

## Correzioni geometriche e radiometriche applicabili a valori di *backscatter* raccolti con sistemi MBES Kongsberg EM 3002

Giuseppe Masetti (\*), Andrea Trucco (\*\*), Roberto Sacile (\*\*\*)

(\*) Università degli Studi di Genova, DIST, Via Opera Pia 13, Genova, Tel. 3479713962, gmasetti@ccom.unh.edu

(\*\*) Università degli Studi di Genova, DIBE, Via Opera Pia 11A, Genova, Tel. 0103532253, trucco@ieee.org

(\*\*\*) Università degli Studi di Genova, DIST, Via Opera Pia 13, Genova, Tel. 0103532153, roberto.sacile@unige.it

### Riassunto

Il presente lavoro descrive possibili correzioni geometriche e radiometriche da applicare a valori di *backscatter* raccolti con sistemi MBES Kongsberg EM 3002. Lo scopo di tali correzioni è di fornire valori di *backscatter* quanto più possibile correlati unicamente alle proprietà fisiche caratteristiche del fondale insonificato. Le correzioni, preliminari all'applicazione sui dati di successive tecniche di analisi, influenzano direttamente la qualità dei prodotti ricavati dalla riflettività acustica del fondale marino.

### Abstract

*This paper describes possible geometric and radiometric corrections for backscatter values collected by MBES Kongsberg EM 3002. The corrections permit to obtain values related mainly to the physical characteristic of the insonified seafloor. These corrections, preliminary to the application of any following technique of analysis, directly influence the quality of products extracted from the seafloor reflectivity.*

### Premessa

Negli ultimi anni le informazioni deducibili dalla misura di riflettività del fondale marino sono state ampiamente rivalutate. Oggi la riflettività acustica rappresenta, infatti, uno dei prodotti di maggiore interesse di un rilievo idrografico in quanto i valori di *backscatter* permettono di mappare aree omogenee di fondale in maniera rapida e, al contempo, dedurre con buona affidabilità alcune proprietà fisiche del sedimento (come impedenza acustica, ruvidità e disomogeneità volumetrica). Ad esempio, la mosaicatura e l'analisi angolare del *backscatter* permettono di caratterizzare in maniera adeguata un'area di fondale marino caratterizzata da un relitto di una nave moderna, estendendo i risultati di un numero limitato di prese di fondo. Entrambe le tecniche sono state applicate con esiti positivi al *case-study* del relitto della VLCC Haven (Masetti et al., 2010, 2011). Permangono notevoli potenzialità insite nelle misure di riflettività del fondale marino ancora da sviluppare, mutuando e adattando tecniche e metodologie in uso in altri campi come, ad esempio, la *computer graphics* ed il *remote sensing*.

Tuttavia, prima di poter applicare qualsiasi metodo di analisi ai valori raccolti da un sistema *multibeam*, è di fondamentale importanza che i dati siano geograficamente referenziati in maniera opportuna, con l'ausilio del profilo batimetrico misurato dallo stesso sistema multifascio, per rimuovere il tradizionale assunto *real-time* di fondale piatto. Oltre al calcolo dell'effettivo angolo di incidenza che influenza direttamente la superficie insonificata dal fascio acustico, un ampio numero di correzioni radiometriche (*time variable gain*, potenza di trasmissione, *beam pattern* residuale, coefficiente di assorbimento, ...) possono e, talvolta, devono essere applicate durante il *post-processing* dei dati per garantire la qualità dei prodotti ottenuti.

Il fine principale delle correzioni geometriche e radiometriche è, infatti, di ottenere valori di

*backscatter strength* quanto più possibile correlati unicamente alle proprietà fisiche caratteristiche del fondale insonificato. Tali correzioni sono strettamente legate ai diversi modelli acustici adottati in fase di acquisizione dai costruttori di sistemi multifascio e, talvolta, presentano delle variazioni significative in funzione della famiglia di sistemi prodotti dagli stessi.

Lo scopo del presente lavoro è di illustrare gli esiti di uno studio effettuato su alcune possibili correzioni da applicare ai valori di *backscatter strength* raccolti con sistemi MBES Kongsberg EM 3002. Tale sistema è stato scelto sulla base della larga diffusione di tale sistema per l'esecuzione di rilievi idrografici costieri e portuali. Altri sistemi (Reson Seabat 8125, R2Sonic Sonic 2024, etc.), con simili caratteristiche e altrettanto diffusi, saranno oggetto di studi futuri.

Le correzioni oggetto di studio sono orientate al fine di incrementare la qualità dei dati di ingresso e, quindi, i risultati di approcci al problema dell'analisi, della segmentazione e della classificazione acustica presenti in letteratura: *texture analysis* applicata a *backscatter mosaic*, analisi di *feature* estratte dalla curva di risposta angolare di *backscatter strength*, analisi spettrale della stessa, ecc. (ad esempio, Pace, Gao, 1988; Hughes Clarke, 1994; Fonseca, Calder, 2005, 2007).

