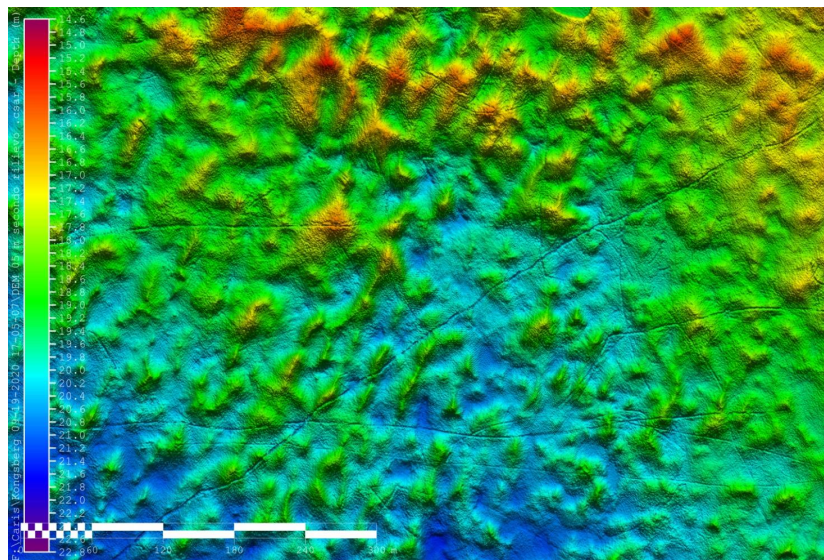


PROTOCOLLI DI ACQUISIZIONE E CONTROLLO DELLA QUALITÀ
DI DATI MULTIBEAM E SIDE SCAN SONAR
NELL'AMBITO DEI PROGRAMMI DI MONITORAGGIO
STRATEGIA MARINA
2021-2026



AUTORI: ALESSANDRO BOSMAN (CNR IGAG), ALFREDO PAZZINI; LORENZO ROSSI, SANTE FRANCESCO RENDE, ALDO ANNUNZIATELLIS, MICHELA GIUSTI, MARINA PULCINI, MARINA PENNA (ISPRA)

ATTIVITÀ CONDOTTA IN COLLABORAZIONE CON IL CNR-IGAG NELL'AMBITO DELL'ACCORDO OPERATIVO CON MATTM DEL 28 DICEMBRE 2018 PER L'ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2008/56/CE

Sommario

Introduzione	3
I rilievi bati-morfologici ad alta risoluzione per l'adempimento degli obiettivi della Direttiva Strategia Marina.....	4
Progettazione di un rilievo batimetrico Multibeam ad alta risoluzione	4
Analisi delle velocità del suono (SVP).....	7
Esecuzione delle linee di calibrazione (patch test)	10
Sistemi di posizionamento dei natanti	13
Riferimenti delle quote (correzioni mareografiche)	17
Determinazione degli offset strumentali e tipologie d'installazione	18
Analisi e verifica della qualità dei dati Multibeam	19
Analisi e controllo delle attività di campagna	22
Esempio di qualità del dato morfo-batimetrico ad alta risoluzione di buona qualità per la caratterizzazione degli habitat marini.....	23
Esempio di dati morfo-batimetrici di bassa qualità non utilizzabili per la mappatura degli habitat sommersi.....	26
Progettazione di un rilievo SSS ad alta risoluzione	30
Estensione, forma geometrica e morfologia del fondale da indagare (Pianificazione delle rotte)..	38
Analisi e verifica della qualità dei dati SSS in fase di acquisizione.....	41
Esempio di qualità del dato SSS per la mappatura degli habitat sommersi	49
Esempi di dati di bassa qualità, non utilizzabili per la mappatura degli habitat sommersi.....	51
Esempi: dati di buona qualità, utilizzabili per la mappatura degli habitat sommersi.	56
Conclusioni.....	59
Requisiti delle indagini geofisiche per i programmi di monitoraggio MSFD	61
Programma D1-05 Posidonia oceanica	61
Programma D1-06 fondi a coralligeno e D1-08 Letti Rodoliti	63
Programma di monitoraggio D6 02 Pressione della Pesca.....	67
Requisiti minimi per la definizione di un capitolato tecnico per indagini geofisiche Multibeam e SSS.....	69
Allegati	74
Pianificazione delle indagini geofisiche Multibeam	74
Controllo strumentazioni di bordo prima dell'avvio della campagna	74
Svolgimento delle indagini geofisiche in mare	76
Testi di riferimento	77

Introduzione

Lo scopo di questo documento è quello di introdurre un modello di riferimento che renda il più possibile omogenee a livello nazionale le operazioni di raccolta dei dati batimetrici Multibeam e di backscatter ad alta risoluzione nell'ambito di alcuni Programmi di monitoraggio che riguardano la Strategia Marina, al fine d'incrementare la qualità e l'accuratezza dei dati per adempiere agli obiettivi specifici richiesti dalla Direttiva Quadro Europea sulla Strategia Marina e incrementare la qualità e l'accuratezza dei dati per il raggiungimento degli obiettivi specifici richiesti dalla Direttiva.

Le indagini geofisiche tramite l'utilizzo di sistemi Multibeam ad alta risoluzione costituiscono uno strumento conoscitivo per la mappatura dei fondali marini a tutte le scale di riferimento.

Il corretto utilizzo di questo strumento conoscitivo consente la mappatura tridimensionale ad alta risoluzione dei fondali marini che permette, attraverso l'analisi e l'interpretazione dei dati, di verificarne l'evoluzione a breve/lungo termine, anche mediante rilievi ripetuti nel tempo (*time-lapse Multibeam bathymetry*). In particolare, la ricostruzione di modelli digitali di elevazione (*Digital Elevation Models* - DEMs) ad alta risoluzione, l'analisi delle riflettività dei fondali (*backscatter*) e, ove disponibile, l'analisi dei dati di riflettività della colonna d'acqua (*water column*), forniscono informazioni indispensabili per una corretta analisi ed interpretazione dei lineamenti morfologici e di riflettività associati a ciascun habitat, nonché alla individuazione e valutazione di diversi impatti sui fondali causati da attività antropiche (perturbazione fisica a causa di attrezzi da pesca che hanno interazione con i fondali, ancoraggi, sversamenti, ecc.).

Visto l'impiego di differenti natanti e navi da ricerca, allestite con sensori Multibeam a diverse frequenze e con differenti capacità risolutive, verranno fornite delle linee guida utili a standardizzare le procedure nelle diverse fasi di raccolta di dati geofisici ad alta risoluzione. Tale necessità nasce dall'esigenza di produrre cartografie tematiche ad alta risoluzione e ad elevata accuratezza, necessaria ad una corretta analisi ed interpretazione dei lineamenti morfologici presenti sui fondali marini.

