

Caratteri morfo-sedimentologici per la classificazione dei fondali marini

Nicola Corradi (*), Maurizio Demarte (**), Roberta Ivaldi (**), Rosario Lapira (**)

(*). Dip. Te. Ris., Università degli Studi di Genova, C.so Europa 26, 16132 Genova

Tel. +39 0103538261, Fax +39 010352169, e-mail corradi@dipteris.unige.it

(**). Istituto Idrografico della Marina, Passo Osservatorio 4, 16100 Genova

Tel. +39 0102443318, Fax +39 0102443364, e-mail roberta.ivaldi@alice.it

Riassunto

Sono presentati i risultati di uno studio finalizzato alla classificazione morfo-sedimentologica dei fondali, eseguito lungo i settori costieri liguri di Loano e Portofino e quello toscano di Castiglione della Pescaia. L'impiego di ecoscandagli *multi-beam* ha permesso di registrare un numero notevole di informazioni, quali la copertura ad alta definizione del fondale e la registrazione del *backscatter* acustico. L'analisi del *backscatter*, associata a un'ideale e preventiva azione di calibrazione, ha fornito uno strato informativo della natura del fondale marino (es. caratteri fisiografici, sedimentologici, bentonici) che, aggiunto ad una cartografia ad alta definizione, ha permesso la realizzazione di data-set tematici quale elemento di estremo interesse per lo studio dell'ambiente marino, come aree fortemente antropizzate, aree marine protette o ambienti marino costieri particolarmente sensibili. L'uso di *software* dedicati ha fornito una prima classificazione del fondale attraverso l'analisi dell'amplitudine e delle proprietà statistiche del segnale di *backscatter*. Questo è stato integrato da un sistema di calibrazione diretto da cui il prodotto finale di classificazione del fondale marino.

Abstract

This study presents results of an approach for the seafloor classification and mapping based on an integrated analysis of multi-beam bathymetric data, associated geo scientific information, and benthos data from Loano and Portofino shelf (Liguria) and Castiglione della Pescaia shore (Tuscany). Based on sea floor sediment maps and analysis of backscatter, different classes were derived and mapped (morphological features, sediment grain size, habitats). The seabed nature is distinguished primarily on the basis of sediment type and water depth. Additional factors are the seafloor geomorphology, habitat complexity and relative current strength. This study highlights the utility of multi-beam bathymetric sonar for interpretation of the sea floor sediments and for extrapolating benthic habitat characteristics across large areas of sea floor.

Introduzione

La conoscenza dei siti sottomarini richiede non solo un accurato rilievo di forme e profondità dei fondali, ma sempre più spesso informazioni sulle proprietà fisiche dei sedimenti. La classificazione del fondale marino può essere eseguita visivamente, meccanicamente e acusticamente (Kostylev et al., 2001). Tutti i metodi visivi (subacqueo, video, foto) e meccanici (subacqueo, bennate, carotaggi, sondaggi), in quanto puntuali, sono lenti e manualmente intensivi, anche dispendiosi e non adatti ad un lavoro di rilievo esteso. I metodi acustici (*single-beam*, *multi-beam*, *side-scan sonar*), invece, possono coprire grandi aree rapidamente senza alcuna necessità di fermare il rilievo della nave. Tuttavia la classificazione che usa solo dati acustici, in assenza di verità a mare, è possibile solo in situazioni specifiche e non consuete grazie alla particolare elaborazione del segnale di *backscatter* (Brown et al., 2011; Lastras et al., 2011).

L'importanza del *backscatter* è di poter studiare le differenti risposte acustiche registrate su di un fondale da cui si può risalire ai suoi caratteri morfo-sedimentologici e composizionali (Canepa et al., 1997). Questo rappresenta un metodo più rapido della campionatura e restituisce informazioni omogenee della natura del fondo. La scelta dell'elaborazione del dato di *backscatter* del *multi-beam* rispetto a quello del *side-scan* è supportata dal maggior dettaglio e discriminazione nelle variazioni di facies registrate e da come l'influenza della morfologia sia minore e sia corretta successivamente in fase di elaborazione (Collier, Brown, 2005). La variabilità spaziale dell'intensità di *backscatter* può essere determinata come risultato dell'interazione tra le proprietà fisiche del fondale marino e l'energia acustica (Canepa et al., 1997). Il problema è a che grado di precisione è possibile classificare quelle variazioni (Ellingsen et al., 2002). La più semplice è assegnare variazioni di grigio a tipi discreti di sedimento, come affioramenti rocciosi, campi di blocchi, sabbia, fango, ecc. (Hughes Clarke et al., 1997). In teoria, infatti, differenti tipi di fondale marino restituiscono una caratteristica firma di risposta che rende percorribile l'implementazione di sistemi di classificazione del fondale (De Falco et al., 2010; Brown et al., 2011). In pratica questo è lontano dall'essere raggiunto dal coefficiente di riflessione, rugosità superficiale e volume di riverberazione perché sono individualmente complessi e l'effetto combinato è davvero difficile da gestire.