### **Backscatter: definizione e cenni teorici**

In acustica subacquea, il termine *backscatter* viene impiegato per indicare, in una configurazione monostatica, la parte di energia trasmessa di ritorno al sistema che l'ha emessa. Ciò è possibile in quanto, nell'intervallo temporale trascorso tra emissione e ricezione, l'onda acustica – dopo essersi inizialmente allontanata dalla sorgente propagandosi nel mezzo di trasmissione (come, ad esempio, l'oceano) – incontra degli ostacoli (lungo la colonna d'acqua e/o alle interfacce di confine come il fondale e la superficie marina) che permettono ad una parte di essa di tornare al sistema emittente. Ne consegue che, in funzione del *target* oggetto di investigazione, una componente energetica variabile del *backscatter* rappresenta una fonte di disturbo (riverberazione).

Già in fase di acquisizione, i sistemi acustici moderni impiegano varie tipologie di filtri per favorire la ricezione della componente 'utile' dell'eco e ridurre i livelli di disturbo e di rumore. Tuttavia, la complessa interazione di un'onda acustica che incontra mezzi con caratteristiche diverse – congiunta alla necessità da parte del sistema di portare a termine in tempo reale la misurazione e la registrazione dei dati – richiede l'esecuzione di una serie di correzioni in fase di *post-processing*.

Il segnale di *backscatter* (*echo level*, *EL*) viene comunemente stimato in decibel, basandosi sulla c.d. 'equazione del sonar attivo':

$$EL = SL - 2TL + TS = SL - 2TL + 10 \log A + BS \quad [1]$$

In tale equazione troviamo rappresentati l'intensità dell'onda acustica trasmessa (*source level* da cui *SL*), le perdite di trasmissione in andata e in ritorno (*transmission loss*, *TL*) dovute principalmente allo *spreading* geometrico e all'assorbimento del mezzo, e la *target strength* (*TS*) inteso come rapporto tra l'intensità acustica di ritorno dall'ostacolo in direzione della sorgente e l'intensità incidente sullo stesso. Quest'ultimo valore è funzione della natura fisica dell'ostacolo, della sua struttura (interna ed esterna) e alle caratteristiche del segnale incidente (durata del segnale e frequenza). Nel caso di un *target* esteso, come il fondale marino, la *target strength* (*TS*) è solitamente rappresentata come composta da due parti: la dimensione del fondale effettivamente insonificato dal sistema acustico (*A*) e la corrispondente *backscattering strength* per unità di superficie (*BS*).

Nel processo di formazione del *backscatter*, il fondale marino agisce principalmente come una superficie ruvida che provoca la diffusione dell'onda acustica incidente. Tale ruvidità è funzione dell'origine geologica e/o biologica del sedimento. Oltre ad esistere fondali con ruvidità variabile su un'ampia scala di grandezze (da pochi millimetri ai metri), la frequente coesistenza di diverse scale nello stesso fondale da luogo a differenti processi fisici contemporanei (ad esempio, *ripple* e *posidonia* presenti su fondale sabbioso). Inoltre, alle frequenze solitamente impiegate per rilievi batimetrici costieri, una parte limitata di energia può penetrare nel sedimento qualora sussista un ridotto contrasto di impedenza con l'acqua dell'oceano. In tal caso, il contributo energetico

proveniente dalle irregolarità presenti nel sedimento si sommano randomicamente al *backscatter* costituitosi all'interfaccia acqua/fondale (Lurton, 2010).

Una ulteriore caratteristica significativa del *backscatter* è di avere un comportamento variabile in funzione dell'angolo di incidenza con il fondale e che tale comportamento è, a sua volta, funzione della tipologia di sedimento insonificato.

### **Principali caratteristiche del MBES Kongsberg EM 3002**

Il principio generale di funzionamento di un sistema acustico *multibeam* prevede l'emissione di un segnale acustico e l'attesa per il ritorno degli echi dello stesso dal fondale. Il fascio in emissione è solitamente molto più largo *across-track* che *along-track*, mentre è l'opposto per il fascio in ricezione. La corrispondente configurazione perpendicolare dei trasduttori, denominata a croce di Mills, permette di definire elettronicamente e simultaneamente un ampio numero di *beam* (solitamente, nell'ordine delle centinaia). Ad ognuno di questi *beam* viene associato il tempo intercorso tra emissione e ricezione (*two-way travel time*) e l'ampiezza del segnale ricevuto (*amplitude*). Sebbene variabile in funzione di alcuni parametri (ad esempio, la temperatura dell'acqua o la presenza di *plankton*), l'area insonificata da un sistema multifascio costiero può essere stimata tra le 5 e le 7 volte il fondale misurato al *nadir*.