Il documento, diviso in sezioni, fornisce indicazioni utili per tutto il processo di progettazione, acquisizione, controllo delle strumentazioni di bordo, esecuzione dei rilievi batimetrici Multibeam, salvataggio dei *raw data*, sino alla stesura dei rapporti di fine campagna utili alla ricostruzione di tutti i processi avvenuti durante la campagna d'indagine ed infine, all'analisi e verifica della qualità dei dati già nelle prime fasi d'acquisizione dei dati geofisici.

Si ricorda infine, come una buona interpretazione del dato geofisico dipenda dalla qualità del dato raccolto e dall'elaborazione degli stessi e che, un dato "acquisito male", è da considerarsi "perso".

I rilievi bati-morfologici ad alta risoluzione per l'adempimento degli obiettivi della Direttiva Strategia Marina

Nell'ambito delle attività di implementazione della Direttiva Strategia Marina (2008/56/CE) sono stati sviluppati piani di monitoraggio specifici relativi al Descrittore 1 (Biodiversità) e al Descrittore 6 (integrità dei fondali marini), che rispondo alle esigenze espresse nei criteri per la verifica del raggiungimento del Buono Stato Ambientale.

In particolare, per il D1 i piani di monitoraggio D01 -05, D01 -06, D01 -07, D01 -08, riguardano anche la definizione dell'estensione degli habitat bentonici quali la prateria a *Posidonia oceanica*, i fondi a coralligeno del circalitorale, i letti a rodoliti e la biocenosi dei coralli profondi. Tali piani di monitoraggio sono stati attivati al fine di poter rispondere al criterio D6C4 - Perdita dell'estensione dell'habitat.

Per ciò che attiene il Descrittore 6 (Integrità dei fondali marini) il piano di monitoraggio D6 -02 (Monitoraggio della pressione di pesca) prevede l'acquisizione di dati geofisici allo scopo di misurare e valutare i segni/tracce causati da attrezzi di pesca che interagiscono con il fondo. Tali elaborazioni hanno lo scopo di validare le analisi dei dati provenienti dai sistemi AIS (*Automatic Identification System*) e VMS (*Vessel Monitoring System*) che identificano le rotte dei pescherecci; tramite tale metodologia è possibile rispondere, come richiesto dalla Direttiva, i criteri D6C2 e D6C4 che calcolano l'effettiva superficie "perturbata" da attività antropiche ed effettuare calcoli relativi alla presenza di impatti multipli sul fondale marino.

Progettazione di un rilievo batimetrico Multibeam ad alta risoluzione

La progettazione di un rilievo batimetrico Multibeam deve comprendere l'analisi di diversi fattori generali che riguardano l'area oggetto del rilievo, l'identificazione di aree critiche in termini di analisi di velocità del suono (foci fluviali, variabilità della fisica oceanografica, ecc.) per l'acquisizione dei profili di velocità del suono (*Sound Velocity Profile - SVP*), la pianificazione delle rotte di navigazione in funzione delle profondità; l'esecuzione di linee di calibrazione all'inizio della campagna d'indagine; la stima dei tempi d'acquisizione anche in relazione all'utilizzo di eventuali ulteriori strumentazioni geofisiche secondarie, quali ad esempio il side scan sonar, telecamere a traina ecc..

Nello specifico la programmazione di un rilievo batimetrico Multibeam ad alta risoluzione deve tenere conto di numerosi fattori, quali:

1. estensione dell'area d'indagine;
2. obiettivo specifico del rilievo;
3. profondità dell'area da investigare sulla base di cartografie nautiche esistenti o di dati batimetrici MB a bassa risoluzione (<https://portal.emodnet-bathymetry.eu/>)
4. copertura della spazzata (*swath*) in base al sistema Multibeam utilizzato (ad es. spazzata = 2.7 volte la profondità del fondale per sistemi a 400 kHz, 3 volte la profondità del fondale per sistemi a 300 kHz, 3.5 volte la profondità del fondale per sistemi a 200 kHz, ma anche sistemi a doppia testa) e sovrapposizione delle spazzate adiacenti, tenendo conto della qualità del dato sulla porzione esterna della spazzata;
5. distanze e tempi necessari al trasferimento dal porto all'area d'indagine;
6. pianificazione delle rotte in funzione dell'assetto morfologico dei fondali (rotte parallele alle isobate);
7. definizione della lunghezza delle rotte per ottimizzare i tempi d'acquisizione (evitare continue accostate), preferibilmente tracce lunghe a velocità costante con sistemi a pilota automatico;
8. pianificazione delle stazioni di misura per l'esecuzione dei profili di velocità del suono sino alla profondità massima da investigare;
9. esecuzione di linee di calibrazione per il *patch test* (variabile a seconda del tipo d'installazione e profondità d'indagine);
10. analisi dei fattori meteo-marini locali (vento termico locale per il moto ondoso) per la pianificazione delle rotte di navigazione nell'area d'indagine e l'ottimizzazione della raccolta dei dati;
11. ri-pianificazione delle linee d'indagine per fattori meteo-marini locali avversi;
12. tempi di stand-by meteo (stimato a circa il 60% nei periodi invernali e di circa il 30% nei periodi estivi).

Per la progettazione delle linee di navigazione relative alle acquisizioni dei dati Multibeam, è consigliabile predisporre in via preliminare di un piano di massima delle rotte da inserire nei programmi d'acquisizione (SIS, PDS2000, ecc.) e nel rapporto di fine campagna, elaborato sulla base di cartografie nautiche esistenti (fig. 1a), con direzione parallela alle isobate, compatibilmente all'assetto morfologico dei fondali e dell'andamento della costa.

Tuttavia, la programmazione di massima dovrà tener conto in fase di esecuzione, delle condizioni meteo-marine locali (direzione del moto ondoso), andamento morfologico della costa e dei fondali per assicurare un'adeguata sicurezza alla navigazione. Sarà cura dei responsabili, in collaborazione con i comandanti dei natanti, porre le opportune modifiche in funzione delle condizioni contingenti come, ad esempio, la direzione di transito alla navigazione "obbligatoria" in ingresso e in uscita su aree ritenute critiche alla navigazione, presenza di altre imbarcazioni, pericolosità alla navigazione per presenza di bassi fondali, ecc..

Nelle progettazioni ed analisi dei tempi d'indagine, dovranno essere definite le sovrapposizioni tra le spazzate adiacenti (*overlapping*) che, ai fini delle mappature ambientali, sarebbe consigliabile tra il 25% e il 50% (Fig. 1 b), calcolato anche sulla qualità dei dati e sufficientemente buona ad interpretare i lineamenti delle morfologie e idonea a rendere comparabile il dato con rilievi successivi per attività di monitoraggio ambientale.

