

**Crescenzo Violante**

**Metodi geofisici per la fruizione e  
protezione delle risorse culturali  
sommerse**



Istituto per l'Ambiente Marino Costiero  
Consiglio Nazionale delle Ricerche

*C. Violante*

*Metodi geofisici per la fruizione e protezione delle risorse culturali sommerse*

*CNR - Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, Napoli; 2014*

*crescenzo.violante@cnr.it*

## **Cover**

*Immagine side scan sonar di un relitto a largo delle coste campane.*

© CNR – Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, Napoli

Calata Porta di Massa – Interno Porto di Napoli

Tel. +39 0815423847 - Fax +39 0815423888

[www.iamc.cnr.it](http://www.iamc.cnr.it)

December, 2014

# Metodi geofisici per la fruizione e protezione delle risorse culturali sommerse

**Crescenzo Violante**  
Istituto per l'Ambiente Marino Costiero  
Consiglio Nazionale delle Ricerche

## Riassunto

I paesaggi culturali sottomarini rappresentano un interessante argomento di studio la cui definizione, così come per i paesaggi emersi, richiede un approccio multidisciplinare che unisca fattori fisici e antropici (costruzione del paesaggio), elementi spaziali (descrizione del paesaggio) e filtri sociali e culturali (percezione del paesaggio). Tali aspetti risultano, inoltre, fortemente connessi ad appropriati strumenti di pianificazione e di caratterizzazione economica, culturale e ambientale.

Dal punto di vista socio-culturale la questione principale riguarda la percezione umana delle aree sottomarine la cui fruizione risulta circoscritta e limitata dalla scarsa visibilità. I concetti di panorama, o di prospettiva, punto di vista e belvedere non sono applicabili in ambiente marino. Inoltre solo poche persone hanno l'opportunità di osservare tali paesaggi *in situ*. Tuttavia i paesaggi sottomarini esistono e, in larga misura, sappiamo come rappresentarli.

La rappresentazione è sicuramente un aspetto fondamentale in quanto può fornire un accesso completo e complessivo al mondo subacqueo. Diverse procedure di catalogazione, mappatura e classificazione sono stati sviluppate negli ultimi decenni dalla comunità scientifica per rappresentare il paesaggio sottomarino. Gli schemi di classificazione degli habitat marini a scala locale e regionale attualmente usati si basano su dati geologici, fisici e idrografici disponibili combinati, ove possibile, con i dati ecologici e consentono la costruzione di mappe a valenza ecologica dei fondali marini. Mappe e classificazioni sono cruciali per lo sviluppo di strategie per la conservazione degli ecosistemi e dei paesaggi culturali marini, e per ragioni legate alle politiche gestionali e ambientali di tali sistemi.

Tra i metodi attualmente utilizzati per la caratterizzazione e mappatura dei fondali quelli basati su tecniche geofisiche forniscono importanti strumenti sia da un punto di vista ecologico che culturale. Essi forniscono informazioni sulla fisiografia, la composizione del substrato e sul posizionamento e lo stato degli ambienti bentonici. Allo stesso modo metodi e tecniche di geofisica marina sono molto efficaci per l'identificazione e lo studio di oggetti e relitti e di siti archeologici sommersi.

In questo rapporto tecnico viene evidenziato che le risorse culturali e naturali non vanno considerate in modo separato e che un approccio corretto alla conoscenza dei paesaggi culturali sommersi deve tener conto dei rapporti esistenti tra risorse biotiche e abiotiche anche sulla base dei caratteri geofisici dei fondali investigati.

*Parole chiave:* Paesaggio sottomarino; paesaggio culturale sommerso; geofisica marina; Baia di Napoli; habitat bentonici

## 1. Introduzione

Le risorse culturali subacquee possono essere suddivise in due parti: (1) siti di relitti, ovvero navi e aeromobili affondati, e qualsiasi materiale associato a tali navi, e (2) paesaggi e siti, prevalentemente strutture storiche e preistoriche ma anche più recenti (ad es. porti e banchine), inondati dall'innalzamento del livello del mare. Tuttavia, la storia e il patrimonio di un'area non sono solo rappresentati da manufatti tangibili lasciati indietro da un'era precedente, ma da come questi manufatti modellano il moderno paesaggio sottomarino di oggi. In questo senso, un paesaggio culturale sottomarino rappresenta il rapporto tra uomo e natura e il conseguente impatto che i due hanno avuto l'uno sull'altro. Ad esempio, incorporati nel fondo marino, i relitti possono avere un significativo valore ecologico, poiché spesso fungono da base per gli ecosistemi di barriera, fornendo riparo a numerosi organismi marini. Tali habitat forniscono nuove fonti alimentari, una maggiore protezione per i minori e più spazio per l'insediamento. Inoltre, le reliquie fisiche sottomarine non sono prive di collegamenti con ambienti terrestri in cui idee, punti di vista, valori umani e altre risorse culturali immateriali hanno una relazione reciproca con i manufatti tangibili. Parlano di importanti attività umane passate e presenti e delle loro connessioni con l'ambiente marino che mantengono la nostra identità culturale.