Il sistema acustico multifascio a testa singola Kongsberg Simrad EM 3002 lavora ad una frequenza operativa di circa 300 kHz. È dotato di un fascio acustico in trasmissione con apertura di 130° *across-track* e 1.5° *along-track*. I *beam* in ricezione hanno un'apertura che varia da 1.5° *broadside* ad approssimativamente 3° nella regione più esterna dello *swath*.

Il presente studio è stato sviluppato sulla modalità di impiego denominata *High Definition (HD) mode* che fornisce fino a 256 soluzioni di *bottom detection* in un approccio geometrico equiangolare e basato su 164 *beam* fisici (spaziati circa 0.8°). La durata dell'impulso impiegato è di 0.15 ms, mentre la frequenza di campionamento del *beam-forming* è di 14.9 kHz. Per ulteriori dettagli sulle caratteristiche del sistema e sulle capacità operative si rimanda al manuale del sistema (Kongsberg, 2004).

### **Struttura dei dati**

I dati di *backscatter* sono registrati dal MBES Kongsberg EM 3002 sia come singolo valore di riflettività per *beam*, sia sotto forma di una serie variabile di campioni di *amplitude* (utilizzati per la *bottom detection* di ciascun *beam*). Entrambe le tipologie di valori, sebbene con una diversa risoluzione spaziale, possono essere utilizzati per la mosaicatura e l'analisi finalizzata alla caratterizzazione remota del fondale, così come necessitano di alcune (e differenti) correzioni per incrementare l'accuratezza.

Molti dei dati necessari a calcolare tali correzioni, così come i valori stessi di riflettività, vengono registrati dal sistema sotto forma di file binari strutturati in modo da contenere differenti tipologie di *datagram* (Kongsberg, 2010). La struttura interna di ognuno di essi è simile in quanto prevede una parte iniziale, con informazioni necessarie alla lettura degli stessi (lunghezza totale in *byte*, tipologia, numero sequenziale, riferimento temporale denominato *time tag*, etc.), un corpo, in cui sono contenuti i dati (posizione geografica, dati batimetrici, profilo di velocità del suono, etc.), ed una parte conclusiva con il *checksum* per verificare che gli stessi dati non siano corrotti.

Durante l'acquisizione, a ogni *ping* acustico sono solitamente associati quattro *datagram* con il medesimo *time tag*: *Raw range and beam angle*, *Depth datagram*, *Seabed image*, *Water column datagram*. Quest'ultimo può essere registrato in un file dedicato a causa delle dimensioni che può raggiungere. Il susseguirsi di tali *datagram* è periodicamente inframmezzato dai dati di assetto e di posizione dell'unità, congiuntamente al *Real-Time Parameter datagram* che, sebbene non viene comunemente impiegato nel *post-processing* dei dati, contiene delle informazioni utili al controllo di qualità dei dati registrati dal sistema.

### Il modello acustico Kongsberg

Il modello acustico impiegato dal MBES Kongsberg EM 3002 è basato sulla equazione del sonar [1] e presume uno *spreading* geometrico sferico del segnale:

$$EL = SL - 2\alpha R + 40 \log_{10} R + 10 \log_{10} A + BS \quad [2]$$

Nella suddetta formula,  $\alpha$  rappresenta il coefficiente di assorbimento in dB/m (impiegato per stimare le perdite per assorbimento lungo la colonna d'acqua) e  $R$  rappresenta la distanza percorsa dall'onda acustica dalla sorgente al target (*range*).

La necessità di adottare un modello acustico è legata sia al limitato *range* di ricezione del ricevitore del sistema acustico, sia alla necessità di evitare il sovraccarico di dati e la raccolta di una quantità eccessiva di rumore. Per evitare tutto ciò un guadagno variabile nel tempo (TVG) è calcolato prima della ricezione di ogni *ping* acustico, basandosi sulle ricezioni precedenti e cercando di far fronte al meglio alle variazioni randomiche di riflettività del fondale.

Come precedentemente ricordato, il comportamento del *backscatter* è funzione dell'angolo di incidenza  $\varphi$  dell'onda acustica sul fondale. A causa della notevole differenza in risposta, il modello acustico è stato definito da Kongsberg sulla base di tre distinti *range* angolari: costante, per incidenza prossima alla normale; linearmente variabile, per piccoli angoli di incidenza; e lambertiano, per la rimanente parte (Hammerstad, 2000). La definizione delle tre leggi applicate in *real-time*, così come i confini delle rispettive aree, sono ricavabili da quattro parametri contenuti nel *Seabed Image datagram*: il *range* all'incidenza normale  $R_N$ , il coefficiente di *bottom backscatter* all'incidenza normale  $BS_N$  e obliqua  $BS_O$ , l'angolo di *crossover*  $\varphi_C$  tra la legge lineare e lambertiana (Figura 1).

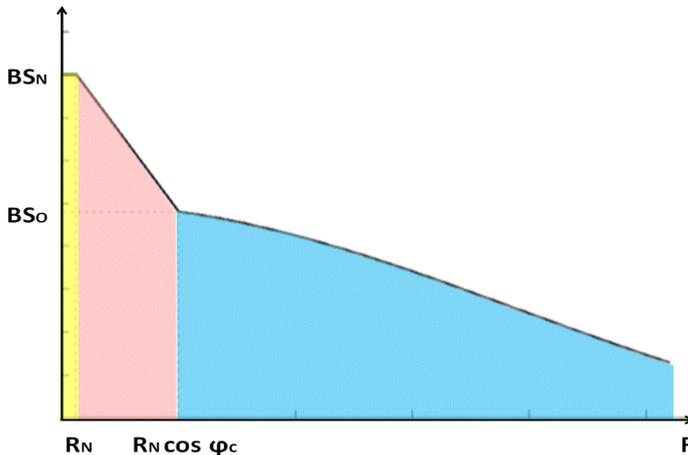


Figura 1 – Range angolari del modello acustico Kongsberg: costante (giallo), lineare (rosso) e lambertiano (azzurro).

L'estensione dell'area di fondale insonificata è definita in due modi differenti. Ad incidenza normale ( $\varphi \cong 0^\circ$ ), l'area è definita come funzione dell'ampiezza del fascio *along-track*  $\theta_x$  e *across-track*  $\theta_y$ ; nelle altre direzioni, è funzione dell'ampiezza *along-track*  $\theta_x$  del fascio e della durata dell'impulso  $\tau$ :

$$A_b = \begin{cases} 10 \log_{10}(\theta_x \theta_y R^2), & \text{for } R \leq R_N \\ 10 \log_{10}\left(\frac{c \tau \theta_x R}{2 \sin \varphi}\right), & \text{for } R > R_N \end{cases} \quad [3]$$

## Correzioni geometriche e radiometriche

### Rimozione dell'assunto di fondale piatto

I valori di *backscatter* calcolati in *real time* sono basati sul modello acustico descritto e sull'assunzione di fondale piatto. Tale assunto può essere facilmente disatteso qualora, ad esempio, il fondale presenti una significativa pendenza locale  $\delta$  in una data direzione.

Le componenti *along-track*  $\delta_x$  e *across-track*  $\delta_y$  di tale pendenza possono essere calcolate impiegando un modello digitale del terreno (DTM) ottenuto dalle informazioni batimetriche presenti negli stessi dati raccolti dal sistema multifascio (Lurton et al., 1994).

L'angolo di effettiva incidenza  $\varphi_e$  rispetto al fondale è rappresentato dal prodotto scalare dal vettore  $\vec{V}_i$  costituito dal fascio incidente e dal vettore  $\vec{V}_n$  normale al DTM (Figura 2):

$$\varphi_e = \arccos \left( \frac{\vec{V}_i \cdot \vec{V}_n}{\|\vec{V}_i\| \|\vec{V}_n\|} \right) \quad [4]$$

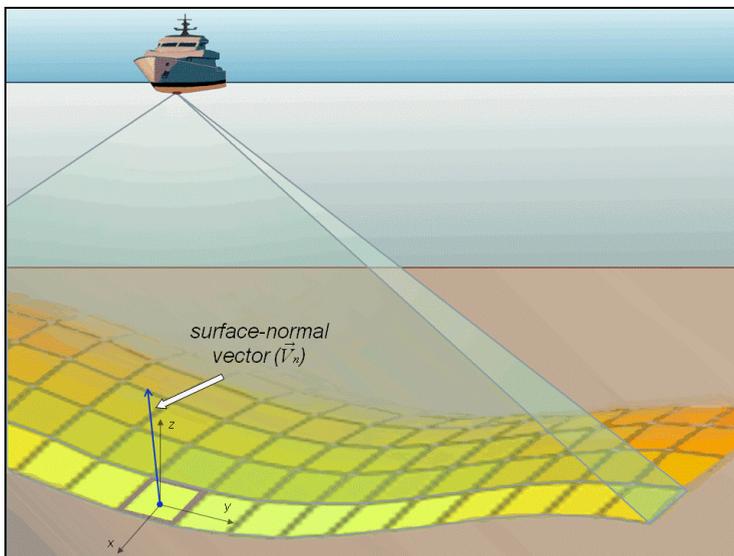


Figura 2 – Rappresentazione del vettore normale al DTM in funzione della pendenza locale.

Ne consegue che l'area effettivamente insonificata dal sistema multifascio è funzione delle componenti della pendenza locale:

$$A = \begin{cases} 10 \log_{10} \left( \frac{\theta_x \theta_y R^2}{\cos \delta_x \cos \varphi_y} \right), & \text{for } \varphi_y \cong 0 \\ 10 \log_{10} \left( \frac{c \theta_x R}{2 \cos \delta_x \sin \varphi_y} \right), & \text{for } \varphi_y \neq 0 \end{cases} \quad [5]$$

In [5], l'angolo di effettiva incidenza *along-track*  $\varphi_y$  è rappresentato dall'angolo di incidenza basato sull'assunto di fondale piatto  $\varphi_{yf}$  corretto della pendenza locale  $\delta_y$ .