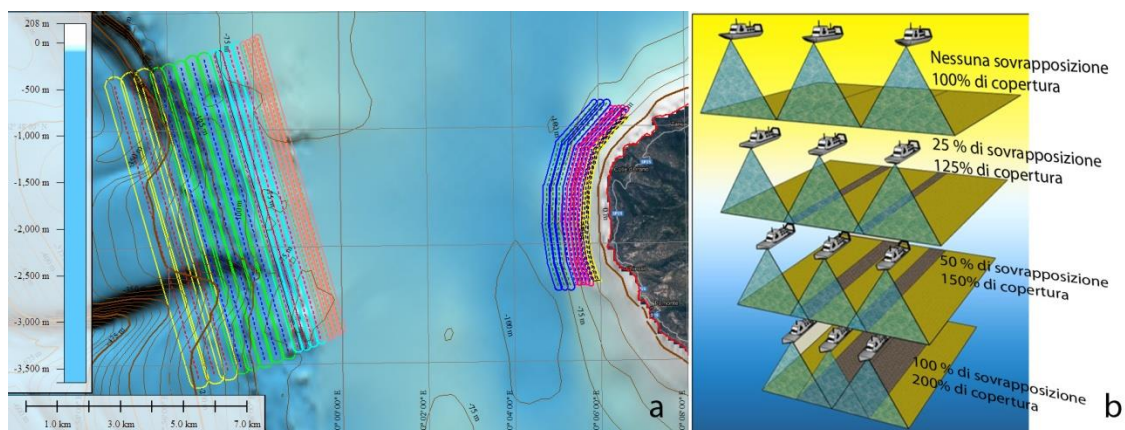


Figura 1 - a) Esempio di progettazione di linee di navigazione per l'acquisizione di dati Multibeam lungo il ciglio della piattaforma continentale Toscana in prossimità dell'Isola d'Elba. I dati batimetrici di base per il calcolo delle profondità e la progettazione delle linee sono stati reperiti dal portale EMODnet bathymetry. Si noti come le linee di progetto (rette tratteggiate), siano state predisposte circa parallelamente all'andamento delle isobate e come la copertura dei dati Multibeam (aree buffer colorate) sia progressivamente maggiore per le maggiori profondità. b) Percentuale di copertura Multibeam in funzione della sovrapposizione delle spazzate Multibeam.

Analisi delle velocità del suono

Nell'ambito dello studio di una progettazione di un rilievo Multibeam, andranno considerati il numero e la distribuzione dei profili di velocità del suono (SVP e/o CTD *Conductivity Depth Recorder*) giornalieri da eseguire in funzione delle condizioni oceanografiche locali e delle profondità del profilo, funzione delle massime profondità da investigare. Com'è noto, le acque marine presentano eterogeneità dovute alla presenza di masse d'acqua stratificate che si caratterizzano per temperature e densità differenti (Fig. 2).

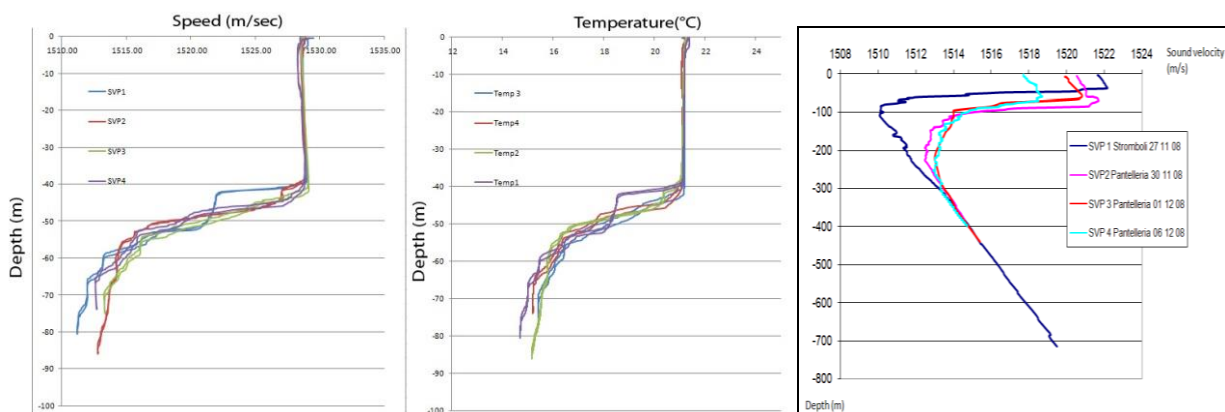


Figura 2 - Profili di velocità del suono e di temperatura raccolti nella stessa area d'indagine a differenti profondità (sinistra) e profili di velocità del suono sino a circa 700 m di profondità (destra). Risulta evidente come a profondità maggiori di circa 300 m, al di fuori dalle variabilità del termocline, i valori di velocità crescano linearmente con le profondità.

Le circolazioni termoaline superficiali e i cambiamenti atmosferici repentini possono causare variazioni nei parametri fisici e chimici e sulla forma e profondità del termocline. Ciò si traduce in una variazione della velocità del suono che può andare da pochi a diversi metri al secondo. In linea di massima le variazioni di velocità del suono sono causate dai cambiamenti della temperatura stagionali, tuttavia, possono variare anche localmente a seconda dell'assetto delle correnti alle diverse profondità e a seconda dell'andamento morfologico dei fondali.

Se non opportunamente corrette tali eterogeneità causano, sulla trasmissione delle onde acustiche, dei tempi di "ritardo" o di "incremento", generando errori sulle quote e sulle geometrie delle morfologie. Questi effetti, ben noti e visibili sui dati in fase d'acquisizione e definiti come effetti *smile* o *bow* (Fig. 3), possono verificarsi quando i punti di campionamento risultano scarsi e/o insufficienti rispetto alle complessità oceanografiche locali oppure si utilizzano sensori non tarati secondo le normative indicate dalle case costruttrici. La non corretta analisi della velocità del suono

può comportare errori in quota dell'ordine di pochi decimetri nei bassi fondali (< 10 m), dell'ordine di alcuni metri in medi fondali (< 100 m) fino a errori di decine di metri negli alti fondali (> 100 m). Tali parametri sono ovviamente indicativi ma tengono conto di errori comuni legati, ad esempio, ad un basso numero di profili di velocità eseguiti per risparmiare tempo, alla lunghezza del profilo (spesso non esteso alle profondità massima del rilievo) e/o al trasferimento in un'altra area d'indagine con condizioni di temperatura e salinità differenti. Infatti, molti errori riscontrati sui DEMs sono associati ad una non idonea analisi delle velocità del suono, analisi spesso trascurata per negligenza o per ridurre i tempi del rilievo o per un'errata taratura del sensore (SVP- CTD) utilizzato.