Un'altra importante correlazione tra risorse culturali e naturali nelle aree marine è sicuramente quella relativa all'attività di pesca. Le comunità costiere sviluppano spesso un notevole senso di "proprietà" dell'ambiente sottomarino come zone di pesca. L'ambiente sottomarino è quindi una porzione della superficie terrestre rilevata da un gruppo sociale per garantire le sue esigenze economiche. Lo sviluppo di nomi specifici per le aree sottomarine dimostra il forte legame culturale tra paesaggi sottomarini e pescatori che, senza mai vederli, conoscono bene i fondali marini e nominano i loro principali siti di pesca. Tra le nuove tecnologie che consentono la rappresentazione dei paesaggi marini sottomarini, le indagini geofisiche marine forniscono strumenti rapidi ed economici, ora ampiamente applicati alla ricognizione e alla gestione delle risorse culturali e naturali sottomarine. Le indagini geofisiche sono metodi di indagine non distruttivi che consentono di preservare i manufatti e i siti paesaggistici, nonché il contesto in cui si trovano. Ciò è di particolare rilevanza poiché il patrimonio archeologico marittimo è una risorsa non rinnovabile che viene persa per sempre se distrutta. Possono quindi essere utilizzati per il rilevamento, l'imaging, la ricerca, l'ispezione e il monitoraggio non distruttivi dei siti sommersi.

## 2. Rilievi geofisici e archeologia marittima

Una notevole quantità di siti culturali preistorici e storici è attualmente sommersa. I livelli del mare hanno oscillato nel corso del tempo geologico, invadendo o ritirandosi periodicamente attraverso le pianure costiere. Queste zone ora sommerse erano importanti per gli uomini preistorici in quanto consentivano l'accesso alle risorse marine e terrestri e alle rotte di trasporto e migrazione. Le curve del livello del mare da circa 200.000 anni ad oggi, indicano che per oltre il 90% del tempo, i livelli del mare erano circa 40-150 metri più bassi di quello attuale. Oltre che da variazioni assolute o relative del livello mare i siti archeologici sommersi possono anche derivare da una serie di altri processi naturali tra cui terremoti (come Port Royal in Giamaica), processi vulcanici (come l'isola di Santorini nel Mediterraneo) e evento di alluvione (come Herakleion e Canopus orientale in Egitto).

Dall'ultima era glaciale (18.000-19.000 anni a.C.) vaste regioni dell'attuale fondale marino erano esposte in ambiente sub-aereo. Dopo la fine di quest'ultimo periodo freddo, il livello del mare è salito di circa 120 m. In particolare, a partire da 18.000 anni a.C., gran parte del territorio europeo è stato sommerso dal mare trasformando il contesto geografico e ambientale dello sviluppo umano. L'innalzamento del livello del mare ha spostato rapidamente le popolazioni costiere verso terra fino a ca. 6.000 anni a.C., quando l'instaurarsi di una stabilità climatica (ottimo climatico dell'Olocene) fece sì che le società umane iniziassero a stabilirsi attorno alle coste attuali. Da allora la sommersione dei principali siti costieri è principalmente legata a processi locali e ai relativi cambiamenti del livello del mare.

I manufatti archeologici sono una risorsa non rinnovabile. È quindi importante conservare e/o registrare accuratamente tutti i ritrovamenti unitamente al contesto ambientale in cui si ritrovano. La conservazione in situ dovrebbe sempre essere considerata come una prima opzione e, ove possibile, dovrebbero essere utilizzati metodi di indagine non distruttivi. Pertanto, dal punto di vista della gestione archeologica marittima, gli strumenti geofisici marini rappresentano un grande potenziale in quanto economici e non distruttivi ed offrono restituzioni cartografiche e digitali ad alta risoluzione.

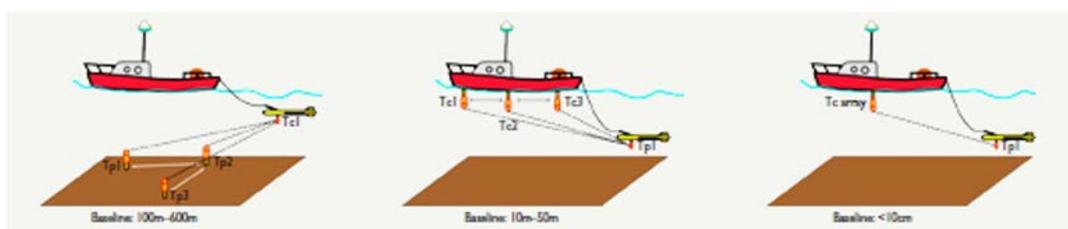


Figura 1. Sistemi di posizionamento e navigazione acustici.