### Modalità di registrazione dei dati raccolti

I valori di *amplitude* del segnale ricevuto per ogni campione costituente i *beam* sono registrati nel *Seabed Image datagram*. Tali valori sono raccolti in maniera tale che – posti l'uno accanto all'altro – l'array risultante copre senza soluzione di continuità il fondale insonificato (Hammerstad, 2000).

Ogni campione è ad un intervallo temporale fisso correlato alla frequenza di campionamento e alla modalità di impiego del sistema multifascio. Ne consegue che il numero di campioni per ogni singolo *ping* è variabile in funzione alla batimetria del fondale. Un esempio di tale variabilità è riportato in Figura 3, dove nella parte centrale della linea di acquisizione è presente un innalzamento del fondale legato ad un relitto. Un innalzamento del fondale legato ad un relitto.

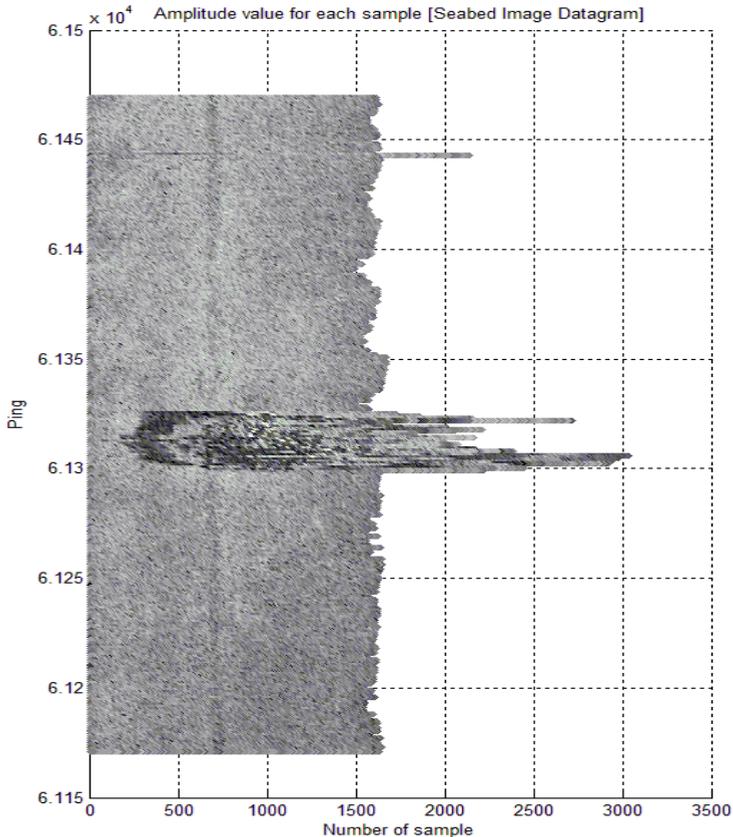


Figura 3 – Esempio di numero variabile di campioni per ping legato alla presenza di un relitto (nella parte centrale della linea di acquisizione) ed un probabile spike (nella parte superiore).

Al fine di rendere possibile una corretta georeferenziazione dell'*amplitude* di un dato campione, all'interno del medesimo *datagram* è presente un campo in cui viene riportato il *beam* di riferimento. Ciò permette di avere come riferimento spaziale la posizione di tale *beam* calcolata come riportato nel paragrafo successivo.

I valori di riflettività per ogni singolo *beam* sono invece riportati nel *Depth datagram*. Come mostrato in Figura 4, tali valori hanno una differente distribuzione rispetto ai corrispondenti valori di *amplitude* dei campioni (*Seabed Image datagram*) in quanto sono applicate differenti correzioni.

Il valore di *beam reflectivity* è costituito dal massimo dei valori ottenuti utilizzando una media mobile di breve lunghezza, oppure dal massimo valore, qualora il *beam* è troppo breve (ciò accade solitamente ad angoli di incidenza prossimi alla normale). Inoltre, i valori prossimi ad angolo di incidenza normale sono corretti della legge di TVG (linearmente variabile) impiegata dal ricevitore, così come sono sottratti gli effetti dell'applicazione della legge di Lambert.