Il segnale di *backscatter* dipende pertanto da variabili come l'angolo di incidenza dell'onda acustica con il fondale, l'area insonificata, l'assorbimento nella colonna d'acqua e soprattutto dalle proprietà fisiche del fondale (rugosità, impedenza acustica e coefficiente di riflessione del sedimento). Le proprietà fisiche del fondale marino hanno una diretta influenza nei processi di attenuazione e dispersione del segnale acustico. Per questa ragione esistono diversi approcci di cui il più comune e semplice è quello che si riferisce all'analisi tessiturale (Hughes Clarke et al., 1997; Collier, Brown, 2005), ma che in realtà risulta limitato in un'analisi della natura del fondo dove altre proprietà giocano un ruolo importante nella sua classificazione (Canepa et al., 1997; De Falco et al., 2010; Brown et al., 2011).

Diversi gruppi di ricerca si occupano dello studio del segnale di *backscatter* con lo sviluppo di *software* per gestire e processare il segnale, applicando diverse correzioni: radiometrica, geometrica, segnale-rumore e una correzione dalla dipendenza dell'angolo di incidenza per generare una mappa di *backscatter* (es. il Cooperative Research Centre for Coastal Zone – Australia con un toolbox in ambiente Matlab, l'Ocean Mapping Group dell'Università canadese del New Brunswick con il SwathEd, la Quester Tangent Corporation con i moduli QTC Multiview e Swatview).

In alcuni casi gli studi si sono anche focalizzati sulla classificazione dei sedimenti attraverso l'utilizzo delle cosiddette curve di *angular response* (AR), ottenute plottando i valori di intensità di *backscatter* in funzione dell'angolo di incidenza oppure in altri casi l'attenzione si è rivolta all'uso di *software* come i moduli QTC che danno invece la possibilità di suddividere l'area del rilievo in classi, attraverso algoritmi statistici legati al tipo di strumento acustico impiegato ed alla zona oggetto di indagine.

In particolare applicando l'analisi dell'AR a diversi tipi di fondale è stata identificata una correlazione tra l'andamento di queste curve e i sedimenti redigendo otto classi (Hughes Clarke et al., 1997): fango limoso, sabbia media, sabbia ghiaiosa grossolana con ciottoli, sabbia grossolana, sabbia media, sabbia grossolana sovrapposta a ghiaia, sabbia media con ciottoli, sabbia medio-grossolana. Recentemente sono state individuate classi appartenenti alle facies acustiche di praterie di fanerogame, tipiche del Mediterraneo, come la *Posidonia oceanica* (De Falco et al., 2010).

Elemento di grande forza dell'elaborazione QTC è, invece, la fusione di tecniche di statistica multivariata che permettono l'uso di molte forme (Preston et al., 2004). L'esperienza ha mostrato che alcune forme sono importanti in classificazioni standard: fango, sabbia, ghiaia e così via. Altre sono importanti per classificazioni più specializzate come discriminare tra miscele di sabbia/fango (Preston et al., 2005) o la distinzione di habitats (Kostylev et al., 2001; Ellingsen et al., 2002).

E' noto che le caratteristiche statistiche di un'immagine acustica di *backscatter* dipendano dal tipo di fondale marino. Alcune differenze tessiturali sono chiare senza difficoltà. Differenze tra limo e argilla sono meno evidenti. L'elaborazione statistica può cogliere molti dei dettagli pertinenti di

interazione tra il suono e il fondale e del suo rilievo verticale. La statistica multivariata può quindi isolare quei dettagli che sono ricchi di informazione del fondale (geometria, consistenza, struttura), producendo elementi contenenti informazioni necessarie per classificazioni del fondale accurate e attendibili.

In questo lavoro è presentata la classificazione del fondale marino ottenuta da dati batimetrici areali, acquisiti nei settori marino-costieri liguri di Loano - Ceriale, Portofino e quello toscano di Castiglione della Pescaia, e dall'elaborazione dei dati di *backscatter* integrati con quelli di tipo diretto. In particolare nel caso di Loano - Ceriale è fornita un'analisi di dettaglio dell'intercalibrazione del segnale acustico con i dati acquisiti per il progetto BEACHMED-E INTERREG IIIC per lo studio pilota per la ricerca di depositi di sedimenti marini idonei all'impiego di ripascimento dei litorali (Balduzzi *et al.*, 2009), nel caso di Portofino si fa riferimento ad una piattaforma limitata da costa alta rocciosa tipo *plunging cliff* (Sunamura, 1983), dove un assetto generalmente uniforme può presentare particolarità di interesse nella classificazione del fondale marino; infine per Castiglione della Pescaia si è sviluppato il sistema di classificazione di un sito litorale costiero a costa bassa in supporto al progetto M-REA (Maritime-REA), per la caratterizzazione rapida di un tratto di mare interessato da eventi calamitosi (Demarte *et al.*, 2008).

Metodi

Per la realizzazione della classificazione della natura del fondale sono stati elaborati dati batimetrici areali impiegando sistemi acustici *multi-beam* e moduli QTC (*software* Multiview), calibrati da verità a mare (15 campionamenti diretti del fondale eseguiti con benna Van Veen e 3 con carotiere a gravità SW 104). Nella fase di realizzazione del mosaico di *backscatter* e della superficie batimetrica del fondale marino è stato utilizzato il *software* Caris HIPS/SIPS. I dati acustici sono stati acquisiti usando un sistema MBES EM3000 (Kongsberg Simrad) ad alta frequenza (30 kHz) secondo linee parallele alla costa e copertura completa dell'area, con sovrapposizione superiore al 30%.

Per ogni set di dati grezzi si è proceduto all'analisi dei principali elementi con la selezione dei caratteri più utili. Il *software* trascura tipi che sono costanti, mentre sono accettate le ridondanze, ma solo se rilevanti. E' fornito così un insieme di elementi che, in modo compatto, descrive la diversità della serie di dati. Alcuni elementi possono avere piccole diversità o essere strettamente correlati se usati a descrivere una serie di sedimenti di fondale marino come sabbia e ghiaia di piattaforma continentale aperta; in realtà il loro significato è più complesso se riferito a sedimenti deltizi. Pertanto la connessione tra elementi e classificazione si adatta al carattere della serie di dati. L'elaborazione statistica multivariata della risposta acustica riesce pertanto a isolare le diverse combinazioni (in generale 3 e chiamati spazio Q) degli elementi responsabili delle variazioni con la creazione di un catalogo. Si classifica quindi il fondo secondo un insieme di *cluster* che si adatta ai dati *multi-beam*, dove ciascun *cluster* rappresenta un tipo di fondo a cui sono associate diverse informazioni (posizione, batimetria, intensità di *backscatter*) (Preston *et al.*, 2004).

E' importante ricordare che ciascun catalogo è specifico per il sistema sonar usato nell'acquisizione dei dati e può anche essere specificato per particolari condizioni operative del sonar. I cataloghi a loro volta si possono basare su una serie di immagini sonar campione o campionamenti di tutta la serie di dati. A questo segue l'elaborazione della natura del fondo dopo la fase di validazione e controllo di qualità secondo gli standard internazionali con la rimozione dei punti non accettabili (IHO, 2000; 2008). Il prodotto finale è un file ASCII che include posizione, profondità, valore Q, classe assegnata, valore di confidenza e probabilità di ciascuna registrazione e che può essere importato in *software* cartografici per la produzione di plot, modelli 3D e come *layer* di sistemi GIS.

Risultati

I risultati ottenuti sono il prodotto di elaborazione di sei serie di dati batimetrici areali in riferimento alle campagne di acquisizione delle navi idrografiche della Marina Militare (Aretusa, Galatea e

Magnaghi): una per Loano - Ceriale e Portofino e tre per Castiglione della Pescaia, secondo procedure separate in sezioni rettangolari diverse. La qualità dei dati di questi rilievi è caratterizzata da un'ottima densità areale con scarsa presenza di anomalie e un grado di accuratezza di acquisizione coerente con le specifiche richieste dall'ordine 1A (IHO, 2008).

In particolare i dati rappresentati in figura 1 sono il prodotto di elaborazione di una delle serie di dati acquisiti nel settore costiero di Castiglione della Pescaia. In prima analisi, trattandosi di spiaggia e piattaforma continentale interna, sono stati puliti dalle profondità superiori a 100 m, escludendo angoli di incidenza 80-90° e 0-30°. Il fondale marino è stato suddiviso dal *software* QTC Multiview in piccoli rettangoli disposti secondo qualità del dato, insonificazione, angolo di incidenza e in base alle classi scelte, rappresentative dei diversi substrati presenti. La grandezza del rettangolo ri (Fig. 1 a destra) è pari a 65 *pixel* trasversalmente alla rotta e 33 *pixel* lungo la rotta. Questo presenta nel caso specifico un *footprint* pari a circa 3.5 - 7.8 m. La classificazione acustica (Fig. 1) è stata applicata, per questa serie di dati di Castiglione della Pescaia, approssimativamente a 30000 punti secondo cinque classi acustiche distinte che riportano una certa coerenza nella mosaicatura del *backscatter*, elemento di controllo.

Questa procedura è stata seguita per tutte le serie di dati presentate e riferite alle tre aree studio con l'applicazione ad un totale di circa 135.000 punti, per un *footprint* approssimativo da 1-3 m per le aree a bassa profondità (0-5 m) fino a 21.5 - 23.2 m nel caso di aree di piattaforma (es. Portofino).

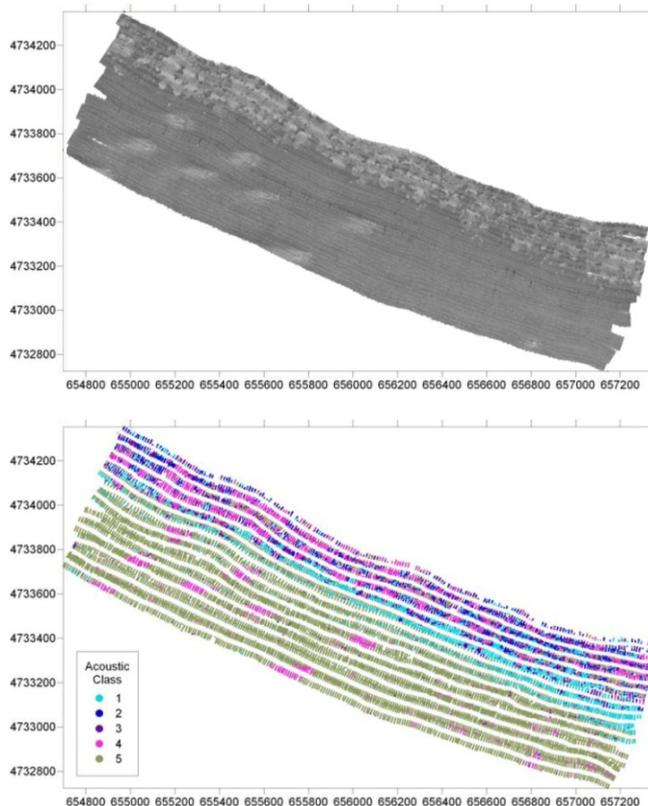


Figura 1 – Mosaicatura del *backscatter* (in alto). Classificazione acustica del fondale marino (in basso). Classe acustica 1: materiale riflettente con alti valori di *backscatter*; classe acustica 5: materiale poco riflettente con bassi valori di *backscatter*.

I colori usati per tutti i risultati della classificazione acustica sono definiti colori comuni per cui fondali acusticamente simili (segnale di *backscatter*) sono definiti da colori simili. Figure 1 e 2 presentano classi distinte acusticamente.

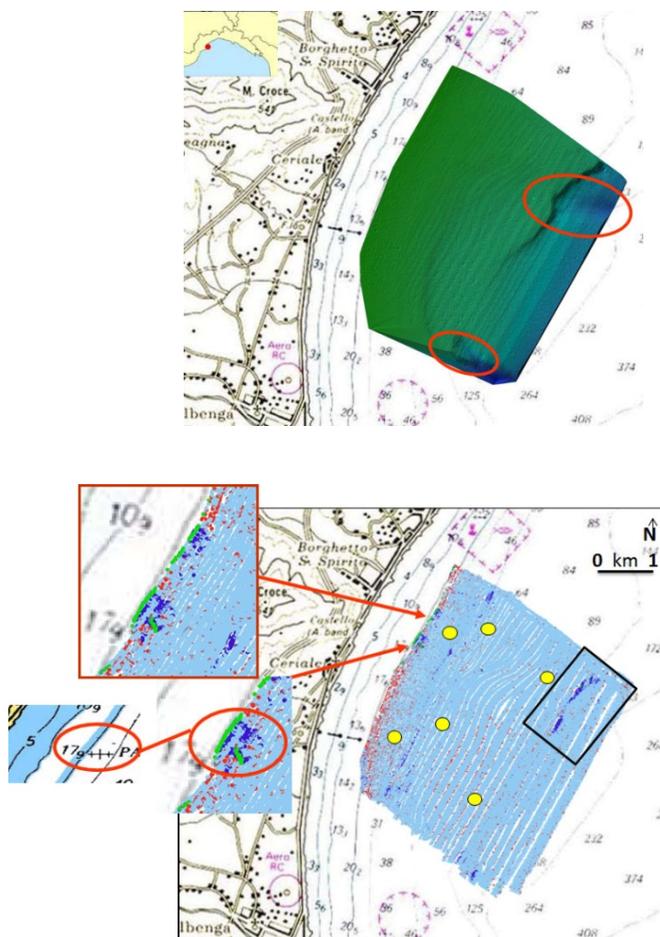


Figura 2 – Settore costiero Loano - Ceriale. Modello 3D batimetrico (in alto) con variazione di pendenza in corrispondenza dell'ovale rosso. Classificazione acustica del fondale (in basso): in verde: basso backscatter; in rosso: alto backscatter. Variazione classi acustiche per morfologia, tipo di sedimento (rettangolo nero) e benthos (rettangolo rosso). Cerchio giallo: siti campionamento diretto di sedimento. Ovale con freccia rossa: relitto.

La fase successiva è stata quella di riportare un tipo di fondale marino assoluto e questo è stato possibile solo con una calibrazione diretta e una caratterizzazione delle proprietà fisiche (Tab. 1). La classificazione è stata quindi integrata con informazioni del fondale che andassero a caratterizzare elementi morfologici (es. barre, canali, depositi rocciosi), benthonici (es. praterie di fanerogame), antropici (relitti) e sedimentologici (es. tessitura, consistenza) con l'acquisizione sia di dati presenti in letteratura e nella banca dati dell'Istituto Idrografico della Marina sia di dati nuovi con campionamento diretto del fondale (Figg. 2 e 3).

Tabella 1 – Caratterizzazione natura del fondo (IHO, 2000; 2008) dei campioni di sedimento superficiale riportati in figura 2. *hM*: fango duro, *soM*: fango molle, *fS*: sabbia fine, *Sh*: conchiglie.

| Campione | Latitudine (N) | Longitudine (E) | Natura del fondo | | |
|----------|----------------|-----------------|--------------------|------------|--------|
| | | | IHO S - 44 | IHO S - 57 | |
| | | | | NATSUR | NATQUA |
| 1 | 44° 06' 17.4" | 008° 15' 23.2" | <i>hM</i> | 1 | 7 |
| 2 | 44° 05' 27.6" | 008° 14' 28.2" | <i>hM</i> | 1 | 7 |
| 3 | 44° 06' 30.0" | 008° 15' 42.0" | <i>soM, fS, Sh</i> | 1,4,17 | 6,1 |
| 4 | 44° 05' 31.2" | 008° 15' 4.08" | <i>hM, Sh</i> | 1,4,17 | 7,1 |
| 5 | 44° 05' 41.7" | 008° 16' 37.6" | <i>soM</i> | 1 | 6 |
| 6 | 44° 04' 42.7" | 008° 15' 51.5" | <i>soM</i> | 1 | 6 |

In particolare i rilievi eseguiti nell'estate 2008 nel settore marino antistante all'abitato di Loano - Ceriale hanno fornito l'assetto morfologico con un elevato dettaglio ed evidenziato dall'elaborazione batimetrica 3D. Sono discriminabili, a una regolare morfologia del fondale marino, strutture a barre a sviluppo longitudinale rispetto a costa entro i 15 m di profondità con altezza e ampiezza di poche decine di centimetri, una piattaforma continentale che dalla profondità di 60 m presenta un cambiamento di pendenza, indicativo questo di una subsidenza più elevata della piattaforma esterna, più evidente nel settore di SW. In corrispondenza del ciglio della piattaforma il gradiente del fondale marino cambia bruscamente con la presenza a NE dell'area di numerose piccole incisioni che si possono riferire a piccoli canali che a più elevate profondità convergono in un canyon. L'elaborazione tridimensionale dei dati batimetrici ha confermato la localizzazione di depositi litorali trasgressivi, secondo strutture allungate in rilievo che vanno ad alterare l'omogeneità morfologica della piattaforma continentale.

La successiva elaborazione del mosaico di *backscatter* con il *software* QTC Multiview ha prodotto una classificazione acustica del fondale (Figg. 2 e 3) che evidenzia non solo le differenti proprietà fisiche dei sedimenti (Tab. 1) seppur caratterizzato prevalentemente da materiali che, nel caso di Loano - Ceriale, tendono ad assorbire il segnale acustico, ma anche la presenza di particolari strutture che alterano una generale omogeneità della natura del fondale marino quali elementi naturali e antropici (barre, praterie di fanerogame, canali, relitti).

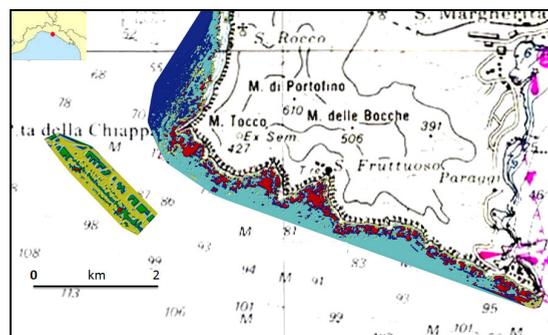


Figura 3 – Natura del fondale marino del settore costiero di Portofino da classificazione acustica e calibrazione dati diretti. In verde: fango molle (verde chiaro), fango duro (verde scuro); in azzurro: fango e sabbia fine con ghiaia; in blu: sabbia con ghiaia; in rosso: substrato duro (roccia a blocchi area litorale, relitto area piattaforma).

I risultati della classificazione acustica sono stati molto soddisfacenti e la suddivisione in classi è stata per tutte le regioni analizzate coerenti con i mosaici di *backscatter*.

La realizzazione della mappatura della natura del fondale marino è quindi il prodotto finale di questa elaborazione integrata con verità in situ ed è presentata sul modello batimetrico dell'area di indagine (Fig. 4). Questa carta, attualmente in fase sperimentale, risulta di facile consultazione con un limitato numero di informazioni (massimo 12 classi) che sintetizzano gli standard internazionali (IHO, 2000; 2008), fornendo un esaustivo quadro conoscitivo di elementi morfo-sedimentologici del settore di interesse, contribuendo ai data-set tematici quale elemento di estremo interesse per lo studio dell'ambiente marino di aree di particolare sensibilità ambientale (settori costieri ad elevata dinamicità, aree fortemente antropizzate, aree marine protette).

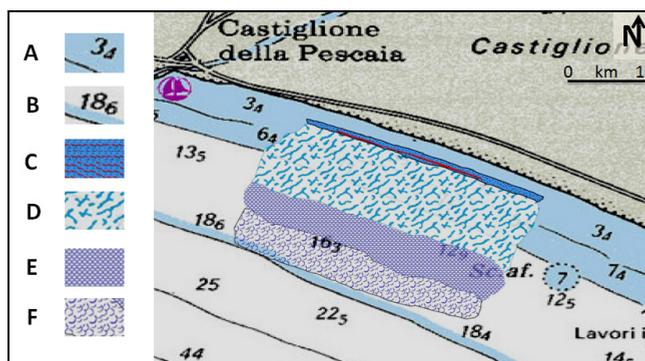


Figura 4 – Esempio di classificazione della natura del fondale marino del settore costiero di Castiglione della Pescaia. A: settore entro 10 m di profondità; B: profondità 20 m; C: sabbia medio-fine con barre; D: sabbia fine; E: sabbia fine fangosa con barre; F: fango molle sabbioso.

Considerazioni conclusive

Anche se l'informazione negli eco e nel *backscatter* del fondale non è abbastanza specifica per fornire con sicurezza quale sia la natura del sedimento, il sistema integrato di analisi di dati batimetrici applicato in tre settori marini litorali italiani si è mostrato un utile strumento conoscitivo circa la natura del fondale. Elemento di forza della classificazione acustica effettuata con il sonar batimetrico multifascio è la capacità di integrare classificazioni visive o meccaniche di dati puntuali, su aree più estese. Le proprietà dei sedimenti ottenute da punti di campionamento possono essere applicate con sicurezza su intere regioni che siano state cartografate acusticamente. Questa particolare elaborazione dei dati acustici ha permesso una classificazione e mappatura della natura del fondo a copertura totale, con un elevato livello di confidenza. I risultati ottenuti, opportunamente validati, hanno confermato l'affidabilità del *software* QTC Multiview, fornendo una preziosa banca dati della natura del fondale secondo standard internazionali, a supporto di scopi con specificità più varie quali la geomorfologia, la complessità dell'habitat e la relativa energia di corrente.

Bibliografia

- Balduzzi I., Corradi N., Ferrari M., Ivaldi R. (2009), "Transgressive submarine deposits for beach nourishment (Ligurian Sea, NW Mediterranean)", *Proceedings of 27th IAS Meeting of Sedimentologists*, 49-54.
- Brown C.J., Smith S.J., Lawton P., Anderson J.T. (2011), "Benthic habitat mapping: a review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92: 502-520.
- Canepa A., Corradi N., Ivaldi R., Serracca P. (1997), "Verifica di un metodo di correlazione fra parametri acustici e geotecnici nei sedimenti superficiali del settore occidentale del Golfo di Taranto", *Atti XII Congresso AIOL*, I: 39-49.

- Collier J.S., Brown C.J. (2005), "Correlation of sidescan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments", *Marine Geology*, 214: 431-449.
- De Falco G., Tonielli R., Di Martino G., Innangi S., Simeone S., Parnum I.M. (2010), "Relationship between multibeam backscatter, sediment grain size and *Posidonia oceanica* seagrass distribution", *Continental Shelf Research*, 30: 1941-1950.
- Demarte M., Di Vasta P., Ivaldi R., Milli M., Surace L. (2008), "Acquisizione di parametri morfodinamici di una spiaggia", *Atti 12ª Conferenza Nazionale ASITA*, 1125-1130.
- Ellingsen K. E., Gray J.S., Bjornbom E. (2002), "Acoustic classification of seabed habitats using the QTC View system", *ICES J. of Marine Science*, 59: 825-835.
- Hughes Clarke J.E., Danforth W., Valentine P. (1997), "Areal seabed classification using backscatter angular response at 95 kHz", *SACLANTCEN Conference on High Frequency Acoustics in Shallow Water, Conf. Proc. Ser.*, 45: 243-250.
- IHO - International Hydrographic Organization (2000), *IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic data*, S - 57, International Hydrographic Bureau, 3.1: 114 pp.
- IHO - International Hydrographic Organization (2008), *IHO Standards for Hydrographic Surveys*, S - 44, International Hydrographic Bureau, 5th Ed., 28 pp.
- Kostylev V.E., Todd B.J., Fader G.B.J., Courtney R.C., Cameron G.D.M., Pickrill R.A. (2001), "Benthic habitat mapping on Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs", *Marine Ecology Progress Series*, 219: 121-137.
- Lastras G., Canals M., Amblas D., Lavoie C., Church I., De Mol B., Duran R., Calafat A.M., Hughes-Clarke J.E., Smith C.J., Heussner S. and "Euroleón" cruise shipboard party (2011), "Understanding sediment dynamics of two large submarine valleys from seafloor data: Blanes and La Fonera canyons, northwestern Mediterranean Sea", *Marine Geology*, 280: 20-39.
- Preston J.M., Christney A.C., Beran L.S., Collins W.T. (2004), "Statistical seabed segmentation – from images and echoes to objective clustering", *Proc. 7th European Conf. on Underwater Acoustic*, 813-818.
- Preston J.M., Christney A.C., Collins W.T. (2005), "Automated acoustic seabed classification for swath images", ifremer/dtmsi/colloques/search04/xlurton/B2_sonar_dataprocessing_1/Preston.pdf, 1-7.
- Sunamura T. (1983), "Processes of sea cliff and platform erosion", in: *CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion*, a cura di P.D. Komar, 233-265.