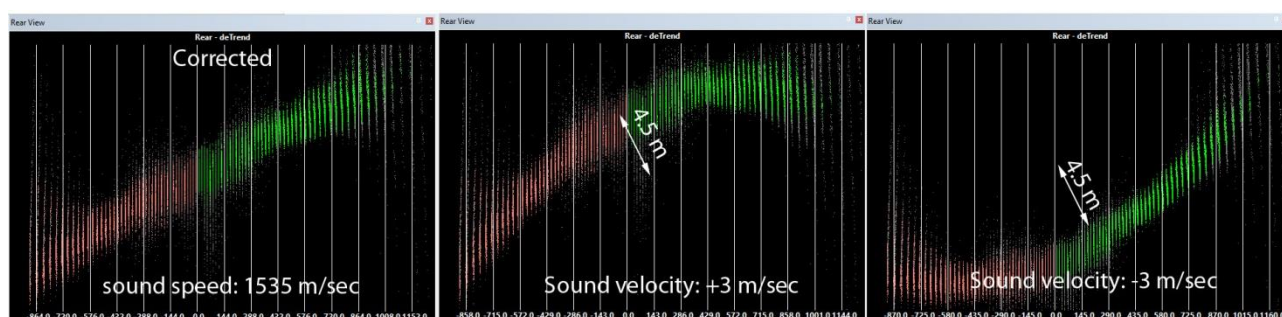


Figura 3 - Influenza delle variazioni di velocità del suono lungo la colonna d'acqua su una spazzata Multibeam. Effetto *bow* causato da un incremento delle velocità del suono di circa 3 m/sec, ed effetto *smile* causato da una diminuzione delle velocità del suono di circa 3 m/sec.

Le misure ottenute dai profili di velocità del suono costituiscono, quindi, un elemento essenziale per il corretto ri-tracciamento (*ray-tracing*) dei segnali acustici dal fondale lungo la colonna d'acqua. Per comprendere l'importanza degli effetti delle velocità del suono sulle corrette geometrie dei lineamenti morfologici presenti sui fondali, basti pensare che non è possibile realizzare la calibrazione dei trasduttori Multibeam (*patch test*) a causa di un non corretto matching delle strisciate multibeam. È, tuttavia, possibile verificare se i dati delle velocità del suono utilizzati siano corretti, eseguendo un test che prevede l'esecuzione di due linee di navigazione ortogonali condotte su un fondale piatto. Se i soundings nell'area d'incrocio delle due strisciate, risultano coerenti significa che le velocità impiegate risultano corrette, se invece i sondings si discostano in quota gli uni dagli altri, significa che le velocità utilizzate sono errate. L'analisi, viene condotta generalmente nelle fasi del *patch test* (Par. 3), dove una geometria ben definita di linee di navigazione, precedute da un profilo della velocità del suono, consentirà di verificare se i parametri di velocità sono sufficientemente idonei, sia per la sonda di velocità in testa al multibeam e sia lungo il profilo verticale. Più in dettaglio, se le sezioni batimetriche eseguite sui soundings lungo le

tracce di navigazione non evidenziano scostamenti in quota, significa che le velocità del suono utilizzate sono idonee, al contrario, se dovessero osservarsi delle variazioni (generalmente una semina di soundings rettilinea e l'altra incurvata verso il basso o verso l'alto), sarà necessario eseguire un nuovo profilo di velocità del suono a meno di una staratura delle sonde di velocità (in testa e lungo la verticale) o della limitata profondità del profilo di velocità.

Per eseguire un'analisi speditiva delle variabilità superficiali delle temperature dell'acqua sull'area da investigare è possibile accedere ai modelli presenti sulle piattaforme online (Fig. 4) (p.e. <http://www.sea-conditions.com>), o accedere alle banche dati messe a disposizione da Enti ed Istituti di ricerca. Tali analisi, consentiranno di comprendere l'assetto oceanografico di superficie del sito d'indagine e di definire la localizzazione ed il numero delle stazioni di misura con previsioni alle 12-24 h. Queste analisi permetteranno, inoltre, di stimare le variazioni delle masse d'acqua superficiali con cadenza di poche ore.

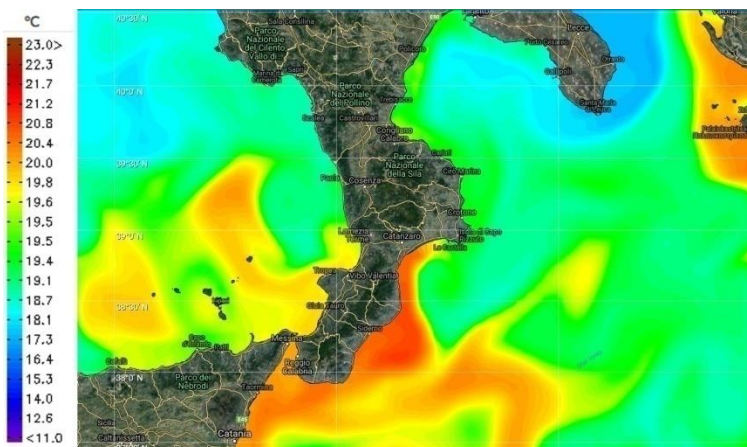


Figura 4- Mappa della distribuzione delle temperature superficiali dell'acqua con previsioni a 3 h di distanza, ottenute da modelli numerici (<http://www.sea-conditions.com/>), utili alla progettazione delle stazioni di misura per l'esecuzione dei profili di velocità del suono lungo la colonna d'acqua.

La procedura prevede una pianificazione della distribuzione delle stazioni di misura SVP-CTD che dovranno essere rappresentative dell'intero areale indagato anche in funzione delle profondità. Ad esempio, nel caso di un'area marina interessata dalla presenza di una secca, la colonna d'acqua dovrà essere caratterizzata, dal punto di vista della velocità del suono, per tutta la sua altezza, pertanto, i profili di velocità dovranno essere condotti non sul cappello, ubicato alla minima profondità, ma alla base ove si raggiunge la massima profondità d'indagine.

Poiché ogni sito d'indagine è caratterizzato sia da un assetto morfologico che da una variabilità oceanografica locale differenti. Sarà cura del capomissione o dei tecnici di bordo verificare la qualità dei dati in tempo reale attraverso un rigoroso controllo dei risultati dei parametri di calibrazione ottenuti del *patch test* (par. 3).

Per rilievi batimetrici ubicati a profondità superiori ai 300 m (Fig. 2) si consiglia di eseguire almeno un profilo di velocità che superi tali valori per “uscire” dalla fascia batimetrica condizionata dalle variabilità del/i termoclino/i e caratterizzare l’andamento della pendenza del profilo sino ai 400 m. Per profondità superiori, le pendenze della curva di velocità si manterranno circa costanti per l’incremento lineare della pressione. Ciò consentirà di analizzare il profilo ed estenderlo sino alle massime profondità previste nel rilievo (Fig. 2). Per profondità inferiori sarà obbligatorio eseguire i profili di velocità alle massime profondità del rilievo.

Esecuzione delle linee di calibrazione (patch test)

Tra le procedure da espletare prima dell’inizio delle attività geofisiche Multibeam vi è l'esecuzione delle linee di calibrazione *in situ* definite come *patch test* (Fig. 5), da ripetersi, se necessario, al termine dello stesso, o quando si abbia il sospetto di cambiamenti sull'assetto delle strumentazioni di bordo. Tale operazione è necessaria per verificare e correggere il corretto allineamento angolare dei trasduttori Multibeam e, nel caso di utilizzo di un sensore, per il calcolo dell'*heading* (*gyro*) e dell'angolo di orientamento (*yaw*). Il *patch test* è molto importante quando si opera con sistemi Multibeam installati a chiglia per la prima volta su navi, o montati con palo su imbarcazioni di piccolo cabotaggio e, in particolar modo, quando vengono montati e smontati (p.e.. rotazione a murata del palo) per le operazioni di trasferimento sui siti d’indagine. Il fissaggio e la messa in opera dei trasduttori può causare variazioni anche di pochi decimi di grado, determinando errori di allineamento sui dati lungo le tre componenti spaziali. Per installazioni a palo su piccole imbarcazioni (Fig. 5) viene, quindi, suggerito di verificare giornalmente i suddetti parametri con ulteriori linee di calibrazione per evitare che l’intero rilievo possa essere affetto da errori. Spesso su installazioni non permanenti a palo posso essere utilizzate per fermare il palo e i trasduttori delle fasce a cricchetto. Il loro utilizzo è molto rapido e funzionale, tuttavia, le fasce se tirate a secco potranno cedere di alcuni centimetri quando verranno messe in acqua e dovranno essere tensionate nuovamente, causando una rotazione degli assi di dei trasduttori sulle componenti di roll, pitch e yaw. Nei bassi fondali gli errori causati da una errata calibrazione sono nell'ordine di decine di decimetri ma, per profondità maggiori, si possono avere errori nell’ordine di diversi metri.

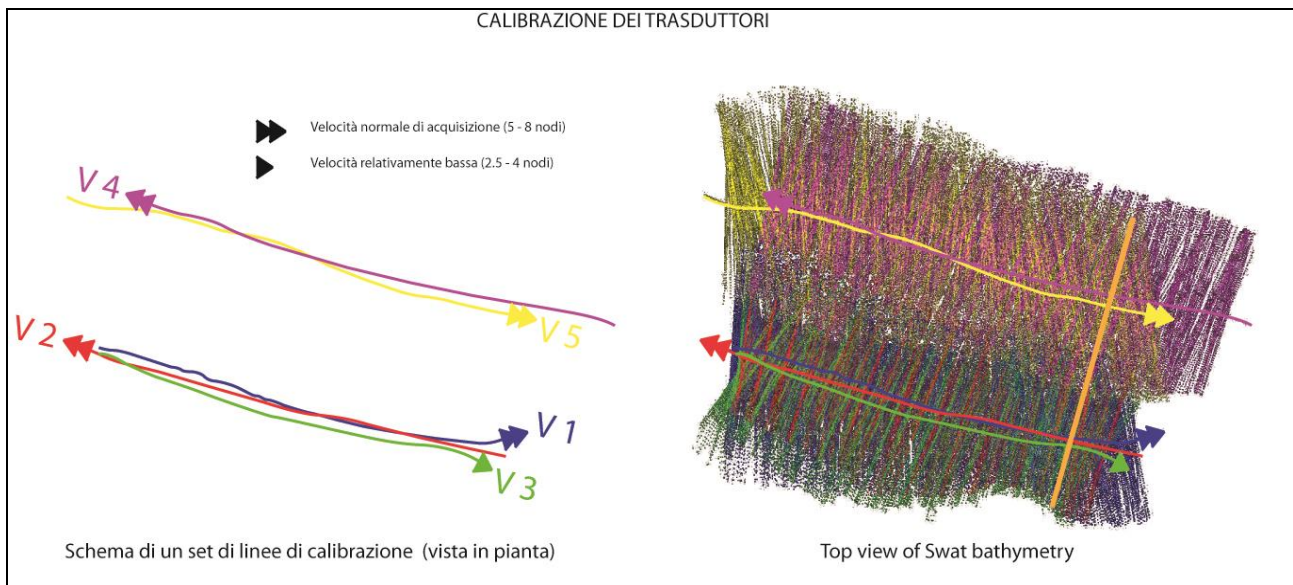


Figura 5 - Linee di calibrazione condotte senza pilota automatico da imbarcazione di piccolo cabotaggio. Il set di linee è stato condotto a velocità variabili anche per la determinazione del time delay causato dalla trasmissione dalla correzione differenziale in modalità RTK.

In figura 6 è illustrato il processo di calibrazione prima e successivamente al *patch test* dei trasduttori multibeam. Risulta evidente come l'assenza dei parametri di calibrazione, o di una non corretta valutazione degli stessi, possa determinare errori significativi sulle quote, sul posizionamento e sulle geometrie dei lineamenti morfologici. È da ricordare, inoltre, che per i sistemi a doppia testa (p.e. EM 3002 D od omologhi EM 2040 C o T50 - P x 2) le linee di calibrazione dovranno essere raddoppiate in una configurazione *ad hoc* poiché i trasduttori risultano doppi e ruotati di circa 20-30°. Le stesse procedure dovranno essere condotte, anche quando si utilizza la testa dei trasduttori ruotati con un'inclinazione dei trasduttori a 30°, anche se con linee di navigazione configurate in modalità differenti.

Nel controllo dei parametri di calibrazione si dovrà tenere conto anche della tipologia di correzione differenziale utilizzata, che, se condotta in modalità RTK (*Real Time Kinematic*) in diverse modalità (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*- NTRIP; RADIO o altro), dovrà contemplare anche la verifica del ritardo temporale (*time delay*), con un'apposita procedura che prevede di percorrere due linee coincidenti a velocità doppia (Fig. 5), nella stessa direzione, ma costante (ad es. 3 kn – 6 kn). Come precedentemente indicato, nel caso d'impiego di sensore giroscopico per l'orientamento del natante, la calibrazione dello *yaw* (*heading*), dovrà essere ripetuta ogni qualvolta si spenga e riaccenda il sensore (*gyro*). Ciò è reso necessario a causa del riallineamento dei sensori giroscopici su angoli differenti.

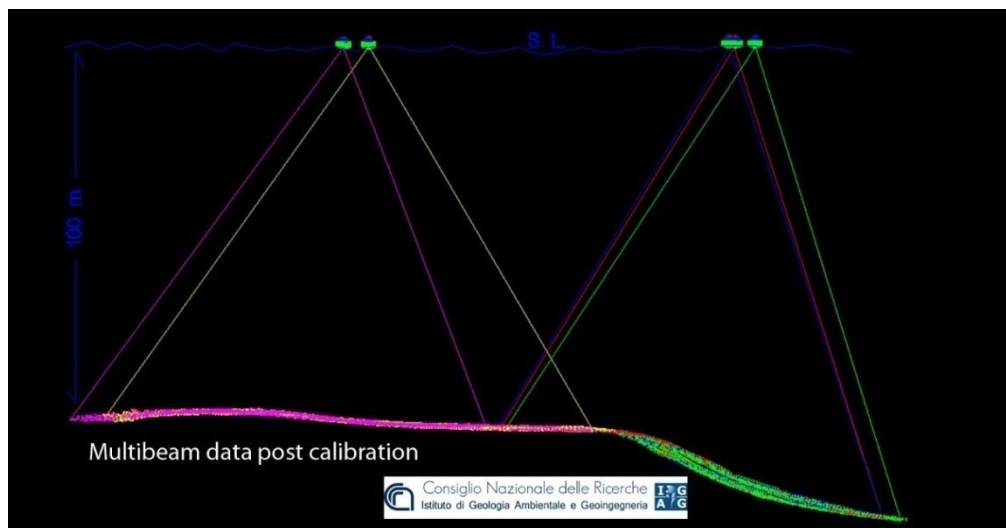
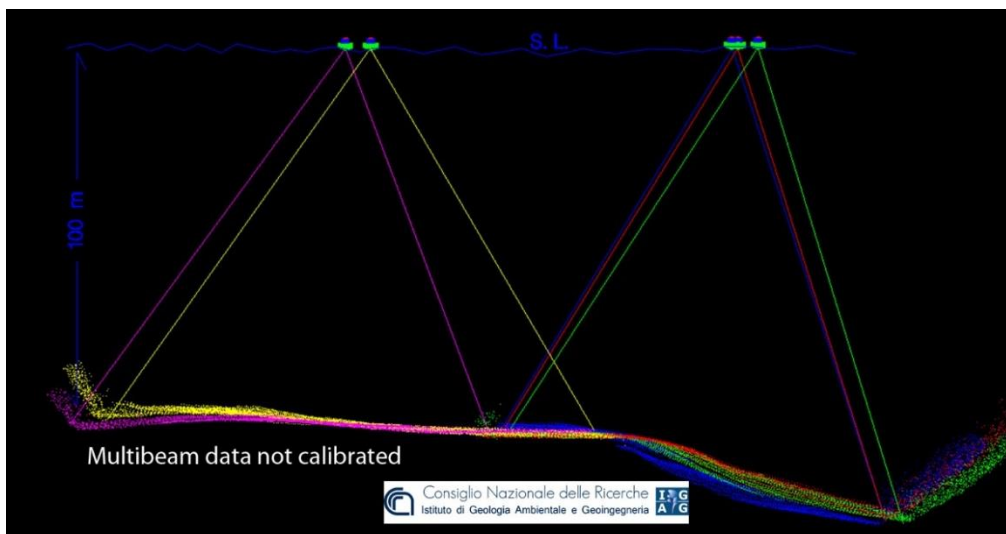
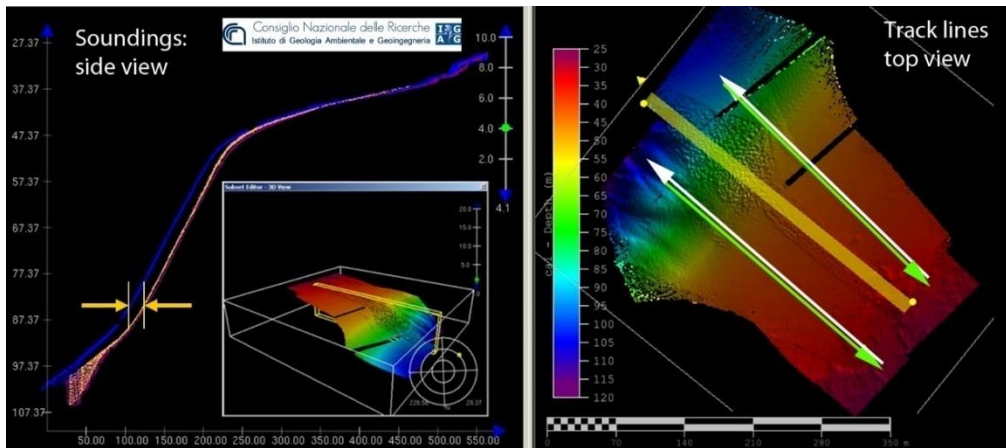


Figura 6 - Esempio di calibrazione di un sistema Reson Teledyne 7125 montato a palo prima e dopo l'avvenuta calibrazione dei trasduttori. È da notare come l'assenza dei parametri o di una non corretta valutazione degli stessi possa determinare degli errori significativi sulle quote e sul posizionamento (ubicazione) delle morfologie dei fondali. I *soundings* allineati dopo la calibrazione mostreranno una distribuzione omogenea ridondante che potrà essere valutata in termini di confidenza mediante parametri statistici.

Le modalità di rilievo per le calibrazioni prevedono l'individuazione di una scarpata, di un canyon o di un rilievo morfologico per la determinazione dei parametri angolari di *pitch*, *yaw* e *time delay* e di un fondale piatto per la determinazione dei parametri di *roll* e controllo delle velocità del suono.

Al fine ultimo di ottenere una corretta determinazione degli *offset* angolari si consiglia di eseguire le linee di calibrazioni a profondità ottimali rispetto alla frequenza utilizzata dal sensore (p. e. 50 m per il 400 kHz). Per le procedure ordinarie di calibrazione si può utilizzare qualsiasi manuale di riferimento fornito dalle case costruttrici.

Sistemi di posizionamento dei natanti

L'accuratezza sul posizionamento di un sistema Multibeam può considerarsi analoga a quella di un sensore laser scanner per utilizzo topografico in ambiente subaereo. La mancanza di un'adeguata accuratezza sul posizionamento di un sistema di misura topografica in condizioni cinematiche produrrà un disaccoppiamento delle misure (profondità e geometrie) registrate dalle singole strisciate (*strips*), determinando una replica della posizione delle morfologie (x,y,z) in punti differenti dello spazio.

Il calcolo delle misure delle posizioni nel tempo (epoche) rappresenta, quindi, un elemento di primaria importanza per la determinazione di una corretta geo-localizzazione delle profondità e dei lineamenti morfologici ad esse correlate. In particolare, quando si opera nei bassi fondali (rilievi costieri), ove si ottengono risoluzioni maggiori, sia in termini di *footprint size* (ampiezza dell'area del fondale insonificata da un angolo caratteristico del multibeam, ad esempio 0.5°x 0.7°) che di densità di distribuzione dei punti quotati per attività di monitoraggio, quindi, per rilievi che vengono ripetuti nel tempo, è necessario adottare sistemi di correzione differenziale (Differential Global Navigation Satellite System - DGNSS) idonei, con accuratezze crescenti per fasce di profondità. In termini più generali, maggiore risoluzione, richiede maggiore accuratezza nel posizionamento.

Ad esempio, per la mappatura di lineamenti morfologici quali *Posidonia oceanica*, per la verifica di impatti antropici sui fondali, ecc., la possibilità di disporre di un sistema differenziale adeguato consentirà di verificare eventuali variazioni morfologiche occorse nel tempo (erosione della prateria, incremento degli impatti, ecc.). In condizioni di posizionamento non ottimale (accuratezza metrica), invece, le attività di monitoraggio condotte tramite rilievi ripetuti nel tempo restituiranno lineamenti morfologici posizionati nello spazio in punti differenti e pertanto non adeguati ad attività di verifiche multi-temporali (*time-lapse bathymetry*).

Sulle tecniche di posizionamento DGNSS, sull'analisi della valutazione dell'accuratezza e precisione dei dati, sull'analisi degli errori delle misure e sulle differenti metodologie di post-elaborazione dei segnali DGNSS, esistono numerosi lavori scientifici e trattati che, però, esulano dalle tematiche del presente documento che, invece, vuole trasmettere una conoscenza di base utile alla valutazione dell'accuratezza sul sistema di posizionamento necessario alla buona riuscita di un rilievo batimetrico Multibeam ad alta risoluzione nel suo insieme.

In generale, possiamo affermare che un sensore Multibeam ad alta frequenza (400 kHz), preciso nella determinazione di un target, sarà poco accurato se affiancato ad un sistema di posizionamento differenziale a bassa accuratezza (European Geostationary Navigation Overlay Service - EGNOS), viceversa, sarà preciso ed accurato se corredato da un sistema di posizionamento adeguato di tipo centimetrico (RTK).

Uno schema semplificato per la valutazione dell'accuratezza e precisione di un sensore di misura è sintetizzato nella figura 7.

Uno strumento di misura ad alta frequenza (400 kHz) può definirsi preciso ed accurato (Fig. 7a) se è in grado di restituire una serie di misure vicine al valore vero e, ripetendo le misure (p.e. attività di monitoraggio), i risultati non differiranno molto tra loro (posizionamento ottenuto da correzioni differenziali di fase con sistemi RTK o PPK).

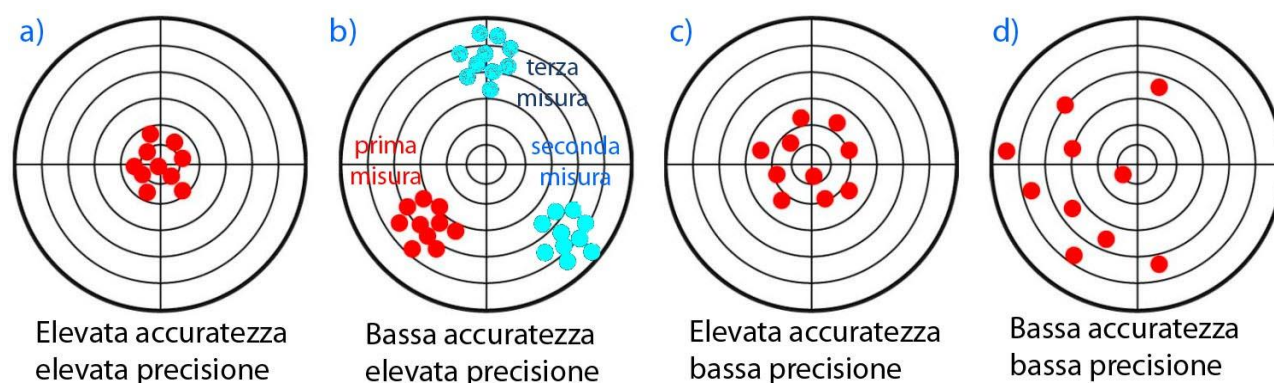


Figura 7 - Esempio di valutazione di misure ripetute da uno strumento di misura in differenti condizioni di precisione ed accuratezza. a) Le misure risultano accurate e precise, b) le misure risultano precise ma non accurate (caso del Multibeam con scarsa accuratezza nel posizionamento GNSS), c) le misure risultano accurate ma non precise, d) le misure non risultano né precise né accurate.

Un caso frequente ottenuto da misure condotte mediante sistema Multibeam è illustrato in Fig. 7b, ove un trasduttore ad alta frequenza (400 kHz), risulta preciso ma poco accurato a causa del posizionamento non sufficientemente adeguato (ad esempio EGNOS < 3 m o inferiori). In quest'ultima condizione le misure registrate dal sensore sono vicine tra loro ma, se ripetute in tempi differenti, risulteranno ubicate in luoghi dello spazio diversi che differiscono dal valore vero

(Fig. 7b). Questa condizione potrà essere tuttavia migliorata utilizzando un posizionamento più accurato (caso a).

Un trasduttore a bassa frequenza (50-12 kHz) risulta generalmente accurato ma non preciso (Fig. 7c), in quanto impiegato per rilevamenti in acque profonde (> 1.500 m). In questo caso un sistema di posizionamento ad elevata accuratezza non incrementerebbe una maggiore precisione nelle misure.

Le condizioni più sfavorevoli possono verificarsi nell'ultima condizione illustrata in Fig. 7d: bassa accuratezza e precisione, ovvero, sistemi interferometrici puri o Multibeam di prima generazione che forniranno misure poco accurate e l'aggiunta di sistema di posizionamento differenziale accurato non porterebbe alcun beneficio.

Ad oggi, sul mercato sono reperibili numerose tipologie di correzioni differenziali dedicate al posizionamento in cinematico dei natanti, risultando in gran parte idonei ai fini di un'adeguata localizzazione dei rilievi batimetrici Multibeam. In generale, le tecniche di posizionamento in mare possono essere classificate secondo uno schema semplificato in:

- a) bassa accuratezza, con assenza di correzioni differenziali che possono portare ad accuratezze dell'ordine di ± 10 m;
- b) scarsa accuratezza, con correzioni differenziali (p.e. EGNOS) che possono portare ad accuratezze, in condizioni ottimali, di circa ± 2 m (quando disponibile < 3 m);
- c) media accuratezza, con sistemi differenziali definiti HP (*High Precision*) che possono incrementare il posizionamento a circa 0.5 m (es. Fugro Seastar, Ominstar, Atlas, ecc.);
- d) elevata accuratezza, con correzione differenziali di fase su frequenze multiple nella banda L da basi fisse a terra (RTK), da reti permanenti (HxGN SmartNet - ITALPOS, RING, Leica, Trimble, Topcon, EUREF, ecc), da reti regionali o da basi locali installate in prossimità del sito, mediante trasmissione NTRIP o via radio sulle varie costellazioni (GPS, GLOANSS, Galileo, BeiDou e QZSS);
- e) elevatissima accuratezza (Post Processed Kinematic - PPK), correzioni differenziale di fase in doppia frequenza dei segnali (L1, L2, L5, E1, E5, B1, B2) mediante tecniche di post-processing dei segnali ricevuti dalle diverse costellazioni (GPS, Glonass, Galileo e BeiDou), nelle quali vengono corrette la componente ionosferica (L1+L2), le effemeridi precise, gli effetti di troposfera, il cut-off (20°), il multipath, la geometria dei satelliti, l'esclusione selettiva di costellazioni e/o dei singoli satelliti (rapporto segnale/rumore), ecc..

La suddivisione sopra esposta ha come scopo quello di illustrare le diverse tipologie di correzioni differenziali utilizzate in ambiente marino con crescente accuratezza nella stima delle posizioni, quest'ultimo, requisito indispensabile per le attività di monitoraggio ambientale.

Viene fatto presente che, le specifiche relative all'accuratezza e alla precisione di tutte le apparecchiature scientifiche sono da considerarsi in "condizioni ottimali", generalmente controllate e che difficilmente si riscontrano in condizioni di reale operatività.

Al fine di analizzare l'accuratezza dei segnali differenziali ricevuti (codice o fase), è possibile eseguire una verifica sulla stima delle posizioni dell'antenna GNSS dai software d'acquisizione mediante uno scatter plot (Fig. 8). L'operazione, da svolgersi in condizioni preferibilmente statiche o in banchina per la durata di alcune ore, consentirà di avere una stima dell'accuratezza del posizionamento "trasportato" sul dato batimetrico. Un esempio di controllo sulla qualità delle misure registrate da un ricevitore GNSS impiegato per i rilievi batimetrici è illustrato in figura 8 ove vengono messe a confronto due sessioni registrate da segnali GNSS con correzione differenziale EGNOS con accuratezza metrica (Fig. 8 a) e in modalità RTK con accuratezza centimetrica (Fig. 8 b).

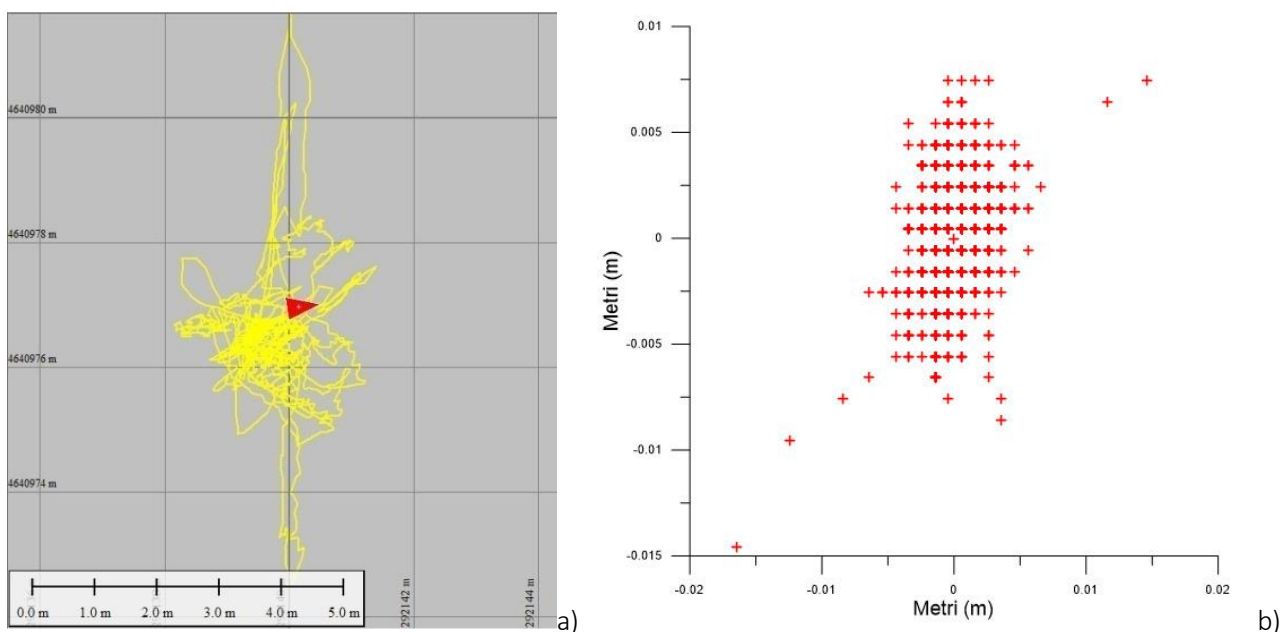


Figura 8 - Confronto di scatter plot ottenuti da un ricevitore in statico di circa 1 ora con correzione differenziale EGNOS (± 3 m di accuratezza), non compatibile per rilievi batimetrici costieri. b) Stima dell'accuratezza fornita dall'analisi di circa 3600 epoche in condizioni statiche, ottenuta mediante ricevitore in modalità RTK (L1+L2) con base ubicata a 5 km di distanza (costellazioni GPS e Glonass). Il grafico b è ottenuto come differenza tra il valore mediano e il valore misurato sulle componenti Est e Nord.

Riferimenti delle quote (correzioni mareografiche)

Nell'ambito delle attività richieste per un rilievo geofisico Multibeam ad alta risoluzione, vi è l'impiego delle correzioni mareografiche (Fig. 9). Nonostante il Mediterraneo sia caratterizzato da un ambiente micro-tidale, le variazioni relative del livello del mare cambiano in funzione dei cicli lunari e delle variazioni barometriche locali. Quando tali effetti si combinano in fase, le variazioni possono raggiungere anche valori superiori al metro (Nord Adriatico). Queste variazioni, anche se di debole entità, possono inficiare l'accuratezza dei valori registrati, determinando significativi sfasamenti sulle quote nelle aree di sovrapposizione delle "spazzate" eseguite durante lo stesso rilievo. Inoltre, l'errore si traduce in un disallineamento delle quote altimetriche sull'intero rilievo e non permetterà un accurato confronto batimetrico ripetuto nel tempo (monitoraggio) e la corretta valutazione dei cambiamenti occorsi (cartografie dei residui/differenze batimetriche).

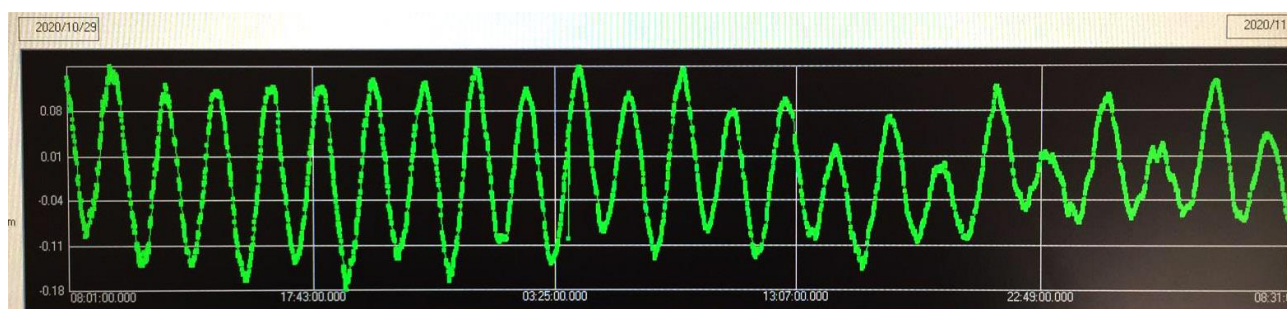


Figura 9 - Andamento mareografico di una sessione di registrazione relativa alle correzioni applicate su dati Multibeam nell'ambito dell'emergenza DPC CSS nel golfo di Follonica. L'ampiezza massima della differenza in quota risulta essere di 35 cm.

Le correzioni mareