

Soluzioni tecnologiche innovative per la prospezione geofisica in ambiente lagunare

Luca Gasperini, Luca Masini e Gabriele Matteucci
Istituto di Geologia Marina CNR, Bologna

Nell'ambito del progetto "Risanamento degli ambienti vallivi Fattibello-Spavola" sono stati eseguiti rilievi morfobatimetrici e sismici che hanno consentito di compilare una mappa batimetrica di dettaglio delle due valli e di ottenere alcune sezioni sismiche (immagini acustiche) della copertura sedimentaria più superficiale di valle Fattibello (Gasperini *et al.*, stesso volume). L'acquisizione di questi dati, in un ambiente caratterizzato da profondità estremamente ridotte, ha richiesto lo studio di soluzioni tecnologiche originali, ovvero la realizzazione di strumenti di prospezione e la messa a punto di tecniche di indagine dedicate a questo tipo di ambiente.

METODI E RISULTATI

Morfobatimetria.

La realizzazione di una mappa batimetrica di dettaglio di valle Fattibello ha presentato, fin dalle prime fasi numerosi problemi, con i quali nessuno di noi aveva mai avuto l'opportunità di confrontarsi:

- la profondità media aspettata era nell'ordine del metro, e non doveva superare i tre metri nei canali sublagunari;
- l'escursione causata dalla marea poteva essere dello stesso ordine di grandezza della profondità media;

- la valle si presentava navigabile solo utilizzando imbarcazioni molto piccole e per periodi di tempo limitati nell'arco della giornata.

Il primo problema si è rivelato il più difficile da risolvere, perché gli ecoscandagli convenzionali non sono progettati per scendere al di sotto del metro di profondità; questo limite in genere è largamente sufficiente, ma nel nostro caso avrebbe escluso gran parte della valle. Tutto ciò deriva dal principio di funzionamento e dal modo con il quale sono costruiti gli ecoscandagli. La determinazione della profondità in questi strumenti è basata su una misura del tempo di propagazione di un segnale acustico all'interno della colonna d'acqua. Il segnale, generato da un trasduttore piezoelettrico, si propaga nell'acqua, è riflesso dal fondo, e ritorna allo strumento di misura dove viene rilevato da un trasduttore ricevente. Essendo a conoscenza della velocità di propagazione del segnale nel mezzo, che è possibile stimare con una certa accuratezza, si può risalire alla profondità con un semplice prodotto velocità x tempo. Una volta impostato il valore di velocità questa operazione è svolta automaticamente all'interno dello strumento, che restituisce in uscita il dato corretto di profondità. A causa del fatto che occorre un certo tempo, piccolo,

Andrea Samaritano

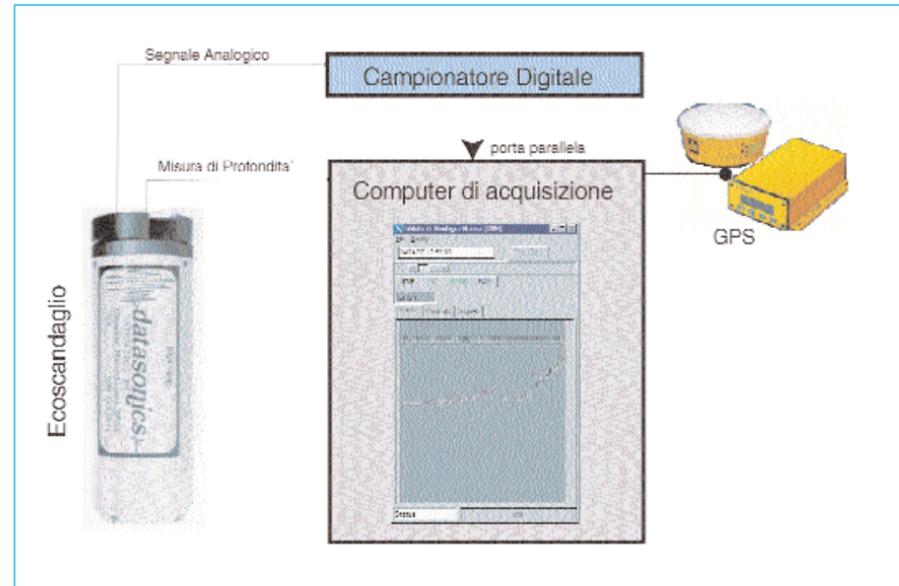


ma non infinitesimo per generare l'impulso sorgente, ovvero il segnale che immettiamo nel mezzo per determinare la profondità, la lunghezza di questo impulso costituirà il limite inferiore di misura. Se immaginiamo ad esempio di generare un impulso della durata di 1 msec., considerando una velocità di propagazione di 1.500 m/s (valore tipico nell'acqua), il nostro limite inferiore risulterà 1,5 m. Per avere una gamma accettabile di misura senza complicare troppo l'architettura di questi dispositivi, i costruttori tendono a mantenere l'impulso sorgente il più lungo possibile, poiché a una maggiore lunghezza dell'impulso corrisponde una maggiore energia immessa nel mezzo e quindi la possibilità di misurare profondità maggiori.

Un altro problema era legato alla combinazione tra bassa profondità e relativa "sofficietà" dei sedimenti che ci aspettavamo di trovare in valle, e consisteva nella possibile penetrazione all'interno del substrato di una parte dell'energia acustica generata dall'ecoscandaglio. Tale effetto poteva teoricamente tradursi in errori consistenti nella misura di profondità in quanto lo strumento avrebbe rilevato, al posto del fondo, un orizzonte più profondo, eventualmente caratterizzato da maggiore consolidamento, ovvero, in altri termini, una maggiore discontinuità di impedenza acustica (vedi oltre). Questo effetto che normalmente ha un'incidenza trascurabile, in una colonna d'acqua così ridotta avrebbe finito per non esserlo affatto.

Una volta stabilito che un normale sistema di acquisizione batimetrica non era adatto, abbiamo per prima cosa ricercato sul mercato uno strumento che presentasse un impulso sorgente molto stretto. I risultati di questa ricerca hanno portato alla scelta del modello PSA-900 della DATASONICS che oltre ad utilizzare una lunghezza molto ridotta di impulso sorgente e una frequenza elevata del segnale (fatto che di per

Figura 1: Schema del sistema di acquisizione dei dati batimetrici utilizzato nel rilievo del comprensorio lagunare Fattibello-Spavola.



sè limita la penetrazione in profondità del segnale), è dotato di un solo trasduttore che funziona alternativamente da generatore e rilevatore del segnale. Abbiamo inoltre chiesto alla casa costruttrice, tramite la società italiana di distribuzione (la Communication Technology di Cesena), di modificare l'ecoscandaglio in modo tale da prelevare direttamente il segnale dal trasduttore.

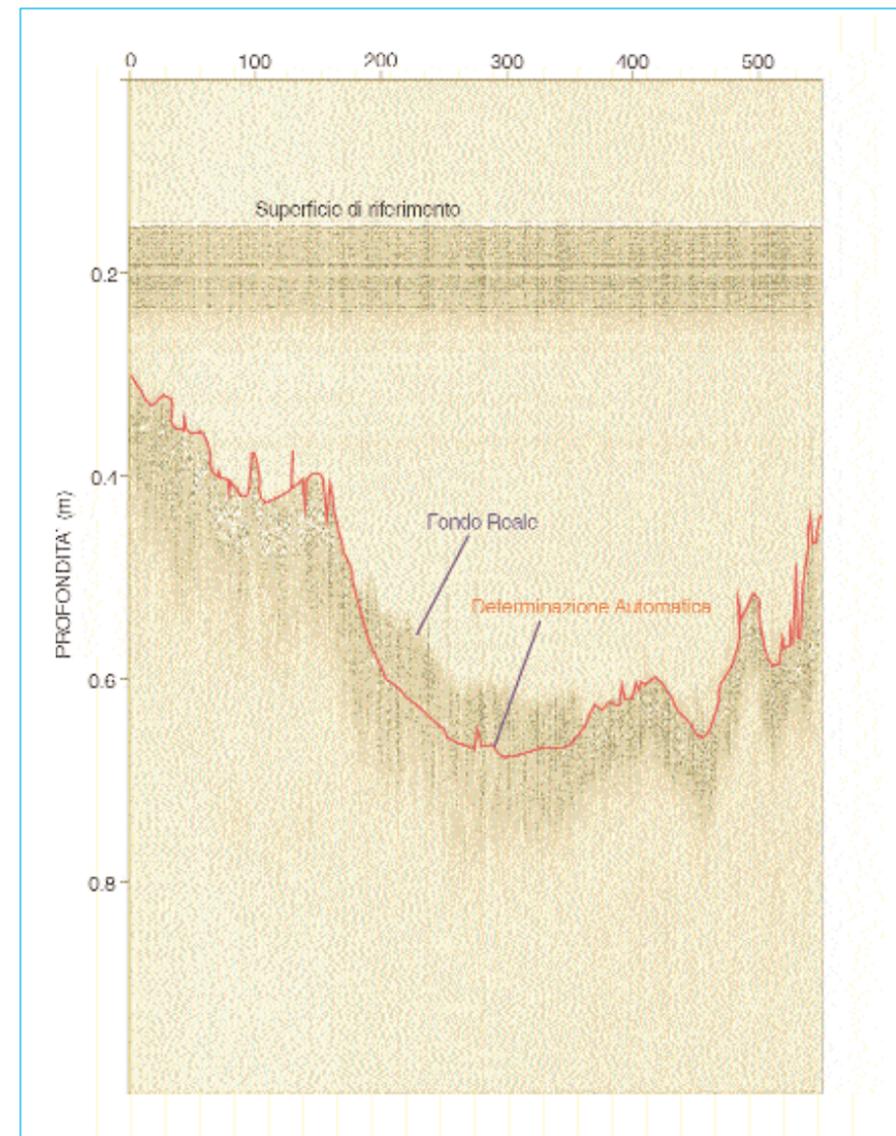
A questo punto abbiamo realizzato un campionatore digitale, collegato a un computer portatile (fig. 1) che ci ha permesso di memorizzare integralmente, punto per punto, il segnale ecografico in parallelo al dato numerico di profondità (Masini e Gasperini, 1998). In questo modo abbiamo potuto verificare l'attendibilità della misura fornita automaticamente dallo strumento ed effettuare in fase di elaborazione le eventuali correzioni. In figura 2 è riportata a titolo di esempio una registrazione ecografica digitale ottenuta durante la nostra campagna di misure; si può notare come per una profondità così limitata la mancata rilevazione del fondo a favore di un riflettore più profondo possa costituire un errore significativo.

Un altro motivo per cui abbiamo deciso di campionare il segnale riguarda la stima del coefficiente di riflettività del fondale. Esistono infatti numerose indicazioni secondo le quali è possibile mettere in relazione quest'ultimo a specifiche caratteristiche dei sedimenti (Hamilton, 1970; Akal, 1972). Dato che lo studio di valle Fattibello prevedeva il prelievo e l'analisi di campioni del fondo, un ulteriore obiettivo sarà verificare la possibilità di estendere informazioni puntuali di alcune proprietà dei sedimenti all'intera area investigata.

Il problema dell'escursione di marea è stato risolto installando una postazione fissa di registrazione (mareografo) in valle, circa un mese prima e durante la realizzazione del rilievo. Abbiamo potuto così disporre prima del rilievo morfobatimetrico di una registrazione dell'escursione di marea (fig. 3) che ci ha permesso di pianificare i giorni e le ore di lavoro in funzione della navigabilità della laguna.

Il motivo principale per cui sono stati acquisiti i dati di marea, è stato però correggerne l'effetto nelle registrazioni batimetriche, in modo tale

Figura 2: Un esempio di profilo ecografico registrato durante la nostra campagna di misure. La traccia rossa indica il livello di profondità stimato dall'ecoscandaglio. Si può notare come nel caso di una penetrazione significativa del segnale, si abbia un notevole errore nella rilevazione automatica del fondo, il cui andamento reale è evidente dal profilo. Abbiamo utilizzato profili come questo per correggere i dati batimetrici per questo effetto.



da riferirle ad un unico livello. Il test finale sulla qualità dei dati è stato fatto comparando coppie di misure all'incrocio tra le varie linee del rilievo dopo avere applicato tutte le correzioni. I risultati di questa verifica sono riportati in figura 4.

Il posizionamento delle linee è stato ottenuto per mezzo di un sistema GPS, dotato di correzione differenziale satellitare *on-line*. Il ricevitore

GPS è stato collegato al sistema di acquisizione batimetrico, permettendo di ottenere per ciascun punto di misura la posizione sull'ellissoide di riferimento con un errore inferiore al metro.

Sismica a riflessione

La prospezione sismica a riflessione consente di ottenere "immagini acustiche" del substrato. Questo tipo di

indagine consiste nel generare impulsi acustici e registrare per mezzo di opportuni trasduttori le riflessioni causate da superfici di "discontinuità" all'interno del substrato. In questo caso per discontinuità si intende il contatto tra due rocce che mostrano diversi valori di un parametro particolare, l'impedenza acustica, data dal prodotto tra densità e velocità di propagazione dell'onda sismica nel mezzo in esame. L'impedenza acustica è un parametro tipico di ciascun litotipo. In generale, ad una qualsiasi interfaccia tra due mezzi a diversa impedenza acustica avremo tre tipi di onde sismiche: una incidente, una riflessa e una rifratta o trasmessa. Le quantità relative di energia riflessa e trasmessa, oltre che dalle impedenze dei due mezzi, dipendono dall'angolo con il quale il raggio sismico incide la superficie di separazione. Nella sismica a riflessione la sorgente e il ricevitore sono in teoria nello stesso punto, quindi interessano solo le riflessioni perpendicolari alle superfici di discontinuità.

La quantità di energia riflessa ad una qualsiasi interfaccia tra due mezzi diversi, dipende dal "coefficiente di riflettività" (R):

$$R = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1)$$

dove Z_1 e Z_2 sono le impedenze acustiche rispettivamente del mezzo superiore e inferiore.

La sismica a riflessione trae vantaggio dal fatto che le varie unità litologiche che formano il substrato presentano valori molto diversi di velocità delle onde sismiche.

Un profilo sismico a riflessione si ottiene in pratica registrando il segnale in arrivo ad un trasduttore ricevente (idrofono) nel tempo impiegato dal segnale a viaggiare dalla superficie dell'acqua fino al fondo e oltre, in punti differenti lungo il percorso dell'imbarcazione.

Il tempo misurato per ciascuna riflessione, può essere convertito in

“profondità” analogamente a quanto abbiamo descritto nel caso dell’ecoscandaglio, se si è a conoscenza della velocità di propagazione dell’onda sismica negli orizzonti rocciosi attraversati. Esistono però una serie di limitazioni pratiche che debbono essere considerate interpretando questi dati:

- il segnale ricevuto in superficie da riflettori profondi è difficile da rilevare perché caratterizzato in generale da ampiezza molto piccola, non facilmente discriminabile dal rumore di fondo;
- l’attraversamento del substrato introduce attenuazioni differenziali sul segnale, in misura maggiore per componenti a frequenza più elevata, il che limita progressivamente la risoluzione verticale all’aumentare della profondità;
- il segnale può essere riflesso più volte da discontinuità ad impedenza acustica diversa, introducendo nella registrazione un rumore coerente conosciuto come “riflessione multipla” che nasconde i livelli più profondi. Questo effetto è maggiore al diminuire della profondità della colonna d’acqua, quindi estremamente rilevante nella nostra area di studio.

In fase di progetto abbiamo valutato che il rilievo in valle Fattibello richiedesse una risoluzione verticale non inferiore a qualche cm. L’unico strumento in grado di garantire queste prestazioni è il Sub-bottom Profiler (SBP) che può essere considerato un termine intermedio fra un ecoscandaglio e un sistema di prospezione sismica vero e proprio. Un SBP consente di effettuare sezioni sismiche del substrato di grande dettaglio, anche se con limitatissima penetrazione.

Il sistema è composto da due trasduttori piezoelettrici, uno ricevente e uno trasmettente, generalmente montati in posizione fissa sotto la chiglia dell’imbarcazione, oppure collocati su “veicoli” al traino. La frequenza di emissione degli impul-

Figura 3: Escursione di marea registrata in valle Fattibello nel periodo 26 aprile-18 maggio.

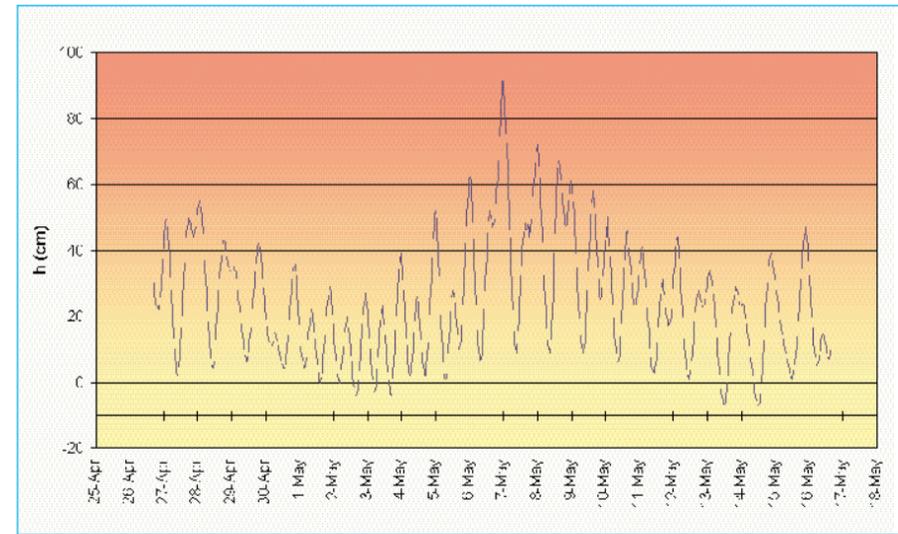
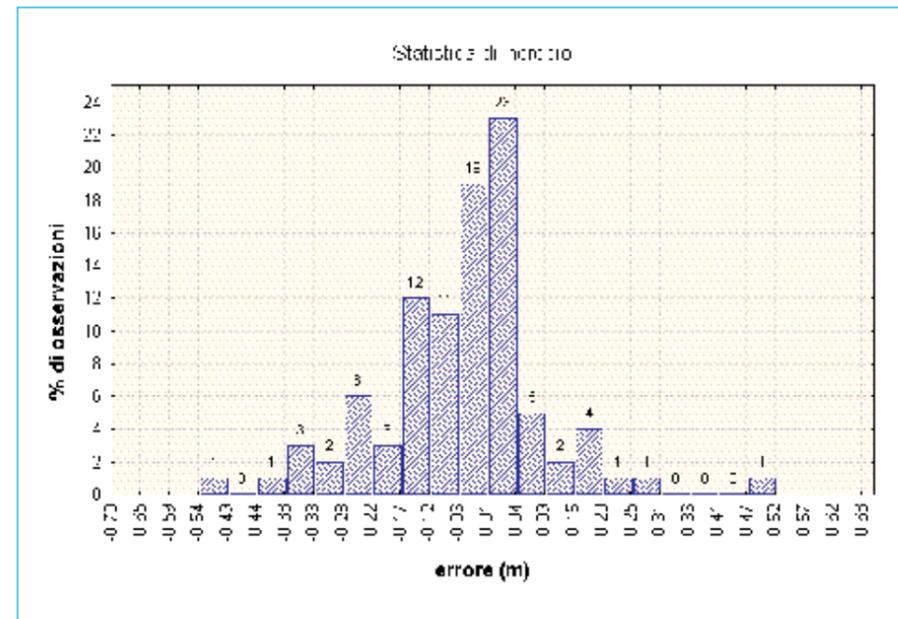


Figura 4: Controllo di qualità eseguito sui dati prima di realizzare la griglia batimetrica; per ciascun incrocio tra due profili è stato calcolato lo scarto; l’errore in oltre il 75% delle misure è circoscritto a +/- 20 cm.



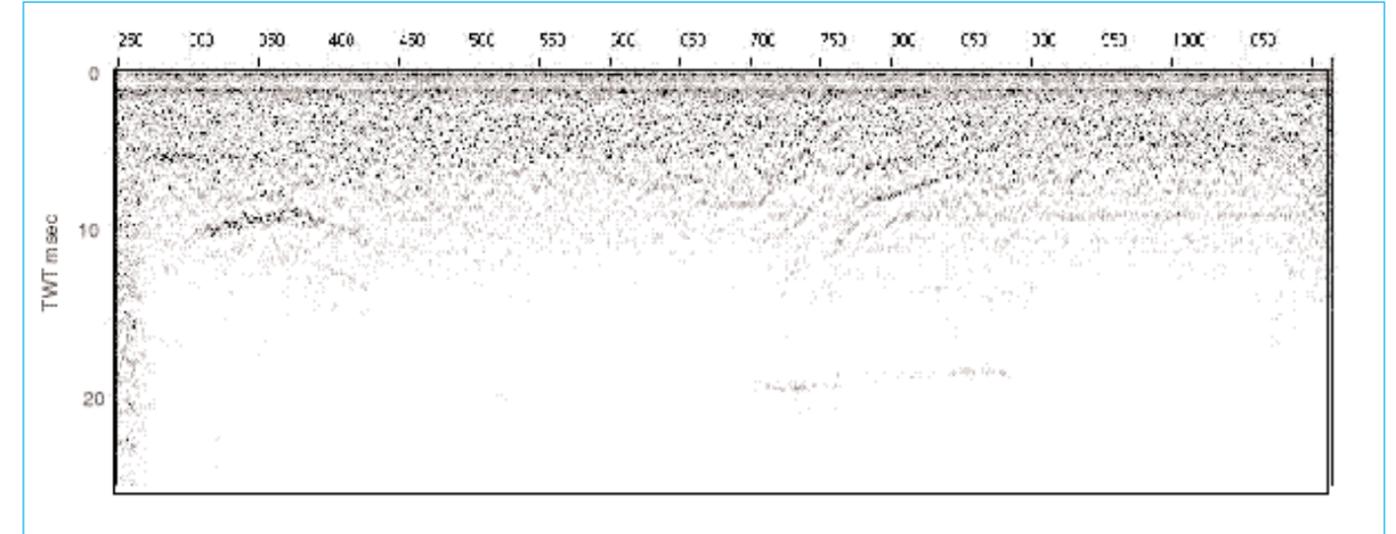
si acustici è nell’ordine delle migliaia di Hz (tipicamente da 3 a 7 kHz); la penetrazione varia entro una campo che va approssimativamente da pochi metri alle decine di metri, in dipendenza del tipo di substrato.

L’ultima generazione dei SBP si avvale di una tecnologia particolare detta “Chirp”. Questa consiste nel

generare impulsi calibrati, modulati in frequenza, che consentono risoluzioni elevatissime (6-8 cm). Il segnale, generato da trasduttori simili a quelli usati nei SBP tradizionali, è campionato da convertitori Analogico-Digitali molto veloci, ed elaborato on-line da DSP (Digital Signal Processors) dedicati.

Questa tecnologia ha una serie di

Figura 5: Esempio di sezione sismica acquisita in valle Fattibello.



vantaggi rispetto a quella tradizionale:

- aumento del rapporto segnale/rumore ottenuto con una potenza di picco minore generata;
 - incremento della risoluzione verticale ottimizzando la banda di emissione;
 - rimozione dell’ “effetto bolla” al trasduttore;
 - rimozione o forte attenuazione delle multiple di corto e lungo periodo.
- Per questo rilievo è stato utilizzato un sistema CHIRP-II della DataSonics con i seguenti parametri di registrazione:
- intervallo di scoppio: 250 msec.
 - lunghezza della registrazione: 250 msec.
 - passo di campionamento del segnale: 18 kHz
 - profondità della sorgente: 20 cm circa.

Data la scarsa profondità d’acqua riscontrata costantemente nel corso del rilievo sono stati utilizzati particolari accorgimenti nelle geometrie dei dispositivi. Per esempio, sono state utilizzate due imbarcazioni, una per il traino, l’altra per l’acquisizione vera e propria, distanti fra loro qualche decina di metri. Sull’imbarcazione trainata erano collocati tutti gli strumenti di acquisizione sismica

e navigazione. Questa soluzione ha consentito una manovra più agile e una migliore immunità al rumore nelle registrazioni, dato che il trasduttore sismico si veniva a trovare sempre a notevole distanza dal motore della barca trainante. Inoltre, allo scopo di consentire una bassa velocità durante il rilievo senza pregiudicare l’assetto di navigazione del trasduttore, a quest’ultimo sono stati applicati una serie di galleggianti, in modo tale da ottenere una distanza costante dal fondale senza introdurre turbolenze significative che avrebbero potuto pregiudicare il rapporto segnale/rumore in acquisizione. In figura 5 è mostrato un esempio di profilo sismico registrato in valle Fattibello.

CONCLUSIONI

Con l’esecuzione di questo rilievo abbiamo cercato di fornire un contributo allo studio dei processi sedimentari in atto nella valle Fattibello e una piccola ma significativa finestra sulla loro evoluzione geologica recente. I dati sono stati solo parzialmente elaborati, e sarà necessario approfondire le correlazioni fra le evidenze geofisiche e le analisi fatte sui campioni di sedimento. Dall’esecuzione del rilievo sono parsi evi-

denti molti margini di miglioramento, soprattutto per quanto riguarda i tempi di realizzazione che possono essere molto limitati alla luce delle esperienze acquisite. I risultati preliminari suggeriscono che una sempre più stretta integrazione tra le metodiche classiche di studio dei bacini lagunari (biologiche, ecologiche, geochimiche) e le tecniche di prospezione geofisica ad alta risoluzione non solo sia auspicabile, ma costituisca un passo fondamentale verso una migliore comprensione di questi ambienti complessi. ■

BIBLIOGRAFIA

- AKAL T., 1972.; *The relationship between the physical properties of underwater sediments that affect bottom reflection*. Marine Geology, 13: 251-266.
- GASPERINI L., MATTEUCCI G., MOLARI M. e FRASARI F., *Cenni evolutivi e caratteristiche morfologiche della Valle Fattibello*. stesso volume
- HAMILTON E.L., *Reflection coefficients and bottom losses at normal incidence computed from Pacific sediment properties*. Geophysics, 35, 6: 183-194
- MASINI L. e GASPERINI L., *Uno strumento portatile per il campionamento del segnale generato da ecoscandagli di precisione Rapporto Tecnico N.47*. Istituto di Geologia Marina, CNR, Bologna.