### 3. Campagne di rilevamento

Prima di iniziare il lavoro sul campo, il responsabile del progetto deve assicurarsi che tutti i requisiti legali necessari per esaminare il sito siano autorizzati. Questi includono requisiti legali per il rilevamento di siti di relitti protetti e, se necessario, l'autorizzazione di accesso da parte dei proprietari terrieri / autorità locali (ad es. Accesso a un pontone o installazione di un'antenna RTK a terra). Controllare anche se ci sono siti protetti nelle vicinanze dell'area di rilevamento. La scelta delle tecniche e della strategia di rilevamento dipenderà principalmente dal tipo e dalle condizioni del sito archeologico e dallo scopo del rilevamento geofisico. In primo luogo, occorre fare una distinzione tra due tipi di siti archeologici trovati nell'ambiente sottomarino: siti di relitti (navi e aerei) e i loro materiali associati; e siti che prima erano a terra, ma ora sono inondata a causa dell'innalzamento del livello delle acque. Questo secondo tipo include paesaggi preistorici e strutture più recenti come porti o banchine. L'imaging e lo studio dei siti dei relitti richiede un approccio diverso rispetto a quello dei paesaggi sommersi.

In generale, lo scopo del rilevamento geofisico può essere suddiviso in due grandi tipi: 1. Indagini su vaste aree e ricognizioni, in cui vengono acquisiti dati per studiare il fondo marino e la geologia del sottosuolo, habitat bentonici e potenziale archeologico. Le tecniche e le strategie di rilevamento utilizzate saranno pertanto polyvalenti ma devono essere sufficienti a fornire una chiara indicazione del potenziale archeologico dell'area. Si tratta in genere di rilevamenti eseguiti nell'ambito di

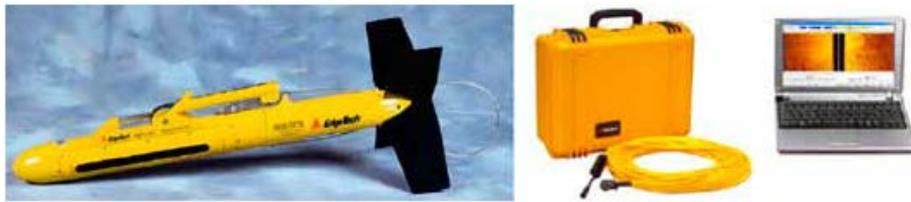


Figura 2. Sistema side scan sonar (Edgetech)

processi di autorizzazione o consenso a lavori a mare. 2 Indagini su piccole aree che sono spesso, ma non in modo univoco, parte di progetti guidati dalla ricerca e mirano a interpretazioni archeologiche più dettagliate e / o al progresso dell'uso delle tecniche geofisiche marine per l'archeologia.

#### 4. Strumentazione geofisica

Le tecniche geofisiche marine si basano su metodi acustici. Un rilievo geofisico su larga scala applicato alle risorse culturali sommerse viene condotto utilizzando una combinazione di cinque strumentazioni 1. ecoscandaglio a scansione laterale (Side Scan Sonar), 2. ecoscandaglio multifascio (multibeam) per la mappatura di dettaglio dei fondali, 3. magnetometro per rilevare bersagli di ferro e immersioni (in acque poco profonde), 4. Profilatore di sedimenti (Sub-bottom profiler), 5. ispezioni video / ROV (in acque profonde) per verifiche al fondo. Tali sistemi di rilevamento per essere utilizzati necessitano di un adeguato sistema di posizionamento e navigazione.

L'accuratezza della navigazione a livello DGPS è un requisito minimo per il rilevamento archeologico marittimo. L'accuratezza verticale del DGPS, tuttavia, può non essere sufficiente per l'elaborazione dei dati batimetrici ad elevatissima risoluzione. In alternativa, è possibile utilizzare i dati RTK GPS o PPK GPS per offrire una precisione orizzontale e verticale centimetrica. Tutti i dati di navigazione vengono registrati separatamente come file di testo (ASCII).

