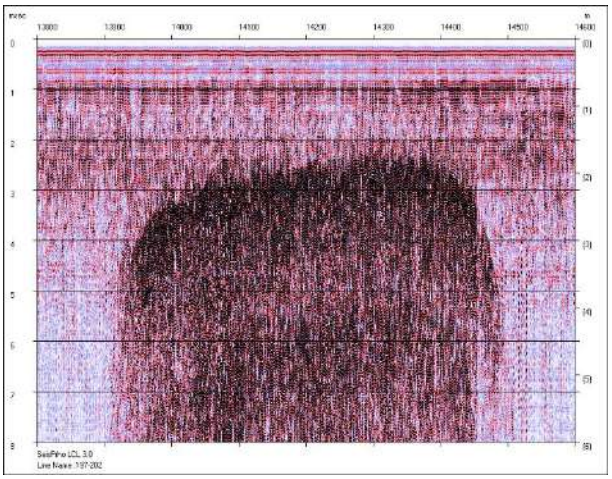


Figura II.I.8 – 7 - Comacchio, settore a Sud del Canale Fosse, Valle Fossa di Porto: immagine da Sub-Bottom Profiler, riempimento del *Vatrenus* (F. Del Bianco).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

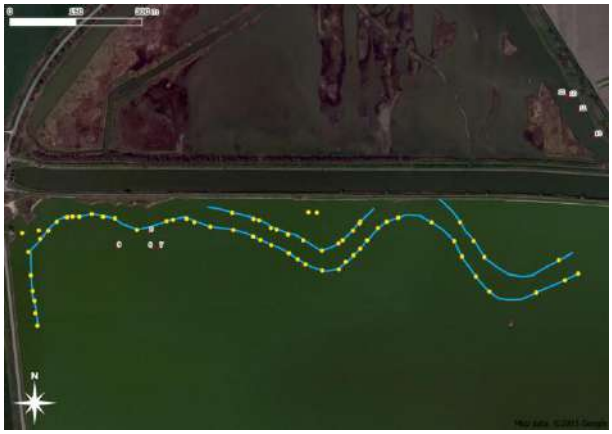


Figura II.I.8 – 8 - Comacchio, settore a Sud del Canale Fosse, Valle Fossa di Porto: marker del paleoalveo del Fiume *Vatrenus* individuati mediante *sub-bottom profiler* (elab. F. Del Bianco).

L'andamento del corso in prossimità della foce antica denota 4 meandri, a sud dei quali si sviluppa un insediamento parafluviale, con strutture in legno forse per la pesca (v. *infra* Scheda Unità Topografica).

Le foto aeree IGM del 1949, in particolare il Fotogramma:52, Strisciata:11, Foglio:77, Collocazione:1949, Data:1949 07 11, Quota:3600, Scala:18000, e la Carta IGM F89 IV NE, 1935, Valle Lido Magnavacca documentano la morfologia del fiume nella prima metà del secolo scorso, successivamente rettificato per la costruzione dell'impianto idrovoro Fosse (Fig. II.I.8 -9).

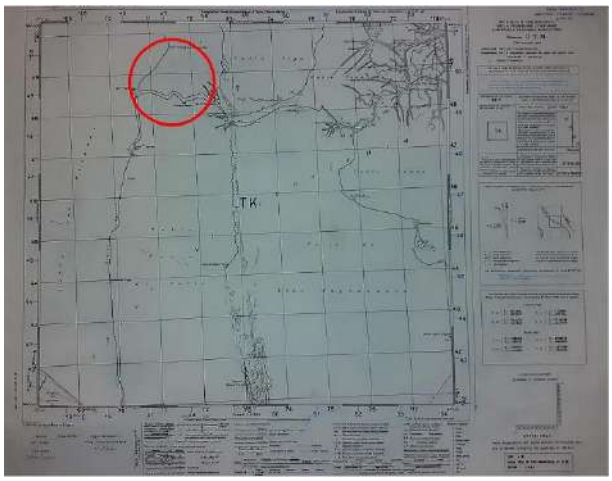


Figura II.I.8 – 9 - Carta IGM F89 IV NE, 1935, Valle Lido Magnavacca: entro cerchio rosso l'area di studio.

L'immagine da *sub-bottom profiler* mostra come il paleoalveo superi gli 8 m di profondità, dato fino a oggi inedito.

Il posizionamento invece del tatto finale del *Vatrenus* era stato ipotizzato da Veggiani del 1975 (Fig. II.I.8 - 10).

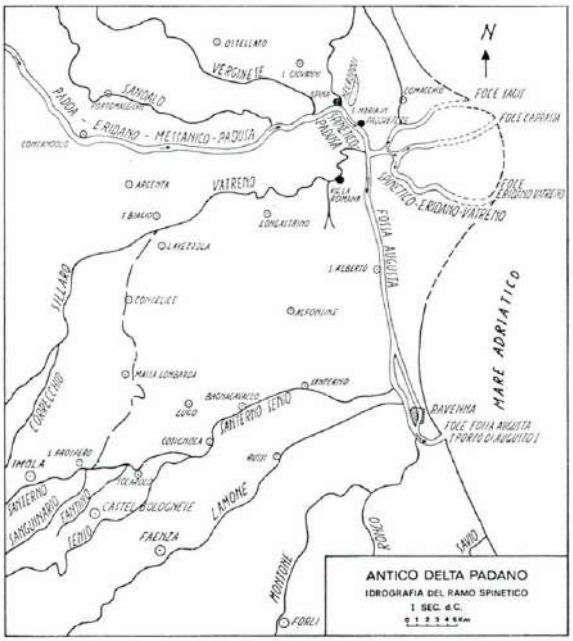


Figura II.I.8 – 10 - Idrografia del Delta padano antico (Veggiani 1975).

Le nostre indagini hanno consentito di ricollocare il settore fluviale terminale del fiume *Vatrenus* e di confermare l'ipotesi avanzata da Uggeri (UGGERI 2006, 145–161) circa la posizione della Fossa Augusta (oggi sommersa), parallela all'Argine Agosta e sviluppata in prossimità dell'attuale strada provinciale SP 72 (Fig. II.I.8 – 11).

Attraverso la sezione ricostruttiva, da ovest verso est, si osserva il profondo paleoalveo con le tipiche tracce alluvionali di esondazione, impostato al di sopra delle antiche dune; il fiume è stato inciso in posizione pressoché centrale per realizzare il nuovo corso d'acqua, la Fossa Augusta, nel tratto in cui il fiume scorreva da sud verso nord. I margini dello scavo della Fossa sono verticali e chiaramente artificiali, fornendo un'interpretazione univoca come opera antropica (Fig. II.I.8 – 12).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Figura II.I.8 – 11 - Comacchio, Valle Fossa di Porto, immagine satellitare Google Earth 04/03/2020 (consultata il 26/12/2022): ricostruzione del paleoalveo del *Vatrenus* (linea rossa), tracciato ipotizzato e parzialmente individuato (linea arancione) e della Fossa Augusta (linea arancione rettilinea) (elab. G. Bucci).

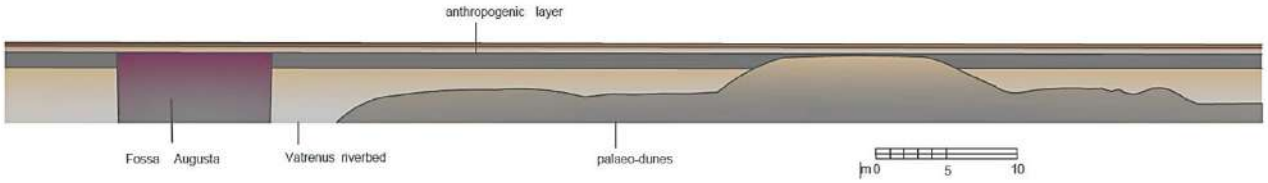
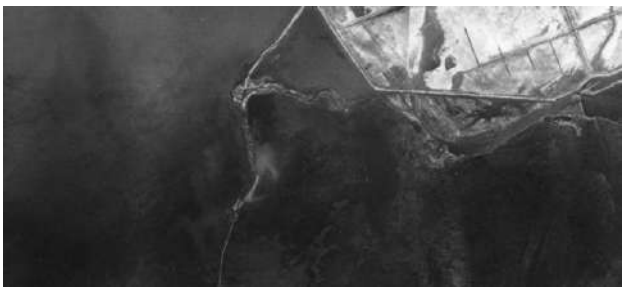


Figura II.I.8 – 12 Comacchio (FE), Valle Fossa di Porto, sezione cumulativa dell'area di indagine secondaria meridionale, a sud del Canale Fosse (elab. G. Bucci).

Segue scheda di Unità Topografica.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">SCHEDA DI UNITÀ TOPOGRAFICA</td><td>COORDINATE</td><td colspan="2">LINK KMZ</td><td>N.</td></tr>
<tr><td>44°39’7.19"N
12° 6’26.88"E</td><td colspan="2">COM_2021_BZ_UT_1_archeo.kmz</td><td rowspan="3">1</td></tr>
<tr><td colspan="2">IGM</td><td>CTR</td><td>AREA [m^2]</td><td>PERIMETRO [m]</td></tr>
<tr><td colspan="2">IGM F89 IV NE, Valle Lido Magnavacca</td><td>205102</td><td>1436</td><td>190</td></tr>
<tr><td>COMUNE</td><td>PROVINCIA</td><td>LOCALITÀ</td><td colspan="2">RIF. CATASTALI</td><td colspan="2">PROPRIETARIO</td></tr>
<tr><td>Comacchio</td><td>FE</td><td>Fosse, Baro Zavelea</td><td colspan="2">F:63 M:12</td><td colspan="2">Comune di Comacchio</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">CONTESTO GEOLOGICO</td><td rowspan="2">SEDIMENTOLOGIA</td><td colspan="4">TERRITORIO</td></tr>
<tr><td colspan="2">TERRA</td><td colspan="2">ACQUA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Piana interdistributrice con paleoalvei fluviali e dune fossili</td><td>Matrice limosa con strati di argilla, limo, sabbia, torba e cospicui depositi di malacofauna marittima</td><td colspan="2">Margine Nord della Valle Fossa di Porto (Parco del Delta)</td><td colspan="2">Laguna - Valle Fossa di Porto (Parco del Delta)</td></tr>
<tr><td colspan="6">EVIDENZE ARCHEOLOGICHE</td></tr>
<tr><td colspan="2">STRUTTURE</td><td>REPERTI</td><td colspan="3">FOTO SATELLITARE (accesso 05/10/2021)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Piano di argilla compatta grigia con buche di palo e pali infissi (Ø cm 15 ca.); presenti assi orizzontali. Piano frequentato.</td><td>Frr. ceramici rinascimentali e post rinascimentali; frr. di ceramica, coppi e mattoni forse tardoromani</td><td colspan="3" rowspan="3">
</td></tr>
<tr><td colspan="2">CRONOLOGIA</td><td>CRONOLOGIA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Fasi rinascimentali / post-rinascimentali e tracce sporadiche di materiale romano/tardoromano</td><td>XVI – XVIII sec.
IV-VI d.C.</td></tr>
<tr><td colspan="2">DOCUMENTAZIONE DI ARCHIVIO</td><td colspan="4">IMMAGINE</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ortofoto (volo GAI 1954), Patrimonio culturale dell'Emilia-Romagna (https://www.patrimonioculturale-er.it/webgis</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">DATA</td><td colspan="4">COMPILATORE</td></tr>
<tr><td colspan="2">05/10/2021</td><td colspan="4">Giovanna Bucci</td></tr>
</table>

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.I.9 Schede dei reperti archeologici



N. 1
US: 2.
Oggetto: Astragalo
Classe: Osso.
Tipologia: Media grandezza.
Descrizione: Frammento di astragalo parzialmente bruciato.
Colore: marrone – arancio.
Cronologia: V–VI sec. d.C. (?).
Misure: h cm 3,3; lungh. cm 3,5; largh. cm 1,85 spess. cm 0,35.



N. 2
US: 2.
Oggetto: Peso per rete da pesca.
Classe: Litica.
Tipologia: Oblungo con foro centrale.
Descrizione: Asimmetrico, con foro circolare passante di 4 mm; realizzato in calcare.
Colore: grigio.
Cronologia: V–VI sec. d.C. (?).
Misure: lungh. cm 5,0; largh. cm 3,0; spess. cm 1,0.



N. 3
US: 2.
Oggetto: Anfora.
Classe: Ceramica.
Tipologia: Tardoromana (?).
Descrizione: Frammento di parete di anfora; interno ondulato.
Colore: arancione.
Cronologia: V–VI sec. d.C. (?).
Misure: h cm 3,5; largh. cm 4,6; diam. 30(?); spess. cm 1,0–1,3.



N. 4
US: 2.
Oggetto: Ciotola.
Classe: Ceramica.
Tipologia: Da tavola.
Descrizione: Frammento di parete di ciotola, sottile.
Colore: arancione.
Cronologia: V–VI sec. d.C. (?).
Misure: h cm 3,0; largh. cm 4,6; spess. cm 0,4.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



N. 5
US: 2.
Oggetto: Coppo.
Classe: Laterizi.
Tipologia: Con superficie ondulata
Descrizione: Frammento di coppo con tracce di vetrificazione.
Colore: arancione scuro.
Cronologia: V–VI sec. d.C. (?).
Misure: lungh. cm 7,7; largh. cm 6,2; spess. cm 1,5.



N. 6
US: 2.
Oggetto: Pentola.
Classe: Ceramica.
Tipologia: Da cucina.
Descrizione: Frammento di parete di pentola; impasto ruvido, con inclusi bianchi.
Colore: grigio - arancione scuro.
Cronologia: V–VI sec. d.C. (?).
Misure: h cm 3,7; largh. cm 6,3; diam. cm 28; spess. cm 1,0.



N. 7
US: 2.
Oggetto: Scodella.
Classe: Ceramica invetriata.
Tipologia: Da tavola.
Descrizione: Frammento di orlo con tesa costolata; impasto arancione chiaro.
Colore: bianco, arancione.
Cronologia: XVII–XVIII sec.
Misure: lungh. cm 6; diam. cm 30; spess. cm 0,6.



N. 8
US: 2
Oggetto: Bicchiere.
Classe: Ceramica.
Tipologia: Graffita rinascimentale.
Descrizione: Frammento di orlo con attacco di parete; doppia decorazione lineare presso il bordo (interna ed esterna) e motivi fitomorfi.
Colore: bianco, ocra, verde.
Cronologia: XV–XVI sec.
Misure: h cm 2,5; largh. cm 2,5; diam. cm 10; spess. cm 0,35.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



N. 9
US: 2
Oggetto: Brocca.
Classe: Ceramica.
Tipologia: Invetriata.
Descrizione: Frammento di orlo con traccia di attacco di ansa; decorazione sfumata verde; impasto arancione.
Colore: arancio, verde.
Cronologia: XV–XVI sec.
Misure: h cm 2,1; lungh. cm 4; spess. cm 0,5.



N. 11
US: 2.
Oggetto: Brocca.
Classe: Ceramica.
Tipologia: Invetriata.
Descrizione: Frammento di base apoda invetriato internamente; impasto beige.
Colore: beige, arancio.
Cronologia: XVII–XVIII sec.
Misure: largh. cm 6,2; diam. cm >10; spess. cm 0,8.



N. 10
US: 2.
Oggetto: Brocca.
Classe: Ceramica.
Tipologia: Invetriata.
Descrizione: Frammento di parete con decorazione lineare; impasto omogeneo.
Colore: arancio, ocra.
Cronologia: XVII–XVIII sec.
Misure: h cm 2,3; largh. cm 3,2; diam. cm 14; spess. cm 0,4.

II.II

CASO DI STUDIO 2

RAVENNA

B-17

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.II.1 La prima campagna

Nel mese di Marzo 2023, l'Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico centro settentrionale, Porto di Ravenna ha segnalato alla Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini (SABAP-RA) che, *a seguito di rilievi batimetrici propedeutici a futuri interventi di escavo del fondale marino [*omissis*] alla profondità di circa 14 m s.l.m.m., è stato rinvenuto un relitto, subito segnalato alla locale Capitaneria di Porto* (Prot. 0002365 - 01/03/2023 - APRA)[34].

La Soprintendenza territoriale ha preso contatti con la Soprintendenza Nazionale per il patrimonio culturale subacqueo ai fini del supporto tecnico-scientifico.
Per l'area di rinvenimento (Figg. II.II.1 – 1,2) è stata emessa una prima ordinanza da parte della Capitaneria di Porto Guardia Costiera di Ravenna M_INF.CPRA.CPRA_REG_ORDINANZE.R. 0000005.25-01-2023 che *rende noto che, in posizione geografica [*omissis*] (datum WGS'84), ricadente all'interno della c.d. "AREA DI PRECAUZIONE" del vigente "Schema di Separazione del Traffico" navale, su di un fondale di circa -14 (quattordici) metri ca., è stata rilevata la presenza di un oggetto non meglio identificato, lungo ca. 20 (venti) metri* […] e *ordina - Art.1) Con decorrenza immediata, la zona di mare circolare avente un raggio di 200 (duecento) m nell'intorno dell'oggetto […] è temporaneamente interdetta, sino a nuove disposizioni, alla navigazione, all'ancoraggio ed alla sosta di qualsiasi unità navale avente un pescaggio superiore a m. 10.50 (dieci, cinquanta)*.

Tutte le Autorità si sono messe in contatto con il DPAA (Defense POW/MIA Accounting Agency) USA e con il relativo Detachment Europe, in quanto il relitto poteva essere riconducibile a un bombardiere americano.

L'Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centro Settentrionale, Porto di Ravenna dopo un primo confronto tra gli enti competenti, ha effettuato ulteriori rilievi magnetometrici con cui è stata realizzata nel febbraio 2024 una mappa dell'area*,* lavoro che ha messo in evidenza come il relitto si trovasse in corrispondenza del margine meridionale di un tratto di escavazione a mare in progetto. Si sono resi dunque necessari approfondimenti degli studi storici e programmazione di ulteriori accertamenti per tentare l'identificazione del velivolo.

Dalla documentazione storica del DPAA risulta che 3 bombardieri B-17 siano caduti in azioni di guerra in un'area compatibile con il rinvenimento; uno solo dei velivoli non attesta *missing in action*. Per gli altri 2 velivoli vi sono ancora dispersi.

Rilevando dunque di particolare importanza l'identificazione dell'aereo, essendo in possesso di documentazione non esaustiva per il riconoscimento, si concorda un sopralluogo subacqueo congiunto con la Soprintendenza Nazionale per il patrimonio culturale subacqueo, 1° Nucleo Operatori Subacquei Guardia Costiera di San Benedetto del Tronto[35], Direzione Marittima e Capitaneria di Porto Guardia Costiera di Ravenna, con la direzione scientifica della SN-SUB con delega alla scrivente per le attività sul campo.

Le prime attività in mare erano finalizzate a indagini remote sensing con *side-scan sonar*, per una maggiore definizione dello stato del relitto e misurazioni di dettaglio, e ricognizioni dirette in immersione per verificare la possibilità di identificazione tramite l'individuazione di elementi probanti, valutando conservazione e stato di concrezionamento delle parti in evidenza anche con riprese video-fotografiche del sito, georeferenziando eventuali ulteriori evidenze storico-archeologiche.

[34] Registro: SN-SUB, Numero di protocollo: 2569-P Data protocollazione: 22/03/2024, Segnatura: MIC|MIC_SN-SUB|22/03/2024|0002569-P| [07.04/40/2021]P.

[35] Il gruppo di lavoro in immersione per le indagini sul B-17 era costituito da Giuseppe Simeone, Sergio Demichele, Cataldo Carrieri, Marco Meli, Luigi Marinaro, Nicola Surano, Vito Cinieri, Danilo Delcarro e la scrivente.

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Figura II.II.1 - 1 – Immagine satellitare Google Earth con posizionamento del relitto (accesso 06/08/2024 - Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).



Figura II.II.1 - 2 Ravenna, Panorama del tratto di mare interessato dalle indagini (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.II.2 Contesto geoambientale subacqueo

Il contesto geomorfologico di studio è caratterizzato da fondale marino pianeggiante costituito da sedimenti fini, sabbia, limo e argilla beige, ascrivibili alle peliti di prodelta e di piattaforma ascrivibili al tardo Quaternario – Versiliano (Carta Geologica dei Mari Italiani – Foglio NL 33-10 Ravenna, (https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/marine/NL_33_10_RAVENNA_SUP/Foglio.html – Fig. II.II.2 - 1).

L'area di indagine si colloca a profondità comprese tra m 13,00 e 14,50.

Nei pressi del relitto si trovano accumuli di gusci di gasteropodi e bivalve, ascrivibili alla malacofauna locale (in particolare *Turritella communis, Cerastoderma glaucum, Glycymeris insubrica, Chamelea gallina, Loripes lacteus*), determinati dalla corrente e dal moto ondoso.

È necessario evidenziare che il sito di indagine è caratterizzato da visibilità pessima, ovvero cm 0–20, uguale in verticale e in orizzontale; ciò impedisce non solo una visione d'insieme o prospettica, ma anche il riconoscimento degli elementi a minima distanza; per questo motivo sono state registrate immagini ravvicinate, seguendo gli elementi metallici affioranti dal fondo. A questa problematica, combinata con la corrente in uscita dal porto, si aggiunge una forte corrente da nord, causando l'insabbiamento dei resti del velivolo.

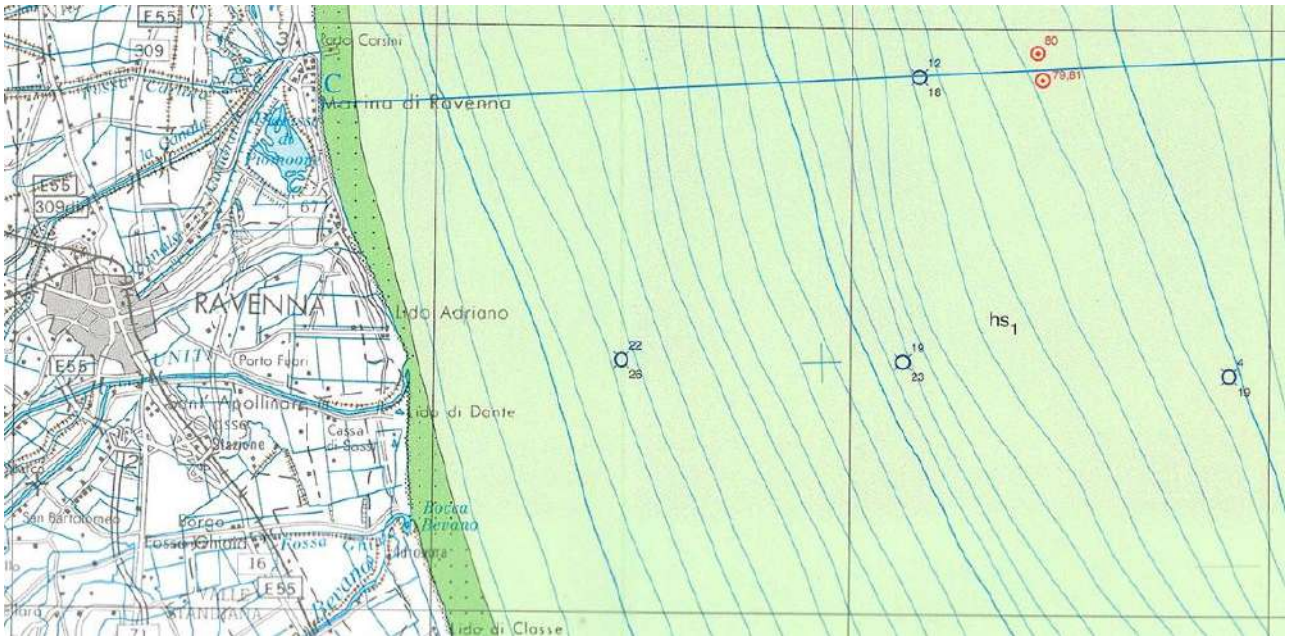


Figura II.II.2 - 1 – Dettaglio da *Carta Geologica dei mari d'Italia – NL-33-10 Ravenna Carta superficiale*: in verde puntinato la fascia costiera con intercalazione di sottili strati sabbiosi e bioclastici che segano il passaggio graduale al complesso sabbioso di spiaggia, a sabbie medi e fini contenenti un fauna a *Chamelea gallina* con diffuse impregnazioni di gas; in verde chiaro Unità a geometria progradazionale costituita in prevalenza da un complesso pelitico di prodelta – piattaforma interna ad argille e limi argillosi, con grado di bioturbazione variabile, contenenti faune a *Turritella communis* (https://progetto-carg.isprambiente.it/cartografiaCARG/download/fogli/cartamariitaliani/NL_33-10_RAVENNA.pdf).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.II.3 Strumenti e metodologia per la prima campagna

Le attività di indagine sono state condotte mediante l'impiego integrato di strumentazione topografica, sistemi di documentazione subacquea e successive fasi di elaborazione e interpretazione dei dati, secondo un protocollo operativo strutturato e progressivo.

Per la fase di acquisizione dei dati geofisici è stato utilizzato un sistema *side-scan sonar* Lawrence HDS9 – HDS12, installato a bordo dell'unità navale della Guardia Costiera. Lo strumento, operante a frequenza di 455 kHz, ha consentito la visualizzazione in modalità down image e side image ad alta definizione, risultando idoneo all'individuazione e alla delimitazione del target sommerso. Era inoltre prevista l'acquisizione di dati mediante *side-scan sonar* ad altissima risoluzione con *towfish* trainato; tuttavia, l'utilizzo di tale strumentazione non è stato possibile a causa del peggioramento delle condizioni meteomarine, caratterizzate da forte moto ondoso, incompatibile con una corretta e sicura conduzione del sensore. Lo strumento è stato utilizzato nella seconda sessione di lavori realizzata a luglio (v. *infra*).

La documentazione diretta subacquea è stata realizzata mediante videocamera GoPro Hero 11, equipaggiata con sistemi di illuminazione ausiliaria, in dotazione alla Guardia Costiera; fotocamera subacquea Ricoh WG6, integrata da strumenti metrici, riferimenti di scala e tavola per il rilievo archeologico, utilizzati per la documentazione fotografica e il supporto al rilievo diretto.

Organizzazione delle attività.

Il lavoro è stato articolato in tre fasi operative principali, ciascuna preceduta da briefing tecnici specifici, finalizzati alla pianificazione delle immersioni e alla definizione delle procedure di sicurezza e di acquisizione dei dati. Le fasi I e II sono state in parte condotte in modo sincronico, al fine di ottimizzare i tempi operativi e massimizzare l'efficacia delle attività di indagine.

Fase I. Indagini remote sensing.

La prima fase ha previsto la taratura operativa del *side-scan sonar* Lawrence HDS9 – HDS12 alla frequenza di 455 kHz, finalizzata all'individuazione del relitto sulla base delle coordinate preliminarmente fornite. Le acquisizioni hanno consentito la localizzazione del target e la sua visualizzazione mediante immagini down image e side image.

Successivamente, è stata effettuata la scansione dell'area circostante, compatibilmente con lo svolgimento delle attività subacquee in corso, al fine di ottenere un inquadramento morfologico complessivo del contesto di giacitura. Tutti i dati acquisiti sono stati opportunamente salvati, catalogati e archiviati per le successive fasi di analisi.

Fase II. Ricognizione diretta subacquea.

La seconda fase ha previsto l'esecuzione di due turni di immersione, con l'impiego di due squadre distinte, ciascuna composta da tre sommozzatori. Le immersioni sono state dedicate alla verifica diretta del target individuato mediante remote sensing e alla documentazione visiva del relitto e del contesto circostante.

Durante le immersioni è stata effettuata una sistematica documentazione video-fotografica, finalizzata sia alla registrazione dello stato di conservazione delle strutture sia alla raccolta di elementi utili per l'interpretazione funzionale e cronologica del manufatto.

Fase III. Elaborazione e interpretazione dei dati.

La fase conclusiva ha riguardato l'elaborazione dei dati acquisiti mediante sistemi informatici dedicati. A questa attività si è affiancata una ricerca storica mirata, specificamente incentrata sui velivoli B-17, con l'obiettivo di integrare le evidenze materiali rilevate sul campo con le fonti documentarie e archivistiche, al fine di giungere a un'interpretazione coerente e scientificamente fondata del contesto indagato.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.II.4 Descrizione del relitto

I resti di un aereo orientato con prua danneggiata a nord emergono su un fondale piano. Il velivolo è insabbiato e in gran parte coperto da reti da pesca e calze per acquacoltura, aggrovigliate e avvolte attorno alle parti emergenti del relitto. Sono riconoscibili le ali mutile, con lacerti sparsi e staccati, in parte connesse con resti della fusoliera, tre motori e il quarto insabbiato, eliche diritte ed eliche piegate ancora raccordate ai motori; emerge dal fondale una modesta porzione della fusoliera relativa pareti del comparto piloti, dove sono visibili le porzioni superiori delle cloche con il semi-volantino; emerge dalla sabbia una parte dello schienale pilota di sinistra, mutilo della porzione superiore. I pezzi delle ali mostrano i tralicci della centina, il rinforzo in lamiere ondulate che si giustappone tra centina e rivestimento in alluminio rivettato.

Su un settore di ala in piano si riconosce l'alloggiamento del coperchio di un serbatoio di carburante, sull'altra, in corrispondenza del bordo d'entrata, l'alloggiamento di una luce di navigazione. Riconoscibili parti di mitragliatrice e alcune parti metalliche relative alle *gun turrets* (v. *infra Immagini elaborate* 1-39).

Come si evince dalla documentazione fornita precedentemente dall'Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico centro settentrionale, Porto di Ravenna, le parti affioranti del mezzo riguardano prevalentemente i comparti alari con motori e il comparto piloti (Figg. II.II.4 – 1,2).

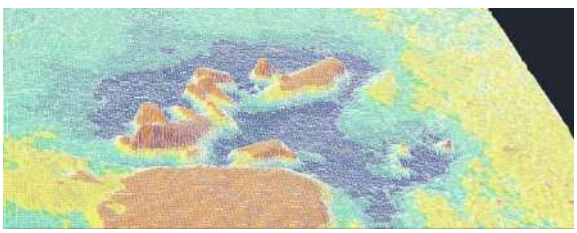


Figura II.II.4 - 1 - Immagine del primo rilievo 3D. (documentazione Autorità di Sistema Portuale - Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

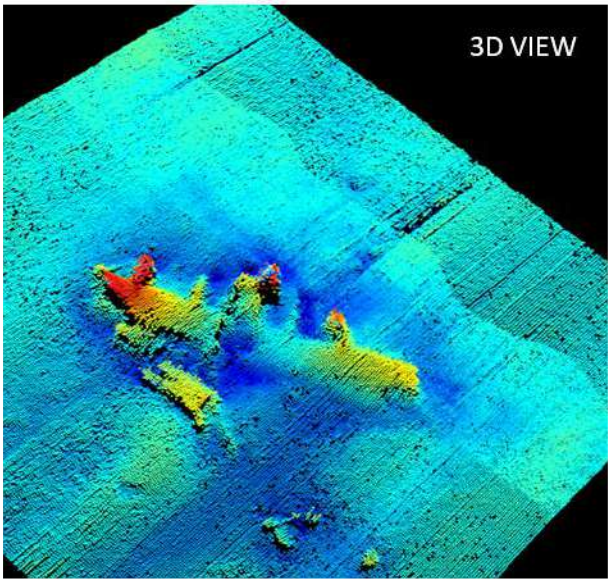


Figura II.II.4 - 2 - Immagine del secondo rilievo 3D (documentazione Autorità di Sistema Portuale - Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)).

I rilievi effettuati con la Guardia Costiera in data 25/03/2024 hanno confermato la georeferenziazione, evidenziando lo stato attuale di insabbiamento del velivolo e lo stato di conservazione del mezzo fortemente compromesso (Figg. II.II.4 – 3, 4, 5).

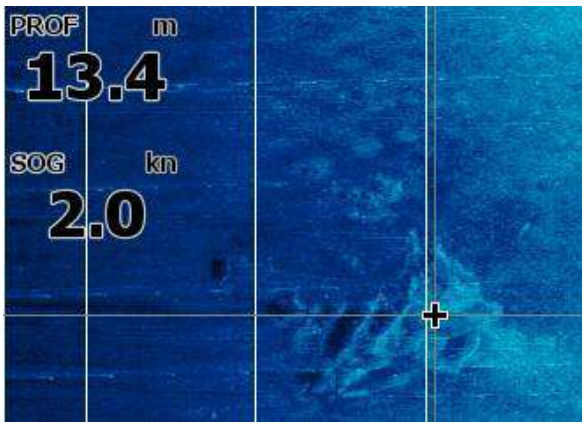


Figura II.II.4 - 3 - Side image da *side-scan sonar*: ingrandimento con focus sui resti di velivolo (Guardia Costiera, 25/03/2024 - Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Figura II.II.4 – 4 - Down image da *Side-scan sonar*: a destra, il relitto (Guardia Costiera, 25/03/2024 - Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

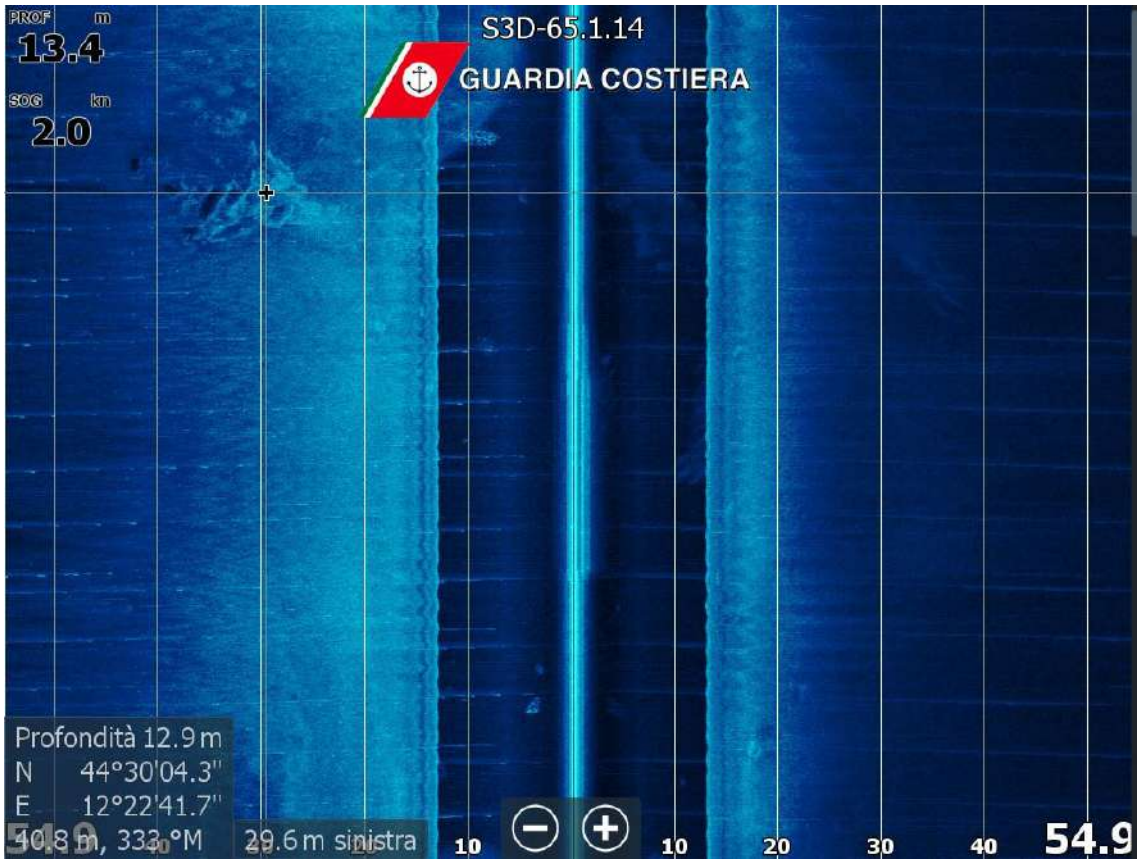


Figura II.II.4 - 5 - Side image da *side-scan sonar*: a sinistra, in alto il relitto (Guardia Costiera, 25/03/2024 - Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Al fine di registrare i principali elementi rilevati durante le immersioni, sono state selezionate alcune immagini provenienti dal video registrato dalla Guardia Costiera e dalle fotografie scattate dalla scrivente in immersione.

Gli screenshot e le foto sono stati elaborati mediante software di gestione immagini attraverso espedienti tecnici che hanno consentito di far risaltare alcuni dettagli costruttivi e caratterizzanti delle porzioni visibili dei resti del velivolo. Da una prima selezione di immagini a colori si è passati a immagini con cromatismi differenziati, per poi trasformarle in scala di grigi, scartando le caratteristiche cromatiche ed evidenziando il contrasto direttamente su file in bianco e nero.

L'elaborazione ha consentito di ritagliare 39 dettagli che possono essere riferiti a un bombardiere B-17.

Immagini elaborate

Di seguito vengono riportate 39 immagini, di cui 30 ricavate da video girati dalla GC e 9 ricavate da foto ravvicinate. La tabella è strutturata in 3 colonne: n. progressivo, immagine, descrizione con possibile interpretazione degli elementi documentati.

N.	IMMAGINE	DESCRIZIONE
1.		Centina (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
2.		Motore insabbiato (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

3.		Motore con dettaglio cilindri (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
4.		Ala, bordo d'entrata, alloggiamento per luce di navigazione (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
5.		Motore, affioramento (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

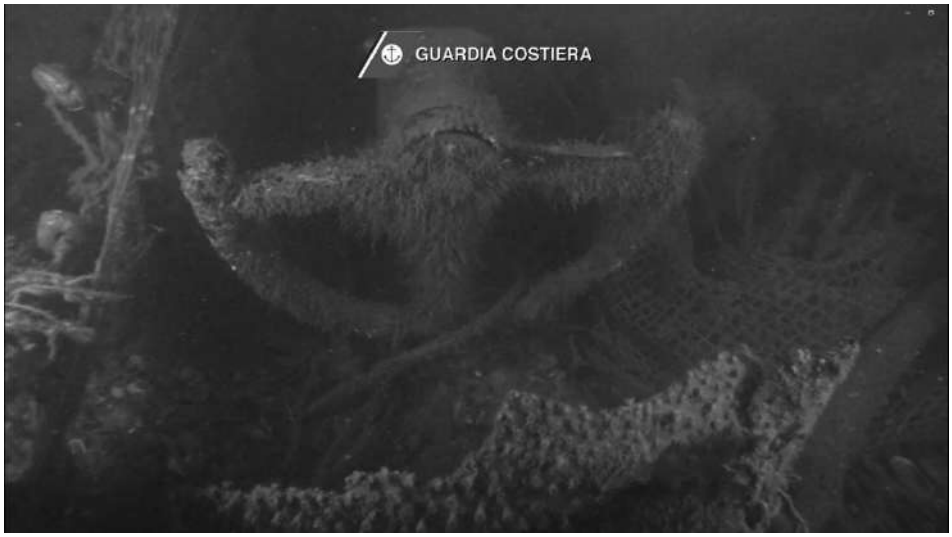
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

6.		Fusoliera, parete spaccata (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
7.		Motore, parte frontale (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
8.		Carlinga, interno, compartimento piloti (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

9.		Setto con longheroni del *bomb rail* (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
10.		Setto con longheroni, *bomb rail* (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
11.		Cloche con volantino (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

12.		Cloche con volantino e schienale mutilo (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
13.		Attività di documentazione con rif. metrico della sezione retrostante i sedili (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
14.		Attività di documentazione con rif. metrico della sezione retrostante i sedili; reti da pesca (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

15.		Documentazione con rif. metrico della porzione di fusoliera affiorante (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
16.		Ala, tralicci e lamiera ondulata di rinforzo (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
17.		Tralicci e possibile parte di oblò (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

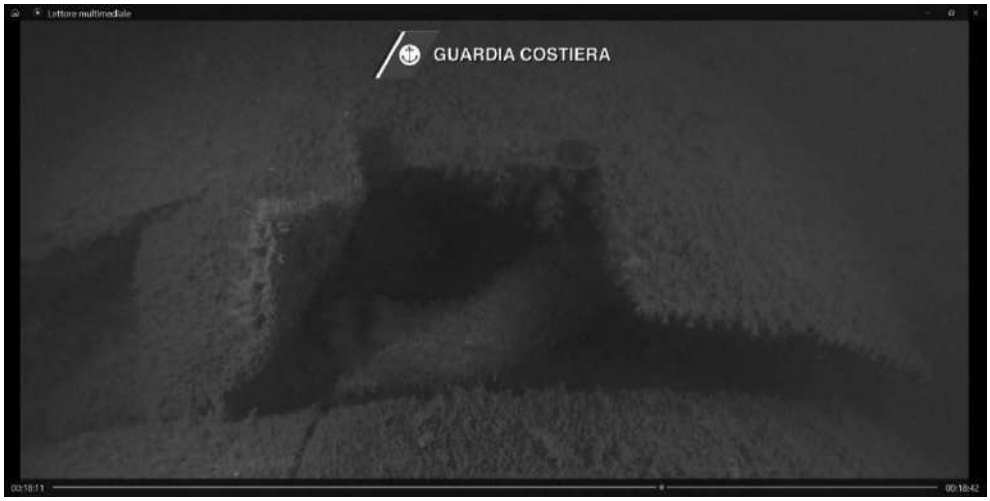
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

18.		Cloche con volantino (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
19.		Rottami all'interno della fusoliera (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
20.		Cloche, retro del volantino (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

21.		Elemento scatolare metallico con 3 prese – *switch box* (?) (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
22.		Raccordi meccanici e tralicci (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
23.		Ala, foro di ingresso del serbatoio per il carburante (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

24.		Motore, involucro aperto, visibile raccordo *super charger* – carburatore (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
25.		Elica, pala (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
26.		Ala, tralicci portanti e rivestimento di rinforzo di lamiera ondulata (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

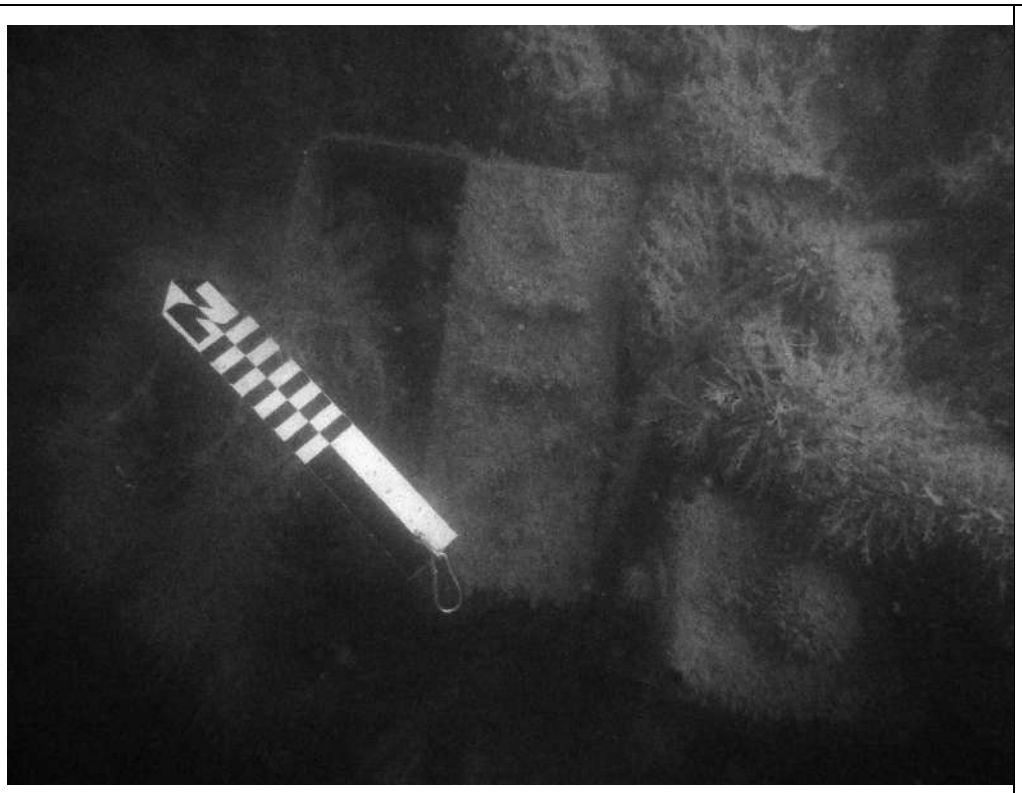
27.		Traliccio con fori e rottami (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
28.		Schienale mutilo e cloche (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
29.		Motore, dettaglio di cilindri con ghiere di supporto (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

30.		Motore, involucro danneggiato (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

		Elemento scatolare metallico con 3 prese, con rif. metrico orientato (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

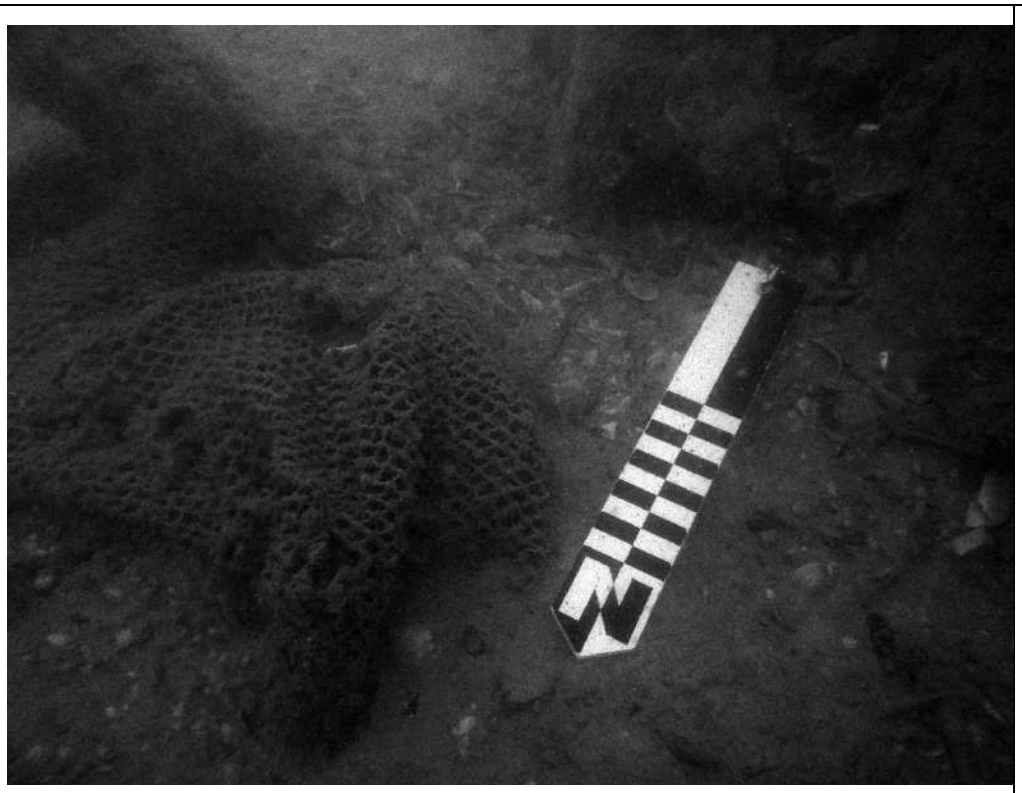
ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

31.		Elemento scatolare metallico con 3 prese, con rif. metrico orientato (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
32.		Carlinga affiorante con rif. metrico orientato (settore portello?) (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

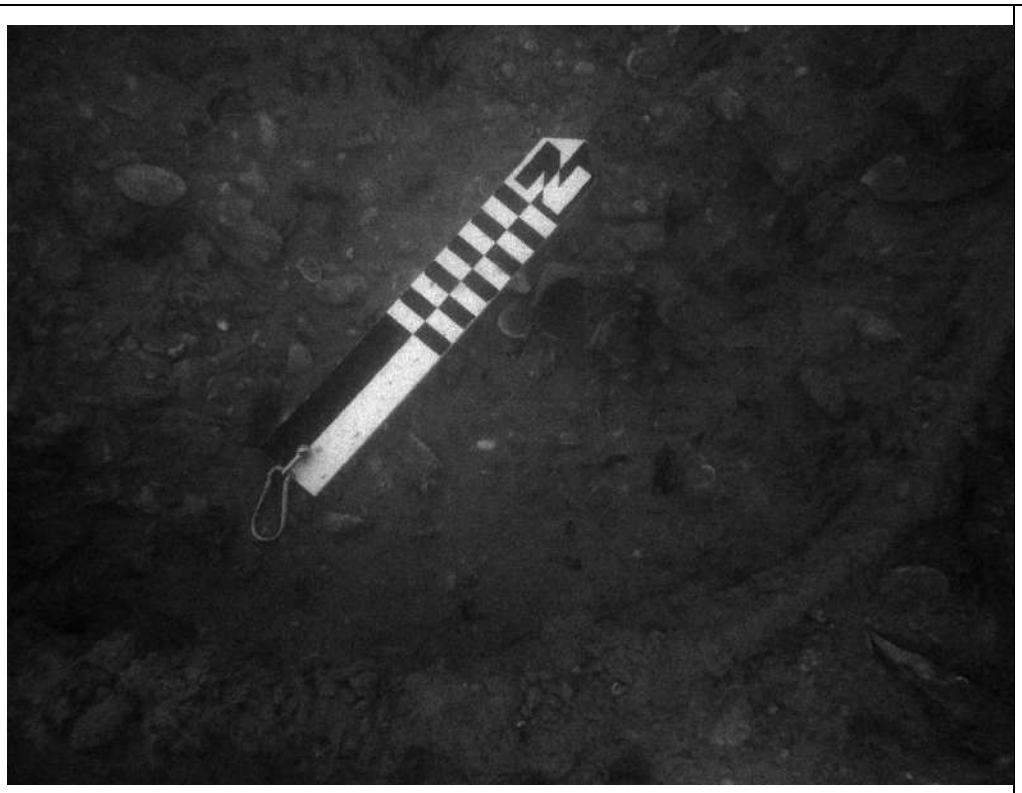
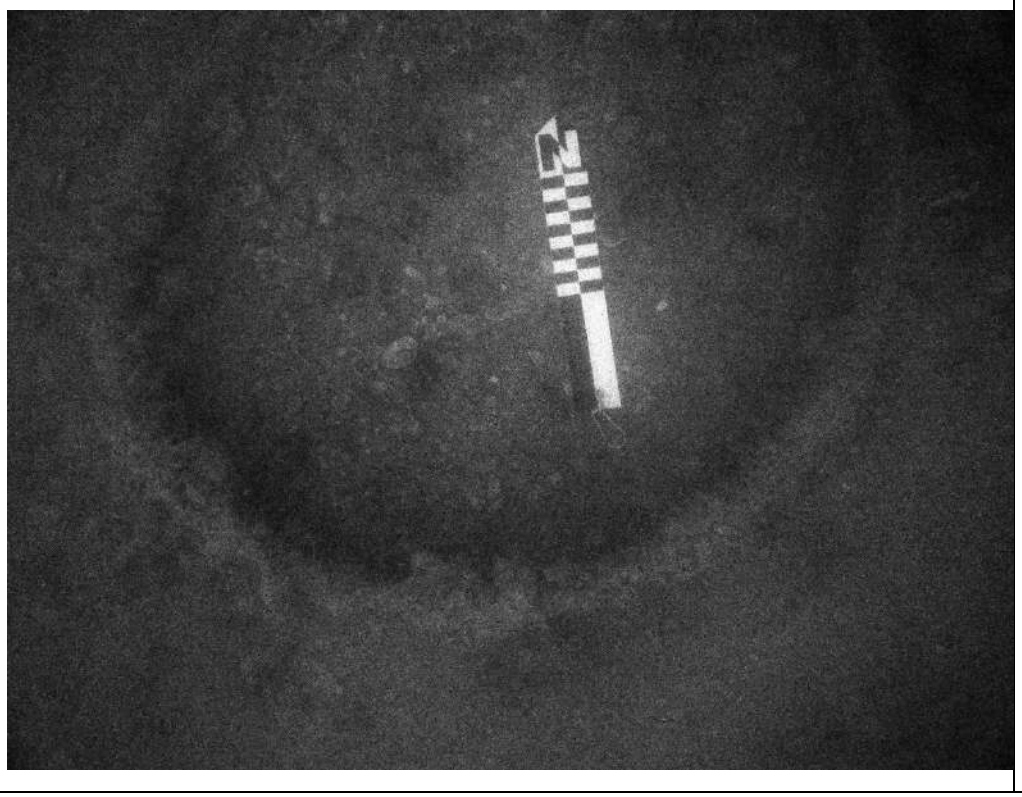
ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

33.		Fusoliera, lamiere affioranti e malacofauna con rif. metrico orientato (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
34.		Interno della carlinga, parti meccaniche e idrauliche (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

35.		Parti di mitragliatrice, canna e alloggiamento affioranti (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
36.		Ala, dettaglio delle lamiere ondulate di rinforzo (tra centina e rivestimento) con rif. metrico orientato (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

37.		Ghiera metallica e fondo di bicchiere in vetro trasparente marrone con rif. metrico orientato (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)
38.		Ghiera metallica e fondo di bicchiere in vetro trasparente marrone con rif. metrico orientato (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

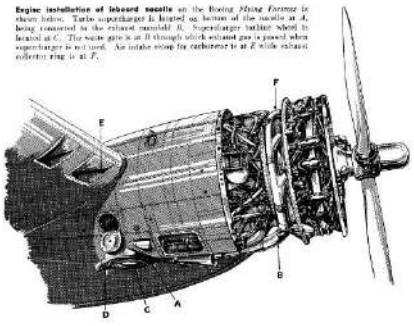
II.II.5 Comparazioni strutturali e osservazioni

Si riportano alcuni confronti tra elementi documentati e immagini dalle ricerche bibliografiche:

a, motori; b, luce di navigazione sul bordo d'entrata dell'ala; c, carlinga; d, possibile *bomb rail*; e, cloche; f, sezione alare; g, mitragliatrice Browning M2 con spigolo della fusoliera – alloggiamento.

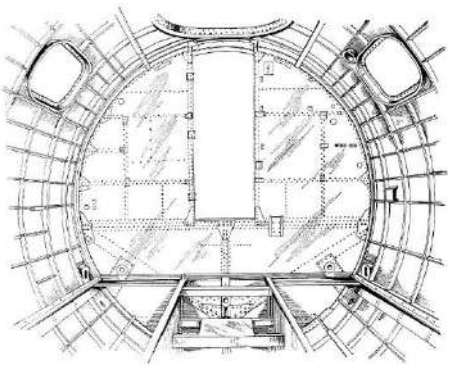
La documentazione mostra comparazioni possibili con dati tecnici relativi ai bombardieri B-17 G.

<table>
<tr><td>a</td><td>

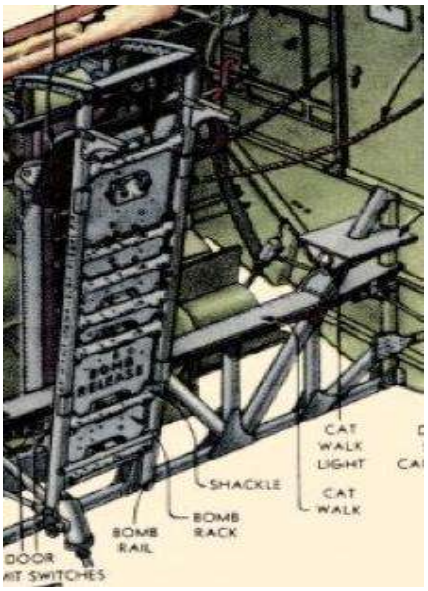
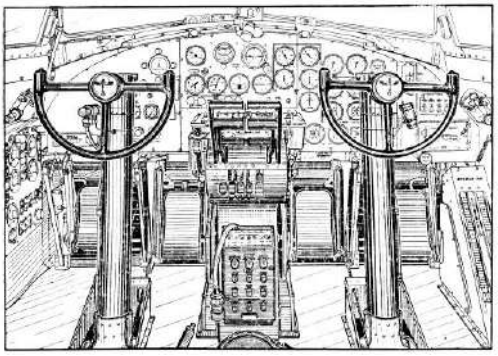
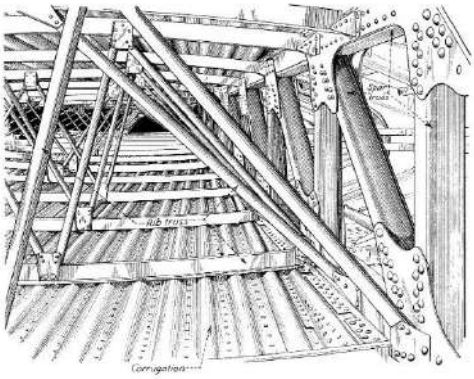
(Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)</td><td>

(FAMME 2005)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Motore</td></tr>
<tr><td>b</td><td>

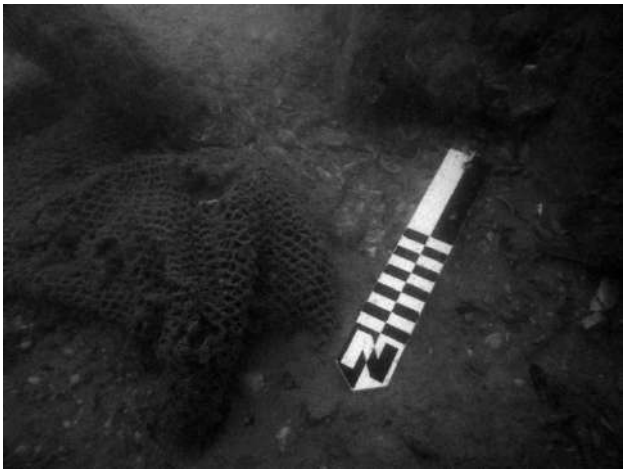
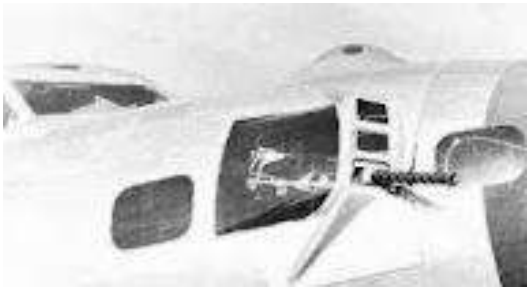
(Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)</td><td>
(https://www.militaryimages.net/)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Ala, bordo d'entrata con alloggiamento per lice di navigazione</td></tr>
<tr><td>c</td><td>

(Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)</td><td>
(FAMME 2005)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Centina della fusoliera</td></tr>
</table>

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

d	 (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)	 (https://www.militaryimages.net/)
Bomb rail		
e	 (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)	 (FAMME 2005)
Comparto piloti		
f	 (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)	 (FAMME 2005)
Ala, tralicci interni		

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

g	 (Immagine su concessione MiC – SABAP-RA)	 Dettaglio da foto storica (https://95thbg.com/cms/2019/8/28/b-17-flying-fortress)
Alluggiamento per mitragliatrice di dritta		

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.II.6 La seconda campagna

Tra 16 e 23 luglio 2024 sono state portate a termine nuove ricerche subacquee finalizzate all'individuazione del bombardiere americano B-17, ritrovato nelle acque antistanti il Porto di Ravenna e documentato nel sopralluogo del 25 marzo 2025 (Fig. II.II.6 – 1).



Figura II.II.6 - 1 – Porto di Ravenna, imbarcazioni in procinto di salpare.

Come da programmazione lavori concordata con tutte le Autorità partecipanti alla ricerca, le attività svolte in mare sono state le seguenti:

1. Posizionamento di gavitello fisso (mantenuto esclusivamente nei giorni di attività).
2. Tracciato perimetrale dell'area di studio con cavo guida - filo di Arianna.
3. Numerazione reti da pesca aggrovigliate sul relitto.
4. Documentazione fotografica di ciascuna rete.
5. Controllo e asportazione delle reti con relativo recupero a bordo dei gommoni di servizio.
6. Controllo delle reti in banchina, smaltimento come rifiuto speciale in collaborazione con Autorità Portuale.
7. Rilievo ad alta risoluzione con *Side-scan sonar* EdgeTech 4125.
8. Numerazione delle aree di indagine corrispondenti alle quattro zone motori.
9. Scavo di 4 saggi manuali: un saggio su ciascun motore, zona frontale in corrispondenza degli attacchi delle eliche.
10. Documentazione video delle attività e video-fotografica con rilievo di ciascun saggio, unitamente a documentazione degli elementi notevoli del relitto mediante foto libere e con riferimenti metrici e orientamento.

II.II.7 Metodologia e strumenti per la seconda campagna

Le immersioni sono state effettuate da due battelli, uno del I Nucleo Subacqueo Guardia Costiera di San Benedetto del Tronto, l'altro della Capitaneria di Porto di Ravenna. Le attività subacquee si sono svolte in coppia o in terne, a seconda della missione da portare a termine e delle condizioni meteo-marine, con particolare riferimento alla visibilità molto ridotta, caratteristica del sito, e la forte corrente di superficie.

I saggi di scavo sono stati eseguiti manualmente con *trowels* e pale corte. Il posizionamento è stato accuratamente studiato nella programmazione sulla base delle conoscenze tecnico-scientifiche pertinenti ai dati meccanici del velivolo. Il rilievo diretto è stato completato con metri a stecca e tavole da disegno per ambiente sommerso.

A causa della scarsissima visibilità si è optato per realizzare video ad alta risoluzione, con una GoPro Hero 11 con illuminatori (GC), da cui ricavare immagini da elaborare con software dedicati.

Per la topografia e il *remote sensing* ci siamo avvalsi della strumentazione della GC, ovvero s*ide-scan sonar* Lawrence HDS9 - HDS 12 (strumento fisso a bordo del battello della GC) per uso giornaliero (raggiungimento sito) e *Side-scan sonar* ad alta risoluzione con *towfish* EdgeTech 4125 (GC) per i rilievi di dettaglio e della zona circostante.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

II.II.8 Fasi operative dell'intervento subacqueo

1. Posizionamento di gavitello fisso (mantenuto esclusivamente nei giorni di attività).

Raggiunto il relitto tramite impostazione del GPS di bordo, è stato calato un primo riferimento provvisorio da cui si è scesi per fissare la cima della boa di superficie al relitto. Il passante è stato collocato all'interno del motore esterno settentrionale. La boa vincolata è rimasta in sito per tutto il tempo delle indagini ed è stata un riferimento utilissimo per la discesa e la risalita degli operatori subacquei.

2. Tracciato perimetrale dell'area di studio con cavo guida - filo di Arianna.

Nella prima immersione è stato collocato un cavo guida (cima gialla fosforescente Ø 2 mm) che raccorda le estremità del relitto fino a formare una poligonale chiusa. All'interno del poligono si trovano i resti principali del velivolo. Alcuni frammenti minori si riscontrano a distanze comprese entro 20 – 25 m dal centro del relitto. Il cavo è stato annodato direttamente sui resti del velivolo ed è stato lasciato *in situ* (Fig. II.II.8 - 1).



Figura II.II.8 – 1 – Realizzazione della poligonale chiusa (elab. G. Bucci da screen-shot video GC - Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

Il filo di Arianna è stato fondamentale per svolgere le attività in assenza di visibilità, consentendo di raggiungere sempre la postazione di lavoro in ogni immersione.

3. Numerazione reti.

Il relitto era coperto da un fitto groviglio di reti di diverse tipologie, di cotone e sintetiche, da circuizione, a strascico, per l'acquacoltura, molte delle quali appesantite con cavi d'acciaio e fili piombati. Presenti galleggianti di varie dimensioni e copertoni di reimpiego evidentemente usati dai pescatori.

Per verificare la possibile presenza di resti di interesse forense, non conoscendo ancora l'identità del relitto, si è provveduto alla numerazione progressiva di 8 principali gruppi di reti, fotografate in sequenza (Fig. II.II.8 - 2) e successivamente tagliate e raccolte (v. *infra*).

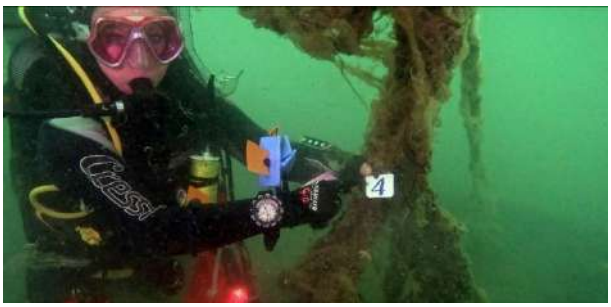


Figura II.II.8 – 2 - Numerazione degli ammassi di reti (elab. G. Bucci da screen-shot video GC - Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

4. Documentazione fotografica di ogni rete.

Prima del taglio e dell'estrazione è stato effettuato un controllo in situ con documentazione video (Fig. II.II.8 - 3).



Figura II.II.8 – 3 – Esempio di documentazione video-fotografica delle reti incastrate nel relitto (elaborazione G. Bucci da screen-shot video GC - Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

5. Controllo e asportazione delle reti con relativo recupero a bordo dei gommoni di servizio.

Le reti sono state raccolte e issate a bordo dei gommoni, per poi essere depositate in banchina. Qui sono state distese e riesaminate.

6. Controllo delle reti in banchina, smaltimento come rifiuto speciale in collaborazione con Autorità Portuale.

L'esame di dettaglio effettuato sulle reti anche a terra è stato portato a termine per la stessa motivazione, ovvero non conoscendo l'identità del relitto e considerando la possibile presenza di resti umani, era necessario esaminare con attenzione qualsiasi elemento del contesto. Una volta distese sono state riesaminate, e fotografate anche a secco con riferimento metrico (Fig. II.II.8 – 4a, b, c).



a



b



c

Figura II.II.8 – 4 – Controllo delle reti nn. 2 (a), 5 (b), 7 (c),
(foto G. Bucci - Immagini su concessione MiC – SABAP-RA).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

7. Rilievo ad alta risoluzione con Side-scan sonar EdgeTech 41.

Il rilievo eseguito con *Side-scan sonar* EdgeTech 4125 è composto da 7 *swath* (fasce di scansione) indipendenti, larghi m 70, orientati nord-nordest – sud sud-ovest, lunghi circa m 200 con *overlap* del 30%.

Il *towfish* è stato collocato alla quota di m 4 dal fondo (Fig. II.II.8 – 5a, b).
Dall'analisi dei dati sono stati selezionati 17 screenshot da visualizzatore Edgetech e 16 da visualizzatore DeepView per analizzare i dati morfometrici del relitto (Fig. II.II.8 - 6).



a **b**

Figura II.II.8 – 5 – a, preparazione del *towfish*; b, scansione (foto Guardia Costiera - Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

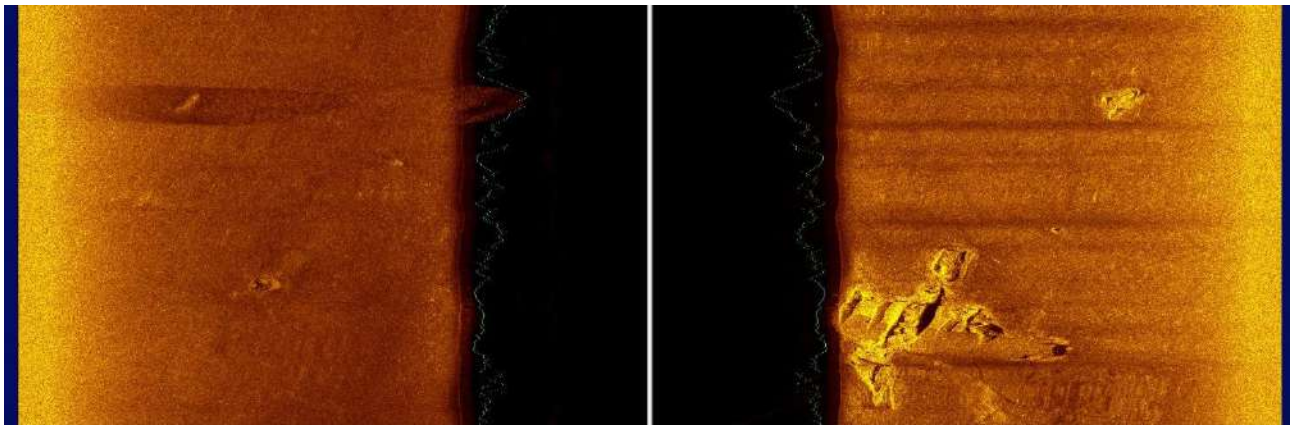


Figura II.II.8 – 6 – Screen shot. *Side image*: a destra il relitto (rilievo Guardia Costiera 21/07/2024 – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Il fondale, come documentato dalle immagini del *Side-scan sonar*, è caratterizzato da basse dune con transizione di quote graduale, testimoniando un modellamento naturale del fondale, legato a processi deposizionali e di lieve erosione idrodinamica (Fig. II.II.8 - 7).

La stratigrafia di dettaglio mostra la seguente sequenza tipo:

US 1. Argilla finissima beige poco compatta.
US 2. Gusci di malacofauna locale (in particolare *Turritella communis, Cerastoderma glaucum, Glycymeris insubrica, Chamelea gallina, Loripes lacteus*) in matrice limo-sabbiosa grigia.
US 3. Argilla grigio chiaro molto compatta (Fig. II.II.8 - 8).

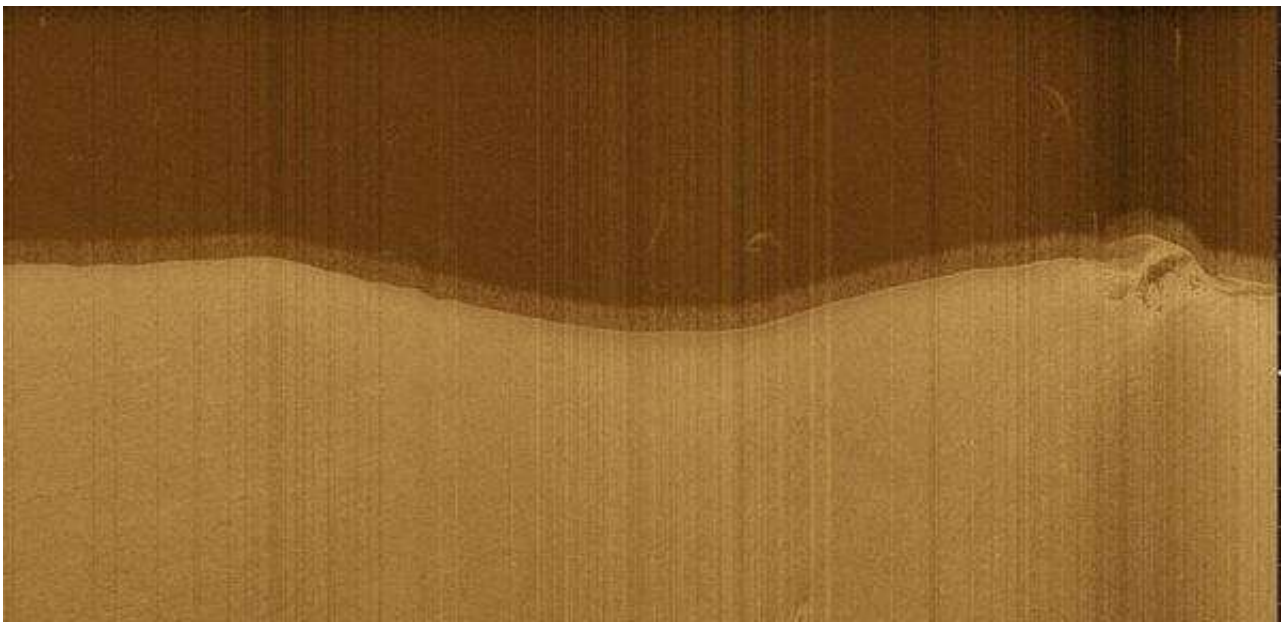


Figura II.II.8 – 7 – Down image da *Side-scan sonar*: dune sottomarine e relitto del B-17 affiorante (elab. G. Bucci da record *side-scan sonar* GC – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).



Figura II.II.8 – 8 – Sezione tipo della stratigrafia attestata nel sito di indagine (elab. G. Bucci - Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Grazie ai software di lettura dei file JSF e XTF sono state rilevate misure di dettaglio delle principali strutture del velivolo anche al fine di creare una c.d. area di giacimento per futuri lavori (v. *infra Aggiornamento descrittivo dello stato del velivolo*).

8. Numerazione delle aree di indagine corrispondenti alle quattro zone motori.

Durante le ricognizioni di luglio è stato individuato anche il quarto motore, che risultava completamente coperto dai sedimenti. La numerazione progressiva da 1 a 4 è avvenuta sulla base del reperimento e riconoscimento del motore secondo la sequenza in immersione. Motori e rispettivi saggi sono stati contrassegnati da cartellino in PVC arancione dotato di galleggiante azzurro, fissato mediante elastico di lycra alle ghiere dei cilindri. Il motore M1 è l'esterno destro, M2 interno sinistro (Fig. II.II.8 - 9), M3 esterno sinistro, M4 interno destro (per rintracciare M4 sono state necessarie più immersioni).



Figura II.II.8 – 9 - Esempio di individuazione delle aree di scavo con riferimenti metrici e orientamento: settore frontale del motore M2 con pala di elica affiorante (saggio M2) (elaborazione G. Bucci da screen-shot video GC – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

Gli interspazi tra le parti frontali dei motori sono stati utili per effettuare i saggi. Le eliche sono distaccate o semi-distaccate ruotate fuori asse, alcune ritorte e piegate, testimoniando il violento impatto e l'esplosione del velivolo. Questo ha reso le indagini più complesse, vincolando fisicamente gli approfondimenti dei saggi.

9. Scavo di 4 saggi manuali.

Come da programma, sono stati eseguiti 4 saggi stratigrafici manuali (un saggio su ciascun motore zona frontale in corrispondenza degli attacchi delle eliche) che hanno consentito il ritrovamento di alcuni reperti notevoli, tra cui 2 targhette metalliche che hanno portato all'identificazione del velivolo (v. *infra Schede reperti*). Gli scavi sono stati posizionati in corrispondenza della parte frontale dei motori al fine di raggiungere le zone di interesse in cui sono collocate le targhette di produzione e inventario dei motori stessi: bisognava raggiungere l'ogiva che riveste l'attacco dell'elica, poi il carter del contenitore dell'olio, ubicato nella parte inferiore della ghiera dei cilindri.

Lo scavo è avvenuto in maniera deduttiva, partendo dal settore superiore dei motori per scendere seguendo la struttura della c.d. motore stellare. Si tratta di 4 motori radiali a 9 cilindri Cyclone R-1820 prodotti da Studebaker Corporation Aviation Division, South Band, Indiana, USA, su licenza Wright, come si legge sulle iscrizioni dei reperti notevoli (v. *Schede reperti*, Rep.1 e Rep.2). Lo studio dell'apparato meccanico è servito da guida tecnico-scientifica per raggiungere i dati probatori (le targhette punzonate) (Fig. II.II.8 – 10).



Figura II.II.8 – 10 – USAF Museum, Daytona, Ohaio, parte frontale del motore Cyclone Wright R 1820; al di sotto del mozzo dell'elica si vedono una targhetta rettangolare piatta e una curva fissata sul carter dell'olio, in basso (da https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Wright_R-1820_Engine.jpg CC BY-SA 3.0, accesso 30/10/2025).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Da nord verso sud si trovano i saggi M1, M4, M2, M3 (la numerazione è stata attribuita in base all'ordine di scavo prescelto sulla base di integrità e raggiungibilità degli elementi identificativi - Fig. II.II.8 - 11).

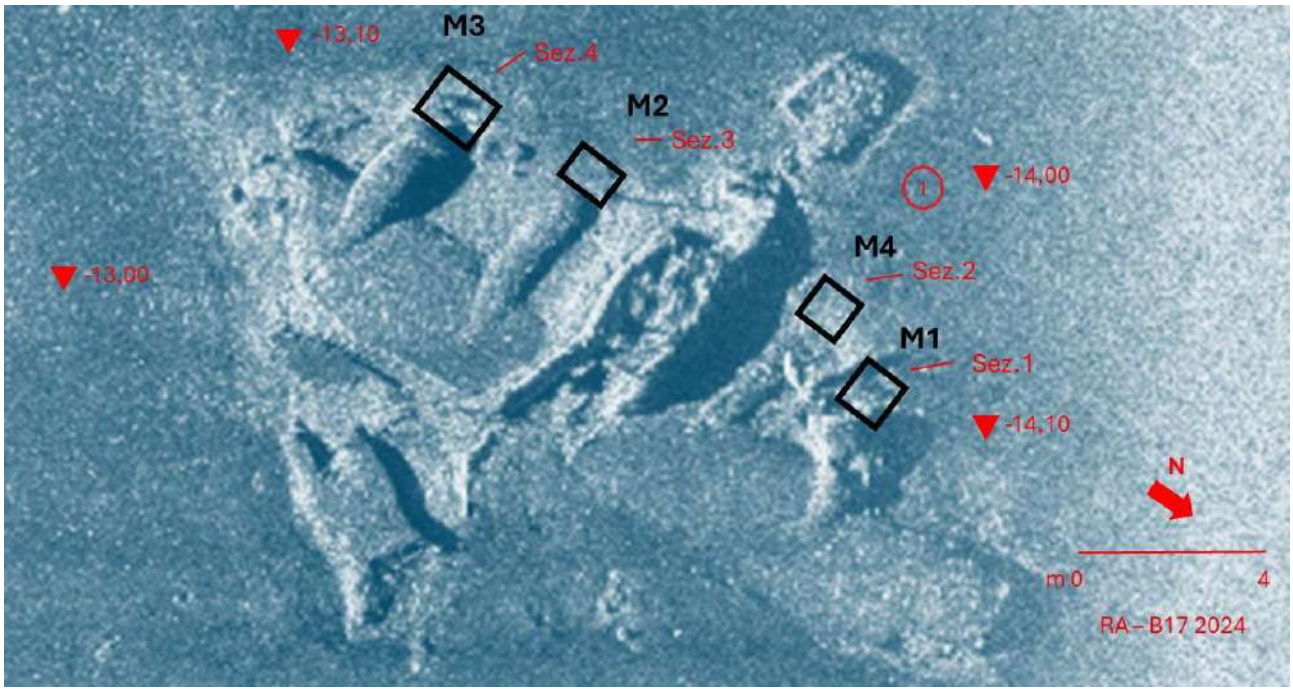


Figura II.II.8 – 11– Planimetria digitale da *side-scan sonar* con posizionamento dei saggi e delle sezioni rilevate (elab. G. Bucci da immagine s*ide-scan sonar* GC – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

MISURE DEI SAGGI			
SAGGIO	**LARGH. [m]**	**LUNG. [m]**	**PROF. [m]**
M1	1,00	0,87	0,70
M2	1,00	0,80	0,62
M3	1,00	0,75	0,64
M4	1,00	1,00	0,81

Gli scavi hanno preso inizio dal motore M1, la cui ghiera dei cilindri emerge dal fondale per circa metà della sua altezza; durante i lavori si è ravvisata la presenza di un oggetto laminare rettangolare curvo che è stato portato in superficie. Una volta emerso l'operatore, è stato possibile confermare che l'oggetto era un reperto notevole (Rep.1) utile per l'identificazione del velivolo, ovvero la targhetta originariamente posizionata sul carter dell'olio del motore M1; il reperto è stato trovato staccato dalla collocazione tipica, inglobato nello strato US 3, argilla compatta grigio chiaro, compreso fra la parte inferiore del motore e l'ogiva dell'elica, staccata dai supporti e piantata a Ovest del motore stesso (Fig. II.II.8 – 12).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



Figura II.II.8 – 12 – Rep.1. Targhetta identificativa da saggio M1 (foto G. Bucci - – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

Successivamente si è passati allo scavo del motore M3, in quanto anch'esso meglio ispezionabile, poiché parzialmente emergente dal fondale marino.

Contestualmente hanno preso inizio i saggi M2 e M4, anche a seguito della difficoltà dell'intervento in ambiente a visibilità zero (peggiorata nel corso delle indagini causa meteo avverse), con presenza di rottami nei substrati, reti insabbiate e parti di eliche.

Il saggio M3 ha restituito una targhetta, con numeri di brevetto e marchio di produzione del motore, posizionata originariamente sull'ogiva dell'elica (Rep.2, Fig. II.II.8 - 13) e una targhetta di inventario di produzione (Rep.3, Fig. II.II.8 - 14) gemella del Rep.1, fusa e illeggibile (riconoscibili alcune lettere in corrispondenza di una lacuna curvilinea, esaminando al microscopio l'oggetto).

Entrambi i reperti 2 e 3, come il Rep.1, sono stati trovati distaccati dalla posizione originaria e inglobati nello strato US 3.

A causa della visibilità zero i reperti notevoli sono stati fotografati fuori dall'acqua e in laboratorio.

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

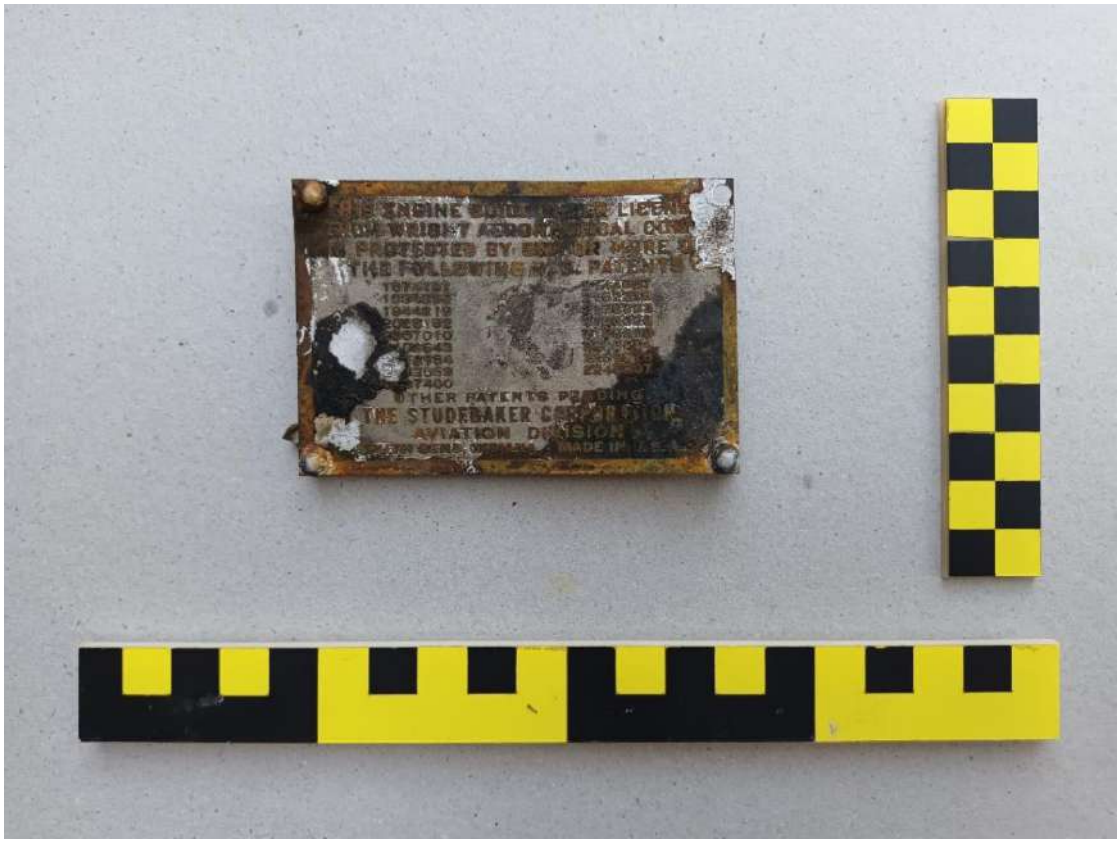


Figura II.II.8 – 13 – Rep.2. Targhetta identificativa con indicazione del produttore del motore e numeri dei brevetti di fabbricazione da saggio M3 (foto G. Bucci – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).



Figura II.II.8 – 14 – Rep.3. Targhetta fusa da saggio M3 (foto G. Bucci – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Nello scavo M4 sono stati ritrovati pezzi di mitragliatrice con elementi ascrivibili agli apparati della *ball turret*. A scopo precauzionale è stata portata in superficie una presa con attacco a ferro di cavallo e incastro a baionetta (attribuibile al complesso del sistema di mira in uso nella *ball turret*), per verificare eventuali attestazioni di iscrizioni o numeri utili (per ora non rintracciati).

10. Rilievo e documentazione fotografica dei saggi e degli elementi notevoli del relitto.

Sono state disegnate 4 sezioni, una per ciascun saggio, mediante rilievo diretto in immersione rilevando la medesima sequenza stratigrafica: US 1. Argilla finissima beige poco compatta.

US 2. Gusci di malacofauna locale (in particolare *Turritella communis, Cerastoderma glaucum, Glycymeris insubrica, Chamelea gallina, Loripes lacteus*) in matrice limo-sabbiosa grigia.
US 3. Argilla grigio chiaro molto compatta (Figg. II.II.8 – 15, 16).

Le attività sono state documentate con videocamera posizionando riferimenti metrici e indicazioni di orientamento sia per gli scavi, sia per la registrazione di elementi notevoli, utili al riconoscimento del velivolo e alla verifica dello stato di conservazione, sia per lo studio dell'incidente aereo. Sono state scattate anche foto libere a corredo della ricerca.

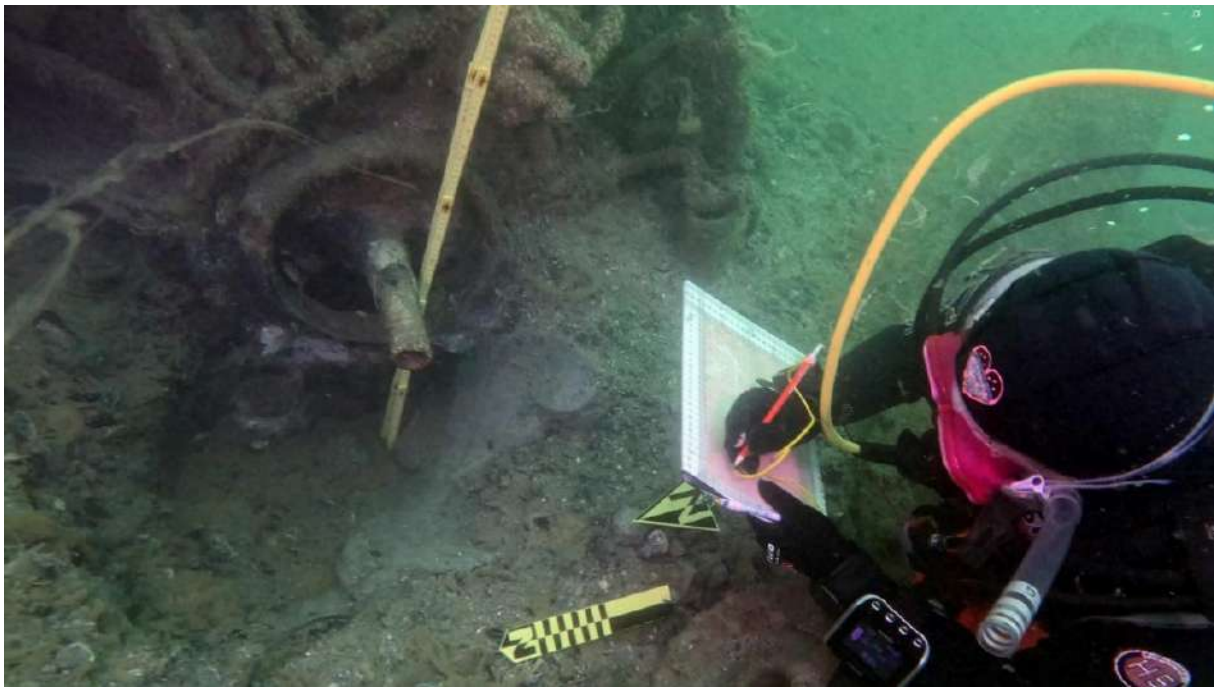


Figura II.II.8 – 15 – Disegno delle sezioni di scavo, dettaglio lavori settore M1 (elaborazione G. Bucci da screen shot video GC - – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

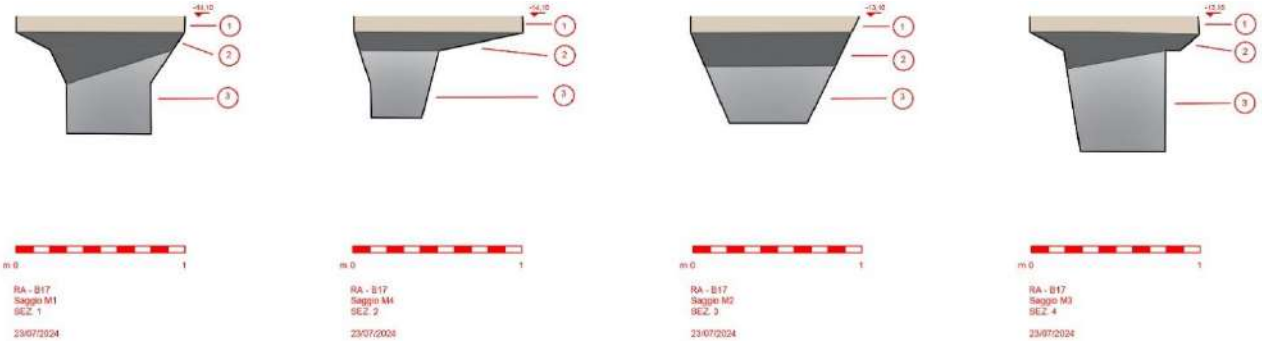


Figura II.II.8 – 16 – Sezioni dei 4 saggi (elab. G. Bucci – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Come per la prima sessione di lavori, gli snapshot da video sono stati elaborati tramite software di gestione immagini attraverso espedienti tecnici che hanno consentito di far risaltare dettagli stratigrafici e costruttivi, caratterizzanti le porzioni visibili dei resti del velivolo. Da una prima selezione di immagini a colori si è passati immagini con cromatismi differenziati, evidenziando il contrasto e togliendo luminosità. L'elaborazione informatica ha consentito di ritagliare un centinaio di immagini.

II.II.9 Dettagli descrittivi dello stato del velivolo

Le ricognizioni subacquee portate a termine tra 16 e 23 luglio 2024, grazie a condizioni di migliore visibilità dei giorni 16 - 18 luglio e grazie alla pulizia superficiale preliminare con rimozione di gran parte delle reti, hanno consentito di documentare nuovi dettagli del relitto.

Il rilievo digitale eseguito dalla GC con *Side-scan sonar* ad alta risoluzione EdgeTech 4125, ha permesso di cogliere i rapporti tra i vari pezzi affioranti, misurandoli e dandone contezza specifica, nonché misura relativa in rapporto al fondale.

Lo scavo dei 4 saggi ha restituito 2 reperti notevoli che hanno consentito l'identificazione del relitto da parte degli esperti del DPAA, attraverso le indagini di archivio[36], che si trattava dell'aereo per il quale non vi furono dispersi.

I resti del velivolo giacciono su un fondale di sedimenti fini che occultano gran parte della struttura. Il B-17 è orientato a Nord-Nordest. Come evidenziato in precedenza, gli strati US 1 e US 2 coprono la maggior parte dei resti del velivolo, piantato nello strato naturale argilloso US 3 (Fig. II.II.9 - 1). La parte di carlinga visibile è mutila della parte superiore: la porzione rilevabile allo stato attuale misura una lunghezza massima pari a m 17,60 (Fig.II.II.9 - 2a)[37]; con un'apertura alare ridotta in quanto mutila di m 11,30 (Fig. II.II.9 -2b), circa un terzo dell'espansione originaria[38].



Figura II.II.9 - 1 – Immagine da *side-scan sonar*, dettaglio (Guardia Costiera – rilievo del 21/0/2024 – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

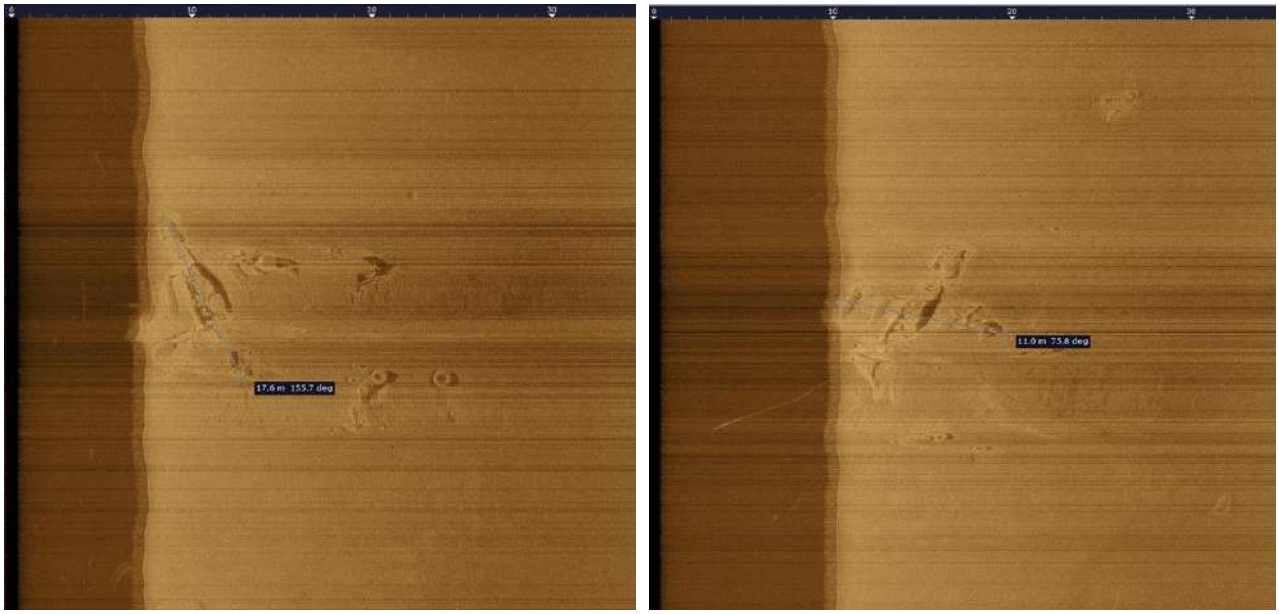
[36] È in fase di elaborazione la relazione di B. Memmi, Casualty Resolution Officer Detachment Europe Defense POW/MIA Accounting Agency, USA.

[37] Lunghezza originaria: m 22,66.

[38] Apertura alare originaria: m 31,62.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



a **b**

Figura II.II.9 - 2 – *Side image*, dettagli delle misurazioni effettuate con DeepView: a sinistra i resti della carlinga, a destra i resti delle ali (elab.G. Bucci da record *side-scan sonar* GC – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

Il comparto navigatore – bombardiere di prua risulta staccato dal comparto piloti e lievemente ruotato a est. Sono presenti i 4 motori, tutti danneggiati, con eliche staccate e, in parte, piegate. Il motore esterno di dritta (M1) è probabilmente staccato dall'ala e orientato quasi Est – Ovest, il motore interno (M4) è totalmente insabbiato e inclinato verso il basso. I motori interno (M2) ed esterno (M3) di sinistra risultano, per quanto visibile, saldati all'ala. (Fig. II.II.9 - 3).

.

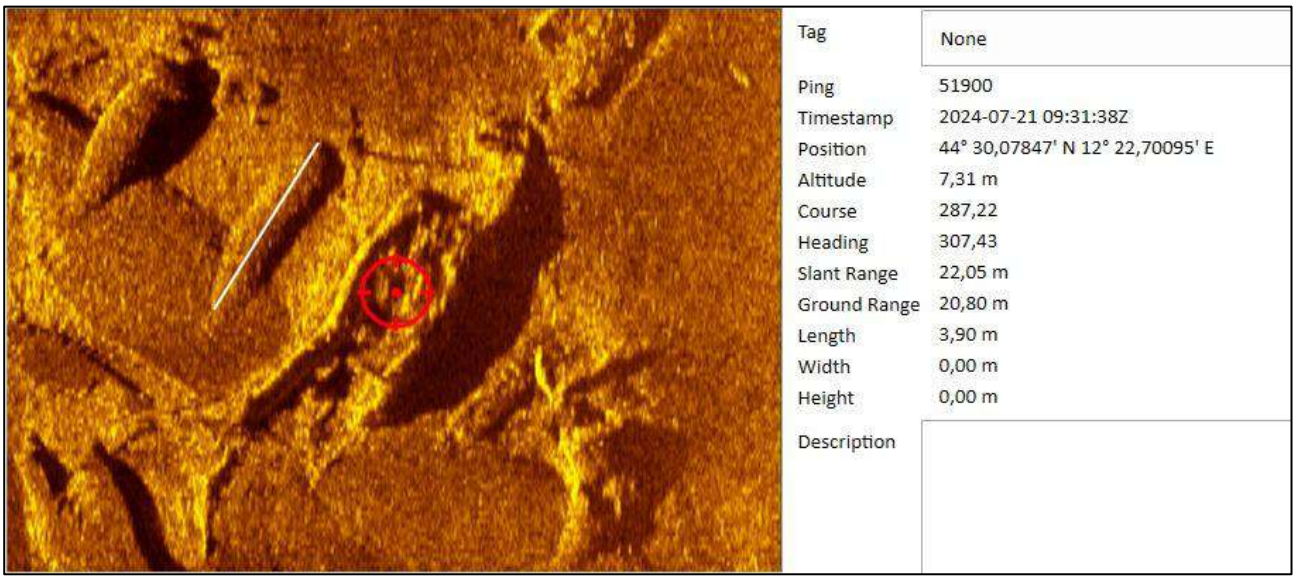


Figura II.II.9 - 3 – Immagine da *Side-scan sonar*, al centro il comparto piloti, in alto la prua staccata, a sinistra, misurazioni dei motori (elab. Guardia Costiera – rilievo del 21/07/2024 – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Il comparto piloti è mutilo nella sezione anteriore: il cruscotto è divelto, privo della strumentazione, con pannello riverso verso prua (Figg. II.II.9 – 4, 5, 6); riconoscibile un oblò staccato e piantato tra i rottami (Fig. II.II.9 – 7); sono presenti le 2 cloche con semi-volantino, i comandi meccanici dei motori e delle eliche; si vedono gli schienali dei sedili (mutili nella parte superiore) appartenenti alle postazioni di pilotaggio di dritta e sinistra. Si riconoscono, seppur mutili, la porzione alta del setto che separa il comparto piloti dal comparto radio e il setto che divide quest'ultimo dal comparto bombardieri centrale. Come già evidenziato nella relazione della missione di marzo 2024, al centro giace uno dei *bomb rail*.



Figura II.II.9 - 4 – Resti del comparto piloti: riconoscibili le due postazioni con cloche di sinistra e di dritta ai lati del rif. metrico M1 (elab. G. Bucci da screen shot video GC – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).



Figura II.II.9 - 5 – Comandi dei motori e delle eliche (elab. G. Bucci da screen shot video GC – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

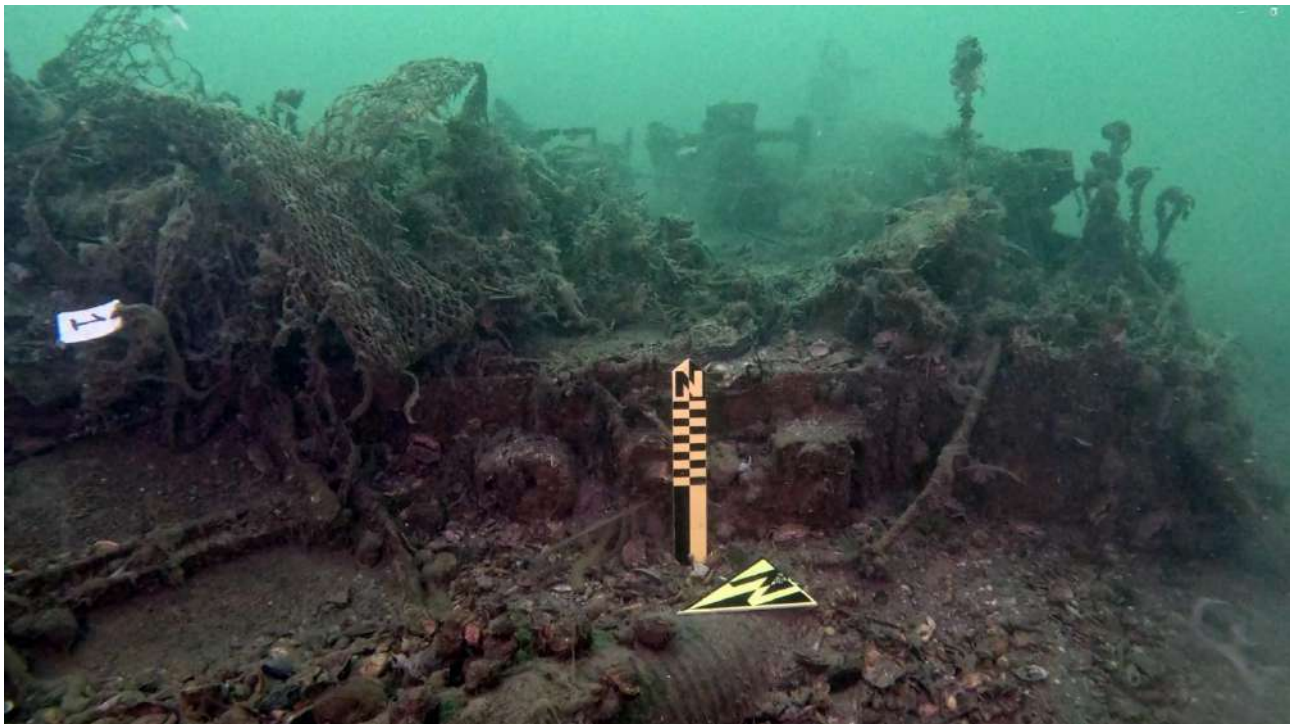


Figura II.II.9 – 6 – Setto divisorio tra comparto piloti e *nose gunner* sector (elab. G. Bucci da *screenshot* video GC – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).



Figura II.II.9 -7 – Oblò divelto e conficcato tra i rottami in prua (elab.G. Bucci da *screenshot* video GC -– Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Le ali mutile sono prive delle parti terminali esterne, dei flap e di parte del rivestimento rivettato, lasciando vedere il contro-rivestimento interno ondulato e i tralicci strutturali in parte in posizione, in parte divelti e mutili (Fig. II.II.9 – 8). Dall'ala di sinistra affiora in sezione uno dei serbatoi in gomma nera sfaldato (Fig. II.II.9 – 9).



Figura II.II.9 - 8 – Lacerto di ala (elab. G. Bucci da screen shot video GC – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).



Figura II.II.9 - 9 – Resti di un serbatoio lacerato fuoriescono da un lacerto di ala (elab. G. Bucci da screen shot video GC – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

Un grande lacerto di struttura, forse ascrivibile ai piani di coda, si trova nel settore sud-ovest, distaccato dalla concentrazione principale del giacimento (altri resti sparsi erano già stati individuati nella ricognizione di marzo). Il velivolo risulta mutilo di numerose parti e reca tracce di esplosione e incendio (Fig. II.II.9 – 10).



Figura II.II.9 - 10 – Carlinga con tracce di esplosione, lato sinistro (elab. G. Bucci da screenshot video GC – Immagine su concessione MiC – SABAP-RA).

L'attività di indagine archeologica subacquea forense ha evidenziato come l'integrazione tra analisi dei reperti, fonti documentali e cooperazione internazionale rappresenti un elemento metodologico imprescindibile.

In particolare, la collaborazione con studiosi americani ha consentito di accedere a banche dati e registri aeronautici determinanti per l'attribuzione univoca del relitto B-17 G Ser. Num. 42-31872, relativamente al quale non vi sono dispersi. Gli studiosi del DPAA hanno rilevato che il velivolo è riconducibile a un evento occorso in data 25 febbraio 1944, nello specifico a un bombardiere B-17, partito da Lucera in direzione Rosemberg, attaccato al rientro: il velivolo tentò un ammaraggio di emergenza nelle acque di Ravenna, tre membri dell'equipaggio rimasero a bordo, sette si lanciarono: tre morirono, sette si salvarono e vennero fatti prigionieri dai tedeschi[39].

Questo caso di studio conferma il valore dell'approccio interdisciplinare e transnazionale, sottolineando come la condivisione delle informazioni e delle competenze costituisca un fattore decisivo per il raggiungimento di risultati affidabili e verificabili nell'ambito della ricerca forense subacquea.

[39] Alcune note sull'evento e sull'equipaggio, provenienti da fonti non ufficiali, sono riportate nel sito web *Aerei Perduti*: https://www.aereiperduti.net/approfondimenti/sanbartolo.php.

II.II.10

SCHEDE DELLE PROVE

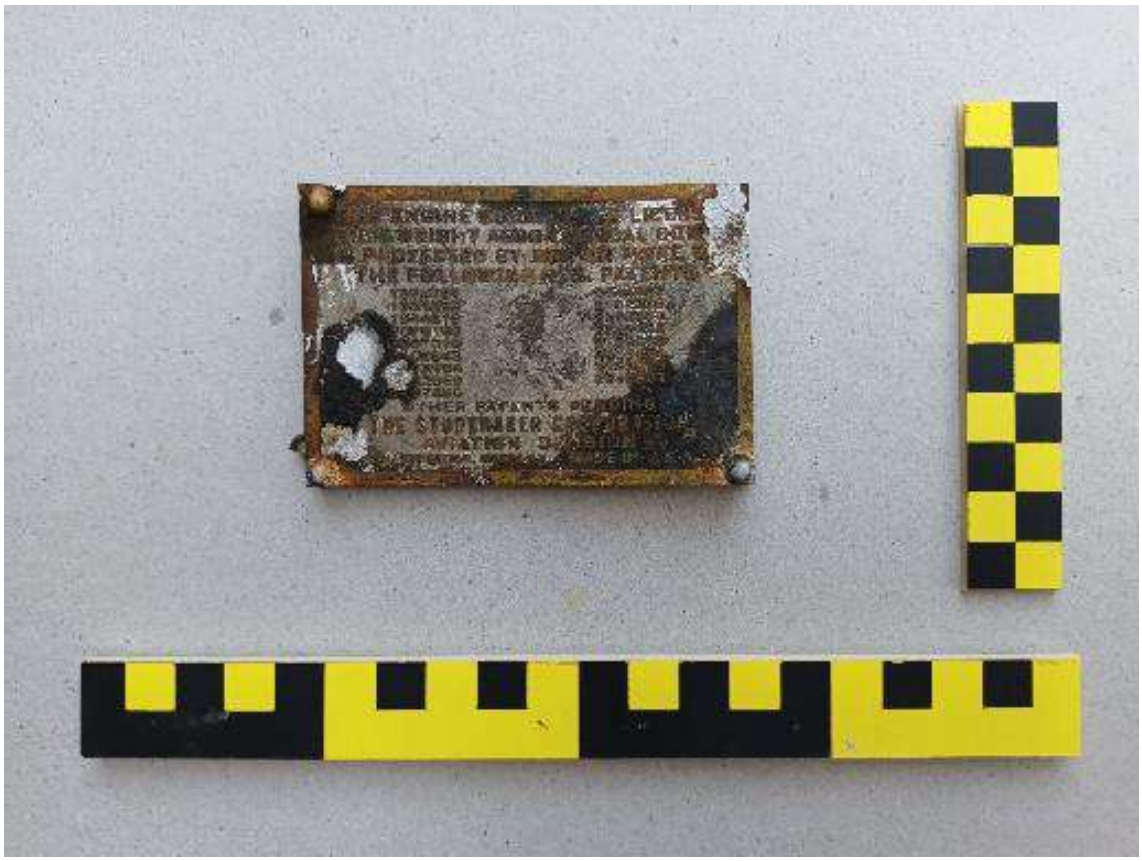
.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



N. 1
Saggio M1.
US 3.
Oggetto: Targhetta.
Classe: Metallo.
Tipologia: Rettangolare convessa con 4 fori per fissaggio.
Descrizione Targhetta.
Collocazione originaria: carter del contenitore dell'olio del motore radiale a 9 cilindri Cyclone R-1820-97 prodotto da Studebaker Corporation Aviation Division, South Band, Indiana, USA, su licenza Wright.
Esemplare SW – 007889.
Forma: rettangolare.
Stato di conservazione: parzialmente fusa nell'estremità alta sinistra. Argilla ipercotta consolidata nella parte inferiore e retrostante.
Dritto: in alto a sinistra, marchio di produzione "Wheel logo" Studebaker; in alto a destra schema della numerazione dei cilindri; al centro, 18 linee con iscrizioni a rilievo prestampate con dati punzonati.
Rovescio: tracce di bruciatura e fusione con concrezioni.
Materiale: lega di alluminio e titanio con sfondo dipinto di nero.
Misure:
Lungh. cm 11,5.
Largh. cm 8,0.
Spess. cm 0,2.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



N. 2
Saggio M3.
US 3.
Oggetto Targhetta
Classe: Metallo.
Tipologia Rettangolare con 4 fori per fissaggio.
Descrizione Targhetta.
Collocazione originaria: ogiva di elica di motore radiale a 9 cilindri Cyclone R-1820-97 prodotto da Studebaker Corporation Aviation Division, South Band, Indiana, USA, su licenza Wright.
Forma rettangolare piatta; quattro fori agli angoli per il fissaggio; presenti tre rivetti su quattro.
Stato di conservazione: tracce di bruciatura e ruggine.
Dritto: profilo con riquadro dipinto di giallo così come le linee di iscrizione; in alto quattro righe riferibili al motore, di seguito su due colonne i numeri di brevetto della produzione (17 brevetti); sotto quattro linee con indicazioni della produzione: Studebaker Corporation Aviation Division, South Band, Indiana, USA.
Rovescio: liscio con tracce di ruggine in corrispondenza del profilo.
Misure:
Lungh. cm 9,0.
Largh. cm 6,0.
Spess. cm 0,75.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



N. 3
Saggio M3.
US 3
Oggetto: Targhetta.
Classe: Metallo.
Tipologia: Rettangolare convessa con 4 fori per fissaggio.
Descrizione Targhetta.
Collocazione originaria: carter del contenitore dell'olio del motore radiale a 9 cilindri Cyclone R-1820-97 prodotto da Studebaker Corporation Aviation Division, South Band, Indiana, USA, su licenza Wright.
Forma: rettangolare.
Stato di conservazione: bruciata e semifusa.
Tracce di quattro fori per fissaggio alle estremità; 2 viti in ferro ancora presenti
Dritto: tracce di fusione con scorie.
Rovescio: tracce di bruciatura, fusione e concrezioni.
Lega di alluminio e titanio con sfondo dipinto di nero.
Misure:
Lungh. cm 11,0.
Largh. cm 6,0.
Spess. cm 0,2.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1



N. 4
Saggio M4.
US 2.
Oggetto: Manubrio.
Classe: Armamento.
Tipologia: A presa singola rivestita in gomma.
Descrizione: Resti di impugnatura laterale metallica appartenenti al complesso del sistema di mira, *azimut controller*, in uso nella *ball turret* per le 2 mitragliatrici Browning M2.
L'impugnatura è rivestita da una presa in gomma; presenti resti di cavi di trasmissione e raccordo.
Presenti resti di viti di fissaggio.
Bioconcrezioni: vermi marini e bivalvi.
Misure:
Lungh. cm 32,0.
Largh. cm 17,0.
Spess. cm 1,3.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

BIBLIOGRAFIA

AAUS 2018. *American Academy of Underwater Sciences (AAUS). AAUS Scientific Diving Manual*. AAUS: Dauphin Island, AL, USA.

AMOROSI, A., CENTINEO M.C., COLALONGO, M.L., PASINI, G., SARTI, G., VAIANI, S.C. 2003. "Facies Architecture and Latest Pleistocene-Holocene Depositional History of the Po Delta (Comacchio Area), Italy". *The Journal of Geology,* January 2003, 111, pp. 39–56.

ARNAUD, G., ARNAUD, S., ASCENZI, A., BONUCCI, E., GRAZIANI, G., 1980. "On the Problem of the Preservation of Human Bone in Sea Water." *International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 9 (1), pp. 53–65.

BALISTA, C., BONFATTI, L., CALZOLARI M. 2007. *Il paesaggio naturale e antropico delle Valli tra Spina e Comacchio e le sue trasformazioni dall'Età etrusca all'Alto Medioevo*. In *Genti nel Delta*, F. BERTI, M.BOLLINI, S. GELICHI, J. ORTALLI (EDS.), Ferrara, Italy, pp. 19 - 47.

BARONE, P. M., DI MAGGIO, R. M., 2019. "Dealing with Different Forensic Targets: Geoscientists at Crime Scenes." *Geological Society, London, Special Publications* 492. https://doi.org/10.1144/SP492-2017-274.

BARONE, P. M., GROEN, W. J. M., 2018. *Multidisciplinary Approaches to Forensic Archaeology: Topics Discussed during the European Meetings on Forensic Archaeology (EMFA).* Cham: Springer.

BEAL, W. E., 1945. "Design Analysis of the B-17 Flying Fortress". *Aviation magazine*, vol 44, no. 1, pp. 121-144 (reprint).

BECKER, R. F. 1995. *The Underwater Crime Scene: Underwater Crime Investigative Techniques.* Springfield, IL: Charles C. Thomas.

BECKER, R. F., NORDBY, S. H., JON, J. J., 2021. *Underwater Forensic Investigation.* 2nd ed. London: CRC Press.

BIBEL, G. 2008. *Beyond the black box: the forensics of airplane crashes*, Baltimore.

BLAU, S., UBELAKER, D. H. eds., 2009. *Handbook of Forensic Anthropology and Archaeology.* Walnut Creek: Left Coast Press.

BONDESAN M., BUCCI V. 1972. *Gli antichi cordoni litoranei del settore Sud-occidentale delle valli di Comacchio*. Atti dell'Accademia delle Scienze di Ferrara XLVIII; Ferrara, pp. 1–18.

BONDESAN, M. 1984, *Lineamenti di geomorfologia del basso ferrarese*, in *La civiltà comacchiese e pomposiana dalle origini al tardo medioevo*. Atti del Convegno Nazionale di Studi Storici, Comacchio, 17–19 maggio 1984, pp. 17–28.

BONDESAN, M. 1990. *L'area deltizia padana: caratteri geografici e geomorfologici*. In *Il Parco del Delta del Po. Studi e Immagini. L'ambiente come Risorsa,* C. BASSI (ED.), Ferrara, pp. 1–49.

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

BROWN, S., HENDERSON, J.C., 2025. "Documenting Change on the SS Thistlegorm, Red Sea, Egypt: Using Underwater Photogrammetry to Record Natural Deterioration and Human Impacts on a World War II Shipwreck". *Heritage* 2025, 8, 504, https://doi.org/10.3390/.

BUCCI G. 2023. *Hydrographic Drone Non-Invasive Underwater Investigations: New Archaeological Discoveries in Valle Fossa di Porto (Comacchio—FE, Italy)*. *Heritage* 2023, 6, 1804–1823, https://doi.org/10.3390/heritage6020096.

BUCCI G., DAVIDDE B., MAZZA A. 2025. *Archeologia dell'aviazione nella laguna di Comacchio (FE): indagini remote sensing e ricerche forensi*. Atti CNAS VII Convegno Nazionale di Archeologia Subacquea, La Maddalena, 11-14 maggio 2023, c.d.s.

BUCCI, G., 2010. "Low visibility underwater archaeological research: Gambulaga Project 2009-2010", in *4th International Symposium on Underwater Research - March 18-20, 2010*" Eastern Mediterranean University, Famagusta - Turkish Republic of Northern Cyprus, Famagusta –TRN Cyprus, pp.21-38 (EMU Printing House, 03.2010 T.No: 512512).

BUCCI, G., 2015. *A.CDCI. Underwater Archaeology Handbook - The Smart Guide for Surveys and Investigations*, Bologna, Ed. SO.GE.SE.

CALZOLARI M. 2007. *Il Delta padano in Età romana: idrografia, viabilità, insediamenti*. In *Genti nel Delta Ferrara*, In *Genti nel Delta*, F. BERTI, M. BOLLINI, S. GELICHI, J. ORTALLI (EDS.), Ferrara, Italy, pp. 153–172.

CHRISTENSEN, A. M., PASSALACQUA, N. V., BARTELINK, E. J., 2014. "Forensic Archaeology and Scene Processing Methods." *Forensic Anthropology*, edited by Angi M. Christensen, Nicholas V. Passalacqua, and Eric J. Bartelink, pp. 149-178.

COX, M., HUNTER, J., 2006. *Forensic Archaeology: Advances in Theory and Practice.* Abingdon: Routledge.

DEAN, M., FERRARI, B., OXLEY, I., REDKNAP, M., WATSON, K., eds., 2000. *Archaeology Underwater: The NAS Guide to Principles and Practice.* Portsmouth: Nautical Archaeology Society.

DI MAGGIO, R. M., BARONE, P. M., 2019. "Geoforensics in Italy: Education and Research Standards." *Geological Society, London, Special Publications* 492, https://doi.org/10.1144/SP492-2017-273.

DI MAGGIO, R. M., P. M. BARONE, EDS., 2017. *Geoscientists at Crime Scenes: A Companion to Forensic Geoscience.* Cham: Springer.

DIRKMAAt, D. C. (ED). 2012., *A Companion to Forensic Anthropology.* Chichester: Wiley-Blackwell.

ECK, C.R. 2023. *Broken Wings, Recovered Souls: Understanding Site Formation Processes and Developing a Lexicon for Terrestrial Military Aircraft Crash Site Types Associated with the Recovery of Missing Personnel Remains*, in WHITEHEAD H.W., LICKLITER-MUNDON M. (EDS.) *Strides Towards Standard Methodologies in Aeronautical Archaeology. Contributions To Global Historical Archaeology*, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-40963-9_2.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

EMANOVSKY, P. D., BELCHER, W. R., 2012., "The Many Hats of a Recovery Leader." In *A Companion to Forensic Anthropology*, D. C. Dirkmaat (ED.), 567–592. Chichester: Wiley-Blackwell.

ESDC 2015. *European Scientific Diving Committee (ESDC). European Scientific Diving Manual: Principles and Practice*. ESDC: Brussels, Belgium.

FAMME, J.H., 2005. *Consolidated B-24 Liberator*, San Diego (CA), USA.

FERRARI, B., ADAMS, J., 1990., "Biogenic Modifications of Marine Sediments and Their Influence on Archaeological Material." *International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 19 (2), pp. 139–151.

FLEMMING, N. C., MAX, M.D., 1996, *Scientific diving: a general code of practice*, Paris.

GASPERINI, L., STANGHELLINI, G., DEL BIANCO, F., POLONIA, A. 2022. *Acquisition of Geophysical Data in Shallow Water Environments Using Autonomous Vehicles: A Tool for Marine Geology, Archeology and Environmental Studies*, in ÇINER, A., *et al.* (EDS.), *Recent Research on Geomorphology, Sedimentology, Marine Geosciences and Geochemistry*. CAJG 2019. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72547-1_58.

GASPERINI, L., DEL BIANCO, F., STANGHELLINI, G., PRIORE, F. 2014. *Acquisition of geophysical data in shallow-water environments using autonomous vehicles: State of the art, perspectives and case histories*. GNGTS 2014, 1, 10–11.

GERAGA, M., CHRISTODOULOU, D., ELEFTHERAKIS, D., PAPATHEODOROU, G., FAKIRIS, E., DIMAS, X., GEORGIOU, N., KORDELLA, S., PREVENIOS, M., IATROU, M., *et al*., 2020. Atlas of Shipwrecks in Inner Ionian Sea (Greece): A Remote Sensing Approach. *Heritage*. 2020; 3(4):1210-1236. https://doi.org/10.3390/heritage3040067.

GREEN, J. N., 2004. *Maritime Archaeology: A Technical Handbook.* New York: Academic Press.

GROEN, W. J. M., MÁRQUEZ-GRANT N., JANAWAY, R. EDS., 2015. *Forensic Archaeology: A Global Perspective.* Chichester: Wiley-Blackwell.

GUARESCHI, E. E., TOBE, S. S., NICHOLLS, P. K., MAGNI, P. A., 2021. "Taphonomy and Diagenesis of Human Bone in Underwater Archaeology." *Journal of Maritime Archaeology* 16: 57–75. https://doi.org/10.1007/s11457-020-09286-6.

GUZZON, B. (a c. di), 2017. "Intarsi di bonifiche*"*, *Quaderni del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara* (n.6), Ferrara.

HAGLUND, W. D., SORG, M. H., 2002. "Human Remains in Water Environments." *Advances in Forensic Taphonomy*, edited by W. D. Haglund and M. H. Sorg, 201–218. Boca Raton: CRC Press.

HAMILTON, D. L. 1999. *Methods of Conserving Archaeological Material from Underwater Sites.* College Station, TX: Texas A&M University.

HCMR, 2020. HELLENIC CENTRE FOR MARINE RESEARCH -ROV TEAM, *ROV Types*, Anavyssos (GR).

HSE 2014. HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE (HSE). *Scientific and Archaeological Diving Projects: Diving at Work Regulations 1997 (Approved Code of Practice)*. HSE Books: Norwich, UK.

ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

HSMBC - HISTORIC SITES MONUMENTS BOARD OF CANADA, 2000. *Guidelines for Evaluating Shipwrecks of National Historic Significance.* Quebec.

IHO 2011. IHO - INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION, 2011. *Manual On Hydrography*, Monaco.

LICKLITER-MUNDON M. 2018. *Aviation Archaeology: History, Theory, Practice and Direction*, ProQuest Dissertations & Theses, 2018. 29263003, Texas A&M University.

MARTIN, V., 2020. "A First World War Example of Forensic Archaeology." *Forensic Science International* 314: 110394.

MAYS, S., 2008. "Human Remains in Marine Archaeology." *Environmental Archaeology* 13 (2), pp. 123–133.

MORSE, D., DUNCAN, J., STOUTAMIRE, J., EDS., 1983. *Handbook of Forensic Archaeology and Anthropology.* University Park: Pennsylvania State University.

OBLEDO, M. N., 2009. "Forensic Archaeology in Criminal and Civil Cases." *Forensic Magazine* 6 (4), pp. 31–34.

PABA, R., 2023. "Optimizing Underwater Visual Records for Crime Scene Investigations." *Forensic Science International: Synergy* 6: 100329.

PATITUCCI UGGERI, S. 2002. *Carta Archeologica Medievale del Territorio Ferrarese I -Forma Italiae Medii Aevi F_76, (Ferrara)*, Vol. II, Firenze.

PENSIERI, M. G., GARAU, M., BARONE, P. M., 2020. "Drones as an Integral Part of Remote Sensing Technologies to Help Missing People." *Drones* 4 (2): 15. https://doi.org/10.3390/drones4020015.

PIETRUSZKA, A. T. 2015. "Forensic Archaeology Underwater." *Forensic Archaeology: A Global Perspective*, edited by W. J. M. Groen, N. Márquez-Grant, R. Janaway, 453-461. Chichester: Wiley-Blackwell.

POWERS, N., SIBON, L., 2020. *Standard and Guidance for Forensic Archaeologists.* 2nd ed. Reading: CIfA.

QUINTANA-SAAVEDRA, D. M., TORRES-PARRA, R. R., GUZMÁN-MARTÍNEZ, R., ANFUSO, G., MUÑOZ-PÉREZ, J. J., VALLEJO, S., JIGENA-ANTELO, B., 2023. "A Methodological Proposal for the Management of Submerged Cultural Heritage." *Journal of Marine Science and Engineering* 11 (4): 694. https://doi.org/10.3390/jmse11040694.

RIBEREAU-GAYON, A., RANDO, C., MORGAN, R. M., 2018. "Human Remains in Marine Environments." *Multidisciplinary Approaches to Forensic Archaeology*, P. M. BARONE AND W. J. M. GROEN (EDS.), pp. 131–154. Cham: Springer.

RUFFELL, A., 2006. "Underwater Scene Investigation Using Ground Penetrating Radar (GPR)." *Science & Justice* 46, pp. 150–159.

RUFFELL, A., 2014. "Lacustrine Flow Used to Understand the Location of a Submerged Human Body." *Journal of Hydrology* 513: 164–168.

ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

RUFFELL, A., MCKINLEY, J. M., 2008. *Geoforensics.* Oxford: Wiley-Blackwell.

RUFFELL, A., MCKINLEY, J., 2005. "Forensic Geoscience." *Earth-Science Reviews* 69, pp. 235–247.

RUFFELL, A., PRINGLE, J. K., CASSELLA, J. P., MORGAN, R. M., FERGUSON, M., HEATON, V. G., HOPE, C., MCKINLEY, J. M., 2017. "The Use of Geoscience Methods for Aquatic Forensic Searches." *Earth-Science Reviews* 171, pp. 323–337.

SARTI G., CENTINEO M.C., CALABRESE L. 2009. *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000, Foglio 205, Comacchio*, Regione Emilia-Romagna - Progetto CARG, Firenze.

SCHOTSMANS, E. M. J., GEORGES-ZIMMERMANN, P. 2019. Forensic archaeology in Europe. In *(Re)lecture archéologique de la justice en Europe médiévale et moderne,* M. VIVAS (ED.), Pessac, Ausonius Éditions. https://doi.org/10.4000/books.ausonius.18426.

SCHULTZ, J. J., HEALY, C. A., PARKER, K., LOWERS, B., 2013. "Detecting Submerged Objects." *Forensic Science International* 231 (1–3), pp. 306–316.

SIGLER-EISENBERG, B., 1985. "Forensic Research: Expanding the Concept of Applied Archaeology". *American Antiquity*, 50 (3), 650–655. https://doi.org/10.1017/s0002731600086467.

SIMONINI, G., 2020. *Subacquea forense.* Scisciano (NA).

STANGHELLINI, G., DEL BIANCO, F., GASPERINI, L. 2020. *OpenSWAP, an Open Architecture, Low Cost Class of Autonomous Surface Vehicles for Geophysical Surveys in the ShallowWater Environment*. Remote Sens. 2020, 12, 2575.

STEWART, D. J., 1999. "Formation Processes Affecting Submerged Archaeological Sites." *Geoarchaeology* 14 (6), pp. 565–587.

UGGERI, G. 2006. *Carta archeologica del territorio ferrarese (F 77 III S.E.): Comacchio* in J. Anc. Topogr. Riv. di Topogr. Antica Suppl. 2006, III, pp. 145-161.

VEGGIANI, A. 1982. *Il Delta del Po e l'evoluzione della rete idrografica padana in epoca storica*, in *Il Delta del Po*, Atti della Tavola Rotonda, Bologna, 24 Novembre 1982, pp. 37-68.

VIOLANTE, C., ABATE, N., FERDANI, D., MASINI, N., GALLOCCHIO, E., PAGANO, A., PAGANO, F., 2025. "3D Acoustic Remote Sensing Mapping of Underwater Cultural Heritage." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XLVIII-2/W10: 303–308. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W10-2025-303-2025.

WARD, I. A. K., LARCOMBE, P., VETH, P., 1999. "A New Process-Based Model for Wreck Site Formation." *Journal of Archaeological Science* 26, pp. 561–570.

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

ABBREVIAZIONI

GC = I Nucleo Operatori Subacquei della Guardia Costiera di San Benedetto del Tronto

MiC = Ministero della Cultura

SABAP-BO = Soprintendenza Archeologia belle arti e paesaggio per le province di Modena, Reggio Emilia e Ferrara

SABAP-RA = Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Ravenna, Forlì-Cesena, Rimini

SN-SUB = Soprintendenza Nazionale per il patrimonio culturale subacqueo

Annali dell'Università di Ferrara
Museologia Scientifica e Naturalistica
ISBN 9788896463444
ISSN 1824-2707
Volume 21 (2025)
DOI: 10.15160/1824-2707/21/1

RINGRAZIAMENTI

Questo volume è il risultato di un articolato lavoro di ricerca e di indagine condotto grazie alla collaborazione sinergica di numerose istituzioni e professionalità, il cui contributo è stato determinante dal punto di vista scientifico, operativo e metodologico.

Un sentito ringraziamento ai Soprintendenti e ai Funzionari coinvolti, per il costante supporto scientifico, la competenza e la condivisione di approcci metodologici che hanno accompagnato tutte le fasi della ricerca, in particolare i Soprintendenti Francesca Romana Paolillo e Barbara Davidde (SN-SUB), Federica Gonzato (SABAP-RA), Francesca Tomba (SABAP-BO), il Soprintendente Delegato Angelo Michele Raguso (SN-SUB), i Funzionari Archeologi Sara Morsiani (SABAP-RA), Sara Campagnari e Carolina Ascari Raccagni (SABAP-BO), Francesco Carrera (SN-SUB).

Profonda riconoscenza è rivolta al Comando generale del Corpo delle Capitanerie di Porto, alla Capitaneria di Porto Guardia Costiera di Ravenna, all'Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico centro-settentrionale per il supporto fornito, logistico e organizzativo, e per la costante collaborazione dimostrata nel corso delle attività di ricerca e di indagine. In tale ambito, si desidera esprimere una menzione speciale al Comandante Massimo Mantarro e al Comandante Giuseppe Simeone insieme a tutto il I Nucleo Operatori Subacquei della Guardia Costiera di San Benedetto del Tronto (Sergio Demichele, Cataldo Carrieri, Marco Meli, Luigi Marinaro, Nicola Surano, Vito Cinieri, Danilo Delcarro), il cui apporto tecnico-operativo e l'elevata qualificazione professionale nelle operazioni di documentazione e recupero hanno rivestito un ruolo decisivo nelle indagini forensi subacquee svolte con elevato rigore procedurale e piena integrazione interdisciplinare.

Un ringraziamento speciale è infine rivolto agli Amici di *Project Recover USA* (Pat Scannon, Derek Abbey, Aldo Costigliolo e Daniel O'Brian), la cui profonda esperienza, generosa condivisione di conoscenze e continuo confronto scientifico hanno contribuito in modo significativo ad arricchire il mio sapere e a sviluppare e perfezionare le tecniche di indagine forense.

Grazie anche a Megan Lickliter-Mundon, PhD Lead Archaeologist (Underwater Team Defense POW/MIA Accounting Agency, Partnerships and Innovations, Henry M. Jackson Foundation) (CTR), ad Alba Mazza, Sr. Underwater Archaeologist (Partnerships and Innovations, Defense POW/MIA Accounting Agency, Henry M. Jackson Foundation (CTR), e a Benedetta Mammi, *Casualty Resolution Officer, Detachment Europe, Defense POW/MIA Accounting Agency* il cui supporto si è rivelato determinante per il riconoscimento dei velivoli tramite i data base statunitensi contribuendo al buon esito delle attività.

Un ringraziamento particolarmente caro è rivolto alle Colleghe del Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Prevenzione e del Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Ferrara Professoresse Ursula Thun Hohenstein, Barbara Bramanti, Carmela Vaccaro, Elena Marrocchino, per il costante sostegno scientifico e umano e per la vicinanza che ha accompagnato lo sviluppo e la realizzazione di quest'opera.

Direttore Responsabile: Prof.ssa Laura Ramaciotti, Rettrice dell'Università degli Studi di Ferrara Aut. Trib. Ferrara n. 36/21.5.53

Comitato di Redazione della Sezione Museologia Scientifica e Naturalistica:
Prof.ssa Ursula Thun Hohenstein, Dipartimento di Studi Umanistici
Prof. Renato Gerdol, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Prevenzione
Prof. Marco Peresani, Dipartimento di Studi Umanistici
Dott.ssa Elena Marrocchino, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Prevenzione

Gli Annali dell'Università di Ferrara, Sezione Museologia Scientifica e Naturalistica (http://annali.unife.it/museologia), vengono inviati in cambio di riviste scientifiche italiane e straniere; tali riviste sono cedute alla Biblioteca del Sistema Museale ed Archivistico d'Ateneo (S.M.A.) dell'Università di Ferrara.

Ogni comunicazione relativa alla stampa deve essere inviata a:
Redazione degli Annali, Sezione Museologia Scientifica e Naturalistica, c/o Biblioteca del Sistema Museale ed Archivistico d'Ateneo, C.so Ercole I d'Este 32, I-44121 Ferrara, Italia.


FERRARIAE UNIVERSITAS
13 91
UNIFE MASTER SCHOOL
UMS
UNIFE MASTER SCHOOL