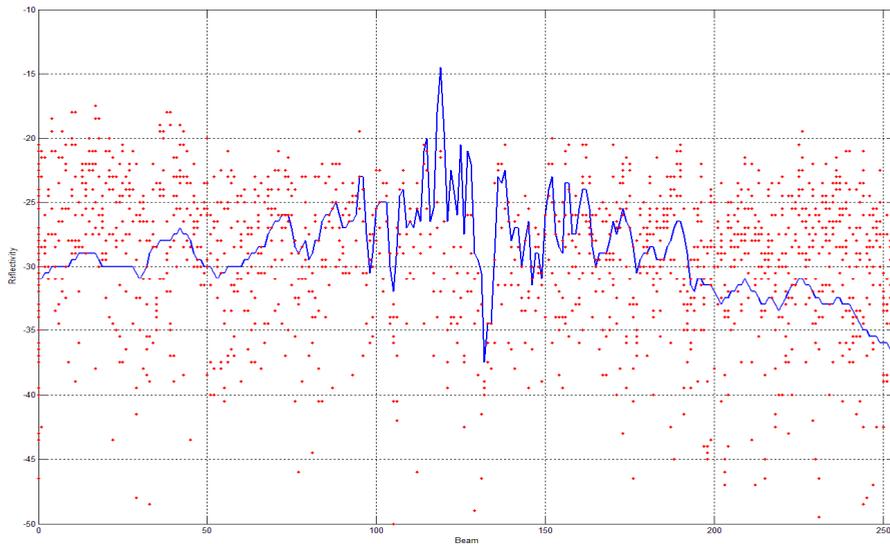


Figura 4 – Valori di riflettività per beam (Depth datagram), in blu, e di amplitudine per campione (Seabed image datagram), in rosso, per un dato ping: la diversa distribuzione è dovuta alle differenti correzioni applicate.

### Georeferenziazione dei dati

I dati di riflettività registrati dal MBES Kongsberg EM 3002 per ogni singolo *beam* possono essere agevolmente georeferenziati. Infatti, la posizione del vettore è registrata periodicamente da un apparato di posizionamento (ad esempio, un ricevitore differenziale GPS). Da questi valori, è possibile stimare la posizione del vettore (di solito, si applica una semplice interpolazione lineare). Al tempo del *ping* acustico, il *footprint* di ogni *beam* è localizzato, utilizzando la rotta del vettore e la posizione di ogni *beam* riferita al sistema di riferimento dello stesso vettore ( $d_b^x, d_b^y, d_b^z$ ). Per effetto del *pitch* e della curvatura dei raggi acustici, i *beam* non sono necessariamente localizzati nel medesimo piano verticale del vettore al momento della ricezione. Il risultato di tale operazione è un posizionamento accurato del *footprint* di ogni *beam* in un sistema di riferimento cartografico ( $\varphi_b, \lambda_b, z_b$ ).

L'approccio per il calcolo della posizione di ogni campione è differente. Il sistema multifascio raccoglie una serie di campioni di *amplitude* lungo lo *swath*, il numero di campioni per ogni *beam* e per ognuno di esso il *detection beam* correlato. Pertanto, la posizione di ogni campione dovrebbe essere ottenuta partendo dal suo tempo di viaggio  $t_b$  (*two-way travel time*) e dall'angolo di lancio del *beam* corrispondente  $\vartheta_b$  e valutando la *bottom detection* risultante in considerazione della curvatura del raggio acustico legata alla variazione verticale della velocità del suono.

Tale procedura, computazionalmente gravosa, viene di solito sostituita a mezzo di due approssimazioni: il fondale è modellato come costituito da una serie di segmenti costituiti dall'unione della posizione dei *beam* lungo lo *swath*, mentre i campioni sono considerati regolarmente spazati. Il risultato è un sufficientemente accurato posizionamento di ogni campione in un sistema cartografico di riferimento ( $\varphi_b, \lambda_b, z_b$ ).

Ad esempio, un mosaico di *backscatter* è di solito costruito partendo dalle posizioni dei campioni, in quanto permettono una migliore risoluzione spaziale. Una tale tipologia di mosaico è basata su una matrice geografica dove ogni elemento (*pixel*) rappresenta la riflettività di una parte di fondale marino. Prendendo a riferimento per il dimensionamento del *pixel* (risoluzione del mosaico)

l'effettivo *footprint* di un campione, la matrice risultante presenterebbe soltanto pochi *pixel* con dei valori, anche a causa della spaziatura angolarmente variabile degli stessi e agli effetti delle sollecitazioni del moto ondoso sul vettore (misurate dal sensore di *attitude*).

In letteratura, esistono una serie di approcci impiegati per riempire i *pixel* vuoti del mosaico. Uno dei primi ad essere impiegato prevede la localizzazione di ogni campione di *backscatter* al centro del periodo di campionamento e l'applicazione di una finestra mobile. Quest'ultima riempie i valori mancanti con l'applicazione di una tecnica di *image processing* basata, ad esempio, sul valore medio, sul mediano o su diversi principi di pesatura (*weighted averaging methods*). In tale tecnica, la dimensione minima della finestra mobile – funzione del periodo di campionamento, degli effetti del *pitch* e delle variazioni di rotta – è almeno corrispondente alla dimensione del fascio sul fondale (Augustin et al., 1994).

### Applicazione delle correzioni

I coefficienti di *backscatter* per singolo *beam*  $BS_b$  sono registrati nel *Depth datagram* in modo tale che gli effetti delle assunzioni del modello acustico usato in acquisizione sono rimossi. Tali coefficienti possono quindi rappresentare una base di partenza per successive analisi della variazione angolare della riflettività angolare volte a dedurre caratteristiche del sedimento.

Tuttavia, si preferisce solitamente ricavare tale variazione angolare partendo dai campioni di *amplitude* per la migliore risoluzione spaziale. Inoltre, anche qualora si decida di lavorare alla risoluzione dei *beam*, partire dai campioni di *amplitude* permette di stabilire la tecnica più idonea a calcolare i coefficienti di  $BS_b$  e, quindi, controllare anche le statistiche dei valori ottenuti.

Le finalità delle analisi sulla riflettività possono richiedere la sua mosaicatura, operazione che consiste nello stabilire un valore angolare di riferimento sulla base della quale 'migrare' i valori di riflettività misurati ad angoli differenti. Sebbene tale operazione di 'appiattimento' della variazione angolare di *backscatter* sia già ottenuta applicando il modello acustico, quest'ultimo non è talvolta sufficiente a impedire l'introduzione di artefatti nell'immagine mosaicata in quanto, ad esempio, l'assunzione di fondale piatta è disattesa. Allo stesso tempo, si potrebbe anche decidere di sostituire la Legge di Lambert applicata con una differente (sulla base, ad esempio, di quanto proposto in Gensane, 1989).

Più in generale si può affermare che è possibile applicare un certo numero di operazioni sui campioni di *amplitude*  $L$  variabile in funzione dello scopo finale dell'analisi che si vuole effettuare (Hammerstad, 2000).

Un passaggio comune a molte delle possibili analisi è basato sul calcolo dei valori veri dei coefficienti di *backscatter* per ogni *beam*  $BS_b$  partendo dai campioni di *amplitude*. Tale calcolo può essere schematizzato in tre fasi:

- rimozione di tutti i guadagni applicati in fase di acquisizione sulla base delle indicazioni fornite dal costruttore;
- correzione per i termini dell'equazione del sonar (perdite di trasmissione, area di insonificazione, livello della sorgente acustica, *beam patterns* in trasmissione e ricezione, pendenza locale, etc.);
- calcolo del valore da assegnare ad ogni singolo *beam* (ad esempio, una media pesata).

I primi due punti permettono di reinserire la dipendenza angolare nei campioni di *amplitude*  $L$  così come mostrato in Figura 5. Dopo l'applicazione di tali correzioni, è possibile ricavare il coefficiente di *backscatter* per *beam*., di seguito si riporta la semplice media basata sui valori misurati in decibel degli  $n$  campioni di *amplitude*  $L$  impiegata sui dati riportati nella suddetta figura:

$$BS_b = 10 \log_{10} \frac{1}{n} \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \quad [6]$$

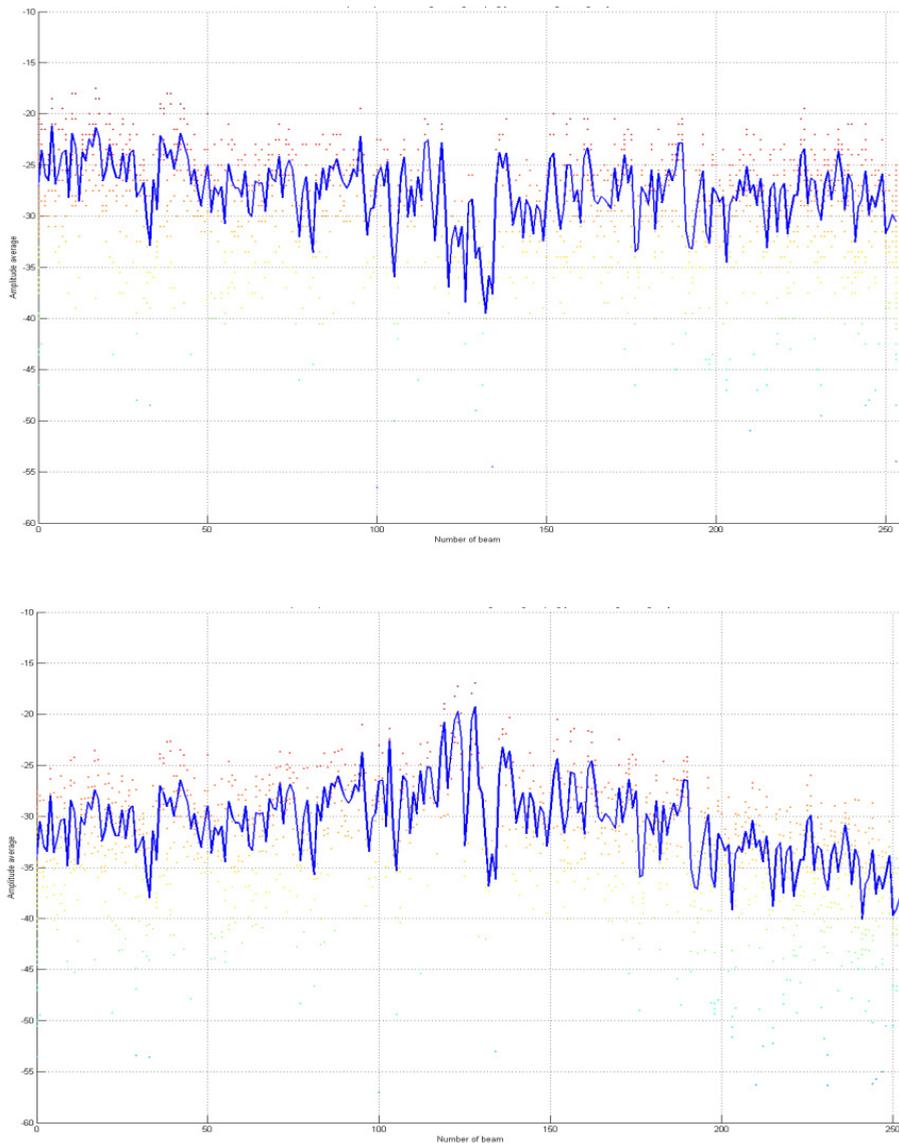


Figura 5 – In alto, valori originali dei campioni di amplitude (visualizzati come punti) con relativo valore medio per beam (linea continua blu) per un dato ping; in basso, il medesimo ping dopo il reinserimento della dipendenza angolare.

## Conclusioni

L'applicazione delle correzioni descritte ai valori di *backscatter strength* raccolti con sistemi MBES Kongsberg EM 3002 permette di ottenere dei valori di riflettività per ogni singolo *beam* intrinsecamente caratteristici del fondale marino insonificato. Tuttavia, va sottolineato come sono numerose le possibili sorgenti di errore cui è difficile far fronte anche in *post-processing* legate, ad esempio, alle locali variazioni temporali e spaziali del mezzo di propagazione (Hamilton, Beaudoin, 2010).

In funzione delle finalità delle analisi da applicare ai dati, è presente un certo margine entro cui scegliere l'adozione o meno di alcune delle correzioni geometriche e radiometriche da apportare. Una stima dell'errore introdotto da ognuna delle possibili sorgenti dello stesso può rappresentare un utile strumento di guida in tale scelta. Ciò rende, al contempo, stimabile la qualità dei prodotti ricavati dalla riflettività acustica del fondale marino.

I risultati del presente lavoro verranno impiegati dagli autori in futuri studi volti ad applicare tecniche di *image processing* ai valori di riflettività misurati.

### **Bibliografia**

- Augustin J. M., Edy C., Savoye B., Le Drezen E. (1994), "Sonar mosaic computation from multibeam echosounder", in *IEEE Oceans '94*, Brest (France), 433-438
- Hamilton T., Beaudoin J. (2010), "Modelling Uncertainty Caused by Internal Waves on the Accuracy of MBES", *International Hydrographic Review*, 2:55-65
- Fonseca L., Calder B. (2005), "Geocoder: An Efficient Backscatter Map Constructor", *Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference 2005*, San Diego (CA)
- Fonseca L., Calder B. (2007), "Clustering Acoustic Backscatter in the Angular Response Space", *Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference 2007*, Norfolk (VA)
- Gensane M. (1989), A statistical study of acoustic signals backscattered from the sea bottom, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 14(1): 84-93
- Hammerstad E. (2000), *Backscattering and seabed image reflectivity*, EM Technical Note
- Hughes Clarke J. E. (1994), "Towards remote seafloor classification using the angular response of acoustic backscatter: a case study from multiple overlapping GLORIA data", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 19(1):112-127
- Kongsberg (2004), *EM3002 Multibeam Sonar Operators Manual*, Horten (Norway)
- Kongsberg (2010), *EM series multibeam echo sounders. Datagram formats*. Horten (Norway)
- Lurton X. (2010), *An Introduction to Underwater Acoustics. Principles and Applications, 2nd ed.*, Springer-Praxis, Chichester (UK)
- Lurton X., Dugelay S., Augustin J. M. (1994), "Analysis of Multibeam Echo-Sounder Signals from the Deep Seafloor", in *OCEANS '94*, Brest (France), 3:213-218
- Masetti G., Sacile R., Trucco A. (2010), "Caratterizzazione remota del fondale marino tramite analisi e mosaicazione del backscatter", *Atti 14a Conferenza Nazionale ASITA – Brescia 9-12 novembre 2010*, 1275-1280
- Masetti G., Sacile R., Trucco A. (2011), "Remote characterization of seafloor adjacent to shipwrecks using mosaicking and analysis of backscatter response", *Italian Journal of Remote Sensing*, 43(2):77-92
- Pace N.G., Gao H. (1988), "Swathe seabed classification", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 13(2):83-90