Quando l'attrezzatura di rilevamento viene utilizzata a una certa distanza dalla nave di ricognizione (ad es. attrezzatura trainata e ROV), per conoscere l'esatta posizione dello strumento possono essere usati sistemi di posizionamento acustico insieme alle informazioni GPS, DGPS o RTK. Esistono tre tecniche primarie di posizionamento acustico: posizionamento lungo baseline (LBL), corto baseline (SBL) e ultra-short baseline (USBL). La tecnica LBL consiste in tre o più transponder posti in posizione nota sul fondo mare (Fig 1a). La distanza tra due transponder (ovvero la linea di base) può variare da 100 m a oltre 6 km. Un ricevitore montato su una nave di superficie, un ROV o un rimorchiatore interroga la rete dei transponder usando un segnale acustico. La conoscenza delle posizioni GPS della rete acustica sul fondo del mare consente il calcolo della posizione assoluta. I sistemi LBL sono utilizzati per indagini su grandi aree. Il metodo SBL è usato solo raramente (Fig.1b).

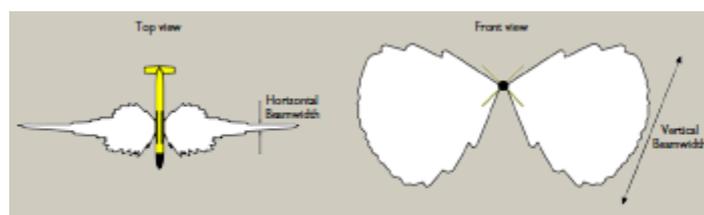


Figura 3. Configurazione tipica del lobo generato dall'impulso acustico in sezione orizzontale e verticale

Il sistema USBL è il più usato. È adatto per progetti di navigazione a corto raggio (Fig. 1c). Un singolo array di ricetrasmittitori è montato sulla nave da ricerca e sostituisce i molteplici ricetrasmittitori del sistema SBL. L'array del ricetrasmittitore emette un impulso acustico, a cui un transponder montato su un ROV o su un towfish rileva e risponde. Il sistema di coordinate è riferito alla nave, quindi è necessario conoscere la direzione, il beccheggio e il rollio della nave. Inoltre, il ricetrasmittitore USBL richiede un'attenta regolazione e calibrazione prima dell'uso.

Ecoscandaglio a scansione laterale (Side Scan Sonar). Il sonar a scansione laterale (Fig. 2) usa impulsi acustici per localizzare, mappare e investigare siti archeologicamente sensibili e paesaggi sommersi, nonché per rilevare e studiare relitti e materiali associati. È un dispositivo acustico che mira a produrre un'immagine bidimensionale del fondale marino con una qualità quasi fotografica. Il sistema consiste di un trasduttore subacqueo (tow-fish) connesso via cavo coassiale con una unità di potenza (deck unit) e una di registrazione digitale (computer/workstation) di bordo. Nel funzionamento di base l'unità di potenza, attraverso il cavo coassiale, carica i condensatori presenti nel tow-fish che, su comando del sistema di acquisizione digitale, scaricano l'energia immagazzinata attraverso i trasduttori sotto forma di impulso acustico. Il lobo di energia acustica generato (molto stretto in azimuth; Fig. 3) ha una geometria tale da insonificare un'ampia fascia di fondale la cui estensione può essere regolata manualmente (range di acquisizione). I trasduttori ricevono ed elaborano il segnale retrodiffuso (backscatter) prodotto dall'impatto degli impulsi acustici sul fondo, che viene successivamente amplificato attraverso un curva di guadagno (time-varied gain curve) e trasmesso all'unità di registrazione digitale. Normalmente il sonar a scansione laterale non produce dati batimetrici ma restituisce informazioni sulla tessitura dei sedimenti, la topografia e le forme di fondo con una risoluzione decimetrica. Inoltre il basso angolo di incidenza che caratterizza il fascio acustico lo rende particolarmente adatto al rilevamento di oggetti sul fondo come relitti o altri manufatti antropici (Fig. 4).

Ecoscandaglio multifascio (multibeam). I sistemi multibeam vengono utilizzati per raccogliere simultaneamente un elevato numero di misurazioni di profondità e sono composti da un'unità computerizzata, da trasduttori che inviano e ricevono impulsi acustici, un sistema di posizionamento, una

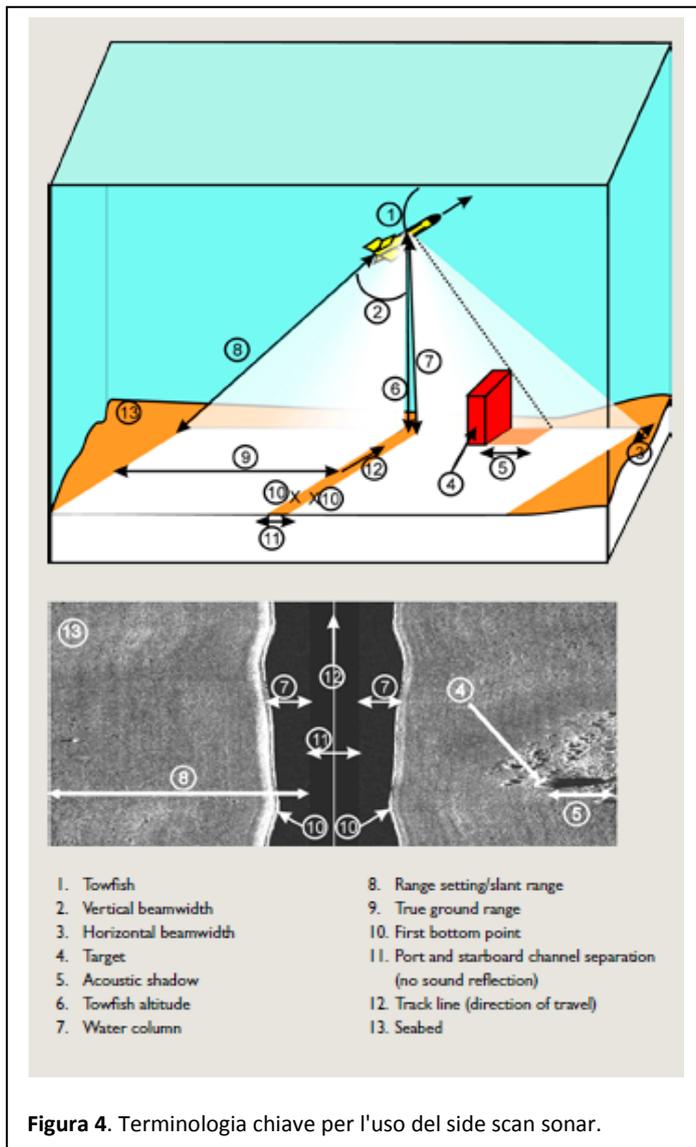
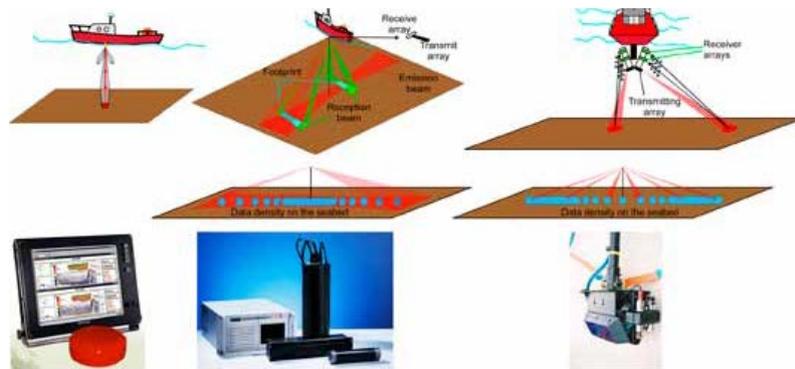


Figura 4. Terminologia chiave per l'uso del side scan sonar.



**Figura 5.** Tre tipi più comuni di sistemi batimetrici: ecoscandaglio a raggio singolo, sonar multifascio e sonar interferometrico.

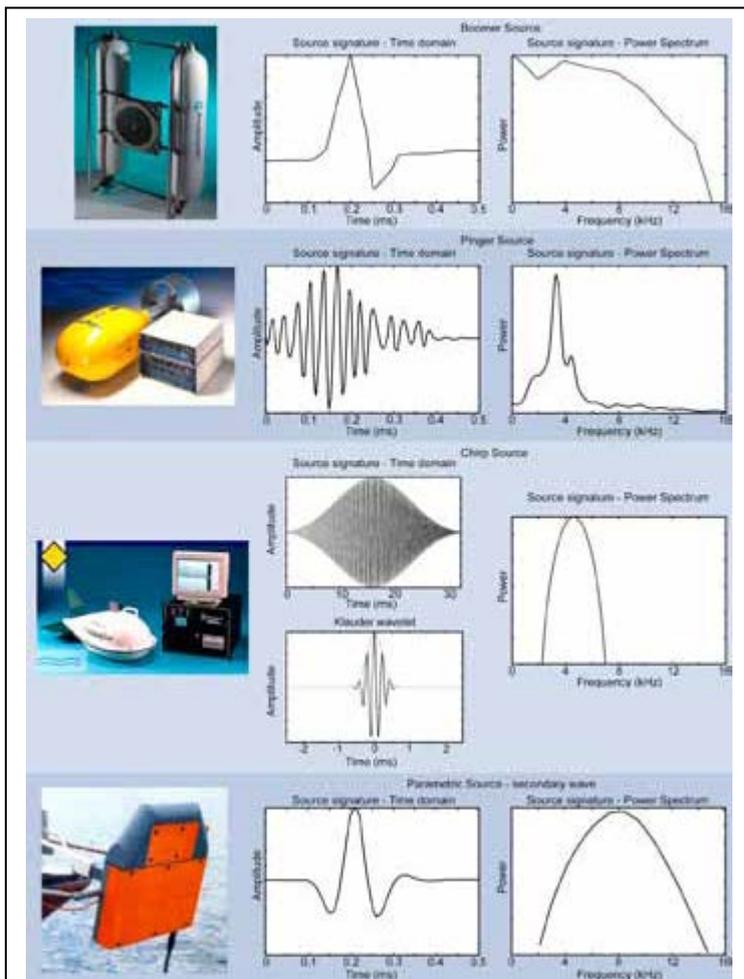
giro bussola e un sensore di movimento. I dati raccolti consistono in un “nuvola” sparsa di misure di profondità che devono essere riorganizzate spazialmente in una matrice regolare chiamata DEM (Digital Elevation Model). Rispetto ai sistemi SSS quelli MBES forniscono dati batimetrici quantitativi e possono essere utilizzati per creare mappe batimetriche ad alta risoluzione (rilievo digitale del fondo).

Il numero di fasci acustici trasmessi per unità di tempo (in genere pochi millisecondi) consente un’elevata densità di misurazioni di profondità che opportunamente elaborate attraverso tecniche digitali forniscono mappe topografiche tridimensionali e in rilievo ombreggiato, con elevato grado di dettaglio, oltre che una serie di tematismi informatici come la distribuzione delle pendenze e della rugosità del fondo. Inoltre dal segnale acustico di ritorno del fondo è possibile ricavare informazioni sulla riflettività acustica, che, come le mappe del backscatter prodotte da dati SSS, fornisce indicazioni sul tipo di substrato. La combinazione di dati batimetrici multifascio con quelli ottenuti con sistemi SSS consente di caratterizzare e mappare il fondale marino sia in termini geo-ecologici che archeologici.

**Magnetometro.** Questo strumento può essere utilizzato per rilevare oggetti metallici superficiali o sepolti a fondo mare. Non fornisce un’immagine dell’oggetto. Il suo uso principale è per il rilevamento di siti di relitti e materiali ferrosi associati. I magnetometri marini misurano l’ampiezza totale del campo magnetico terrestre, ma non forniscono alcuna informazione sulla direzione di tale campo. Contrariamente ai metodi acustici discussi sopra, i magnetometri non trasmettono alcun segnale, ma misurano piuttosto le variazioni geografiche nel campo geomagnetico.

Le variazioni all’interno del campo magnetico sono causate da una serie di fattori: l’attività solare può causare variazioni di c. 20 nT; caratteristiche geologiche da poche nT a diverse centinaia di nT; oggetti metallici ferromagnetici non geologici (ad es. cannoni) sopra o sepolti nel fondo marino di decine di nT; e scafi metallici fino a migliaia di tonnellate. L’intensità misurata dei manufatti metallici presenti a fondo mare o sepolti nei sedimenti dipende dal materiale, dalle dimensioni, dalla forma, dallo spessore dei sedimenti soprastanti e dalla distanza dal magnetometro. Poiché la forza del campo magnetico è inversamente proporzionale al cubo della distanza dalla sorgente, il magnetometro deve passare più vicino possibile all’oggetto e deve essere sufficientemente sensibile per rilevare oggetti più piccoli, archeologicamente significativi.

**Profilatore di sedimenti (Sub-bottom profiler).** I profilatori di sedimento sono sistemi sismico-acustici in grado di rilevare strutture sepolte all’interno dei sedimenti. I tre sistemi più comunemente utilizzati per il rilevamento ad alta risoluzione sono i sistemi boomer, pinger e chirp. Mentre il sistema boomer fornisce i migliori risultati per i sedimenti più grossolani, i sistemi pinger e chirp forniscono maggiori dettagli per i sedimenti più fini. Tale sistema è particolarmente utile nello studio di paesaggi sommersi. Sebbene questi



**Figura 5.** Signature e spettro di potenza delle sorgenti acustiche più comunemente utilizzate nelle indagini sismiche: boomer, pinger, chirp e parametrico .

sistemi siano stati utilizzati per decenni per rilievi marini, in generale sono usati raramente in archeologia. Tuttavia, il crescente interesse per i paesaggi sommersi ha portato un aumento del loro uso da parte degli archeologi. Inoltre è l'unica tecnica in grado di fornire informazioni sui siti sepolti in modo non distruttivo.

La tecnica del usata da questi sistemi è simile a quella utilizzata dagli ecoscandagli batimetrici, ma a frequenze più basse, in modo che le onde sonore penetrino nel fondale marino. Al passaggio tra strati di diversa impedenza acustica, parte dell'energia sismica si riflette e parte dell'energia viene trasmessa in profondità a strati più profondi. È il contrasto di impedenza tra gli strati che determina la quantità di energia che viene riflessa. Un ricetrasmittitore o un ricevitore acustico separato (cioè un idrofona) rileva l'energia riflessa restituendo un immagine del sottofondo in funzione dell'ampiezza delle onde riflesse.

I dispositivi su elencati facilitano la raccolta di una grande quantità di informazioni spaziali in un periodo di tempo limitato e consentono di determinare con precisione

le posizioni dei siti del patrimonio culturale marittimo fornendo strumenti utili per la caratterizzazione e la gestione dei beni culturali sottomarini. L'integrazione dei dati generati da queste tecniche, con dati di posizionamento accurati generati da sistemi di posizionamento globali o locali (come il GPS), consente l'applicazione di questi strumenti per mappare aree grandi o piccole a grande risoluzione e facilita l'uso dei risultati per monitorare cambiamenti graduali dei siti culturali subacquei attraverso ripetute indagini sulla stessa area. I risultati sono memorizzati in formato digitale e possono essere facilmente integrati con altri dati mediante l'uso di sistemi di informazione geografica (GIS). In questo modo, i dati ecoscandaglio multibeam e side scan combinati con ispezioni visive e campionamento possono fornire una panoramica continua della morfologia e della composizione dei fondali marini e delle caratteristiche culturali associate.

## Riferimenti bibliografici

- Bates, C R, Dean, M, Lawrence, M, Robertson, P and Atallah, L 2007 Innovative approaches to Rapid Archaeological Site Surveying and Evaluation. Final Report for English Heritage. Project Number 3837.
- Blacquiére, G and Van Woerden, K 1998 'Multibeam echosounding, beamforming vs interferometry'. Proc Oceanology Intern. <http://www.elacnautik.de/web/site/pdf/vertech/beamforming.pdf>
- Blondel, P and Murton, B J 1997 Handbook of Seafloor Sonar Imagery. Chichester: John Wiley and Sons
- Brown, C J, Hewer, A, Meadows, W J, Limpenny, D S, Cooper, K M and Rees, H L 2004 'Mapping seabed biotopes at Hastings Shingle Bank, Eastern English Channel. Part 1. Assessment using sidescan sonar'. J Mar Biol Assoc UK, 84, 481–88
- Budker, D and Romalis, M 2007 'Optical magnetometry'. Nature Physics 3, 227–34. <http://www.nature.com/nphys/journal/v3/n4/full/nphys556.html>
- Caiti, A, Bergem, O and Dybedal, J 1999 'Parametric sonars for seafloor characterization'. Meas Sci Technol 10, 1105–15
- Cochrane, G R and Lafferty, K D, 2002 'Use of acoustic classification of sidescan sonar data for mapping benthic habitat in the Northern Channel Islands, California'. Cont Shelf Res, 22(5), 683–90.
- de Moustier, C 1988 'State of the art in swath bathymetry survey systems', in Wolfe, G K and Wolfe, C P Y (eds) Current Practices and New Technology in Ocean Engineering (vol 13). New York: Amer Soc Mechanical Engineers, 29–38
- Dix, J K, Bastos, A, Plets, R M K, Bull, J M and Henstock, T J 2006 High resolution sonar for the archaeological investigation of marine aggregate deposits. English Heritage Aggregate Levy Sustainability Fund Project 3364 Final Report, 92 pp. [www.ads.adhs.ac.uk](http://www.ads.adhs.ac.uk)
- Edgerton, H E and Hayward, G G 1964 'The 'Boomer' sonar source for seismic profiling'. J Geophys Res 69, 3033–42
- Fish, J P and Carr, H A 1990 Sound Underwater Images: A Guide to the Generation and Interpretation of Sidescan Sonar Data. Orleans, MA: Lower Cape Publishing
- Flack, S and Rowland, C 2006 'Visualising the Invisible – Visualising Historic Shipwrecks'. Comput Graph Quart 40(3). <http://www.siggraph.org/publications/newsletter/volume-40-number-3/visualising-the-invisible-visualising-historic-shipwrecks-1/>
- Gostnell, C 2005 'Efficacy of an interferometric sonar for hydrographic surveying: do interferometers warrant an in-depth examination?' The Hydrographic J 118, 17–24. <http://www.hydrographicsociety.org/Articles/welcome.html>
- Hall, E T 1966 'The Use of the proton magnetometer in underwater archaeology'. Archaeometry 9, 32–44. <http://www.blackwell-synergy.com/doi/pdf/10.1111/j.1475-4754.1966.tb00904.x>
- Hamilton, L J 2001 Acoustic Seabed Classification Systems. Victoria, Australia: DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory
- Jones, E J W 1999 Marine Geophysics. New York: Wiley
- Jonkman, N F and de Jong, C D 2005 'RTK GPS – theory and practice for hydrographic surveying'. The Hydrographic J 117, 8–16
- Kearey, P, Brooks, M and Hill, I 2002 An Introduction to Geophysical Exploration. Oxford: Blackwell Science
- Kenny, A J, Todd, B J and Cooke, R 2001 'Procedural Guideline No 1–4 The application of sidescan sonar for seabed habitat mapping', in Davies, J, Baxter, J, Bradley, M, Connor, D, Khan, J, Murray, E, Sanderson,

W, Turnbull, C and Vincent, M (eds) Marine Monitoring Handbook, JNCC, 199–210.

<http://www.jncc.gov.uk/page-2430>

Longley, P A, Goodchild, M F, Maguire, D J and Rhind, D W 2005 Geographical Information Systems and Science (2 edn). Chichester and Hoboken, NJ: Wiley

Lowag, J and van den Heuvel, M 2002 'Advanced sub-bottom profiler equipment for soil investigation campaigns during dredging projects'. Port Technol Intern 17, 1–4.

<http://www.innomar.com/downloads/ArticlePTI17.pdf>

Lurton, X 2000 'Swath bathymetry using phase difference: theoretical analysis of acoustical measurement precision'. IEEE J Oceanic Engineering 25, 351–63.

<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/48/18562/00855385.pdf>

Lurton, X 2003 An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications. Berlin: Springer/Praxis

Mosher, D C and Simpkin, P G 1999 'Status and trends of marine high-resolution seismic reflection profiling: data acquisition'. Geosci Canada 26, 174–88

Niven, K 2009 Marine Survey: A Guide to Good Practice. Archaeology Data Service/Digital Antiquity Guides to Good Practice. [http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/RSMarine\\_Toc](http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/RSMarine_Toc)

Patterson, E 1991 'Sonar – the background'. Intern Underwater Systems Des 13(5), 13–20

Phaneuf, B A 1998 'Side scan sonar – a new tool for archaeology'. Ocean News Technol 4, 22–3

Plets, R M K, Dix, J K and Best, A I 2007 'Mapping of the buried Yarmouth Roads wreck, Isle of Wight, UK, using a Chirp sub-bottom profiler'. Intern J Nautical Archaeol 37, 360–73

Plets, R M K, Dix, J K, Adams, J R, Bull, J M, Henstock, T J, Gutowski, M and Best, A I 2009 'The use of a high-resolution 3D Chirp sub-bottom profiler for the reconstruction of the shallow water archaeological site of the Grace Dieu (1439), River Hamble, UK'. J Archaeol Sci 36, 408–18

Preston, J M, Christney, A C, Beran, L S and Collins, W T 2004 Statistical seabed segmentation – from images and echoes to objective clustering. Proceedings of the Seventh European Conference on Underwater Acoustics, 2004, Delft, The Netherlands, 813–18

Potter, J R 1999 'Challenges of seeing underwater – a vision for tomorrow'. Naval Platform Technologies Seminar, Singapore. <http://www.arl.nus.edu.sg/objects/NPTS1999.pdf>

46Quinn, R, Dean, M, Lawrence, M, Liscoe, S and Boland, D 2005 'Backscatter responses and resolution considerations in archaeological side-scan sonar surveys: a control experiment'. J Archaeol Sci 32, 1252–64

Rønhovde, A, Yang, L, Taxt, T and Holm, S 1999 'High-resolution beamforming for multibeam echo sounders using raw EM3000 data'. OCEANS '99 MTS/IEEE. Riding the Crest into the 21st Century, Seattle, WA, USA, vol 2, 923–30). <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/6465/17369/00804997.pdf>

Russell-Cargill, W G A 1982 Recent Developments in Side Scan Sonar Techniques. Cape Town: U Cape Town, Central Acoustics Laboratory

Schock, S G and LeBlanc, L R 1990 'Chirp sonar: new technology for sub-bottom profiling'. Sea Technology [, 35–43

Sheriff, R E and Geldart, L P 1995 Exploration Seismology (2 edn). Cambridge: Cambridge UP Somers, M L and Stubbs, A R 1984 'Sidescan sonar'. IEEE Proc, 131(3), 243–56

Stansell, T A 1986 'The global positioning system'. Intern Hydrographic Rev 63, 51–64 Talbot, A 2006 'Shallow survey 2005 common data-set comparisons'. Hydro Intern 10

Wessex Archaeology 2007 Wrecks on the Seabed/Multibeam Sonar [data-set]. York: Archaeology Data Service

Stampato in dicembre 2014 presso  
CNR Istituto per l'Ambiente Marino Costiero  
Calata Porta di Massa  
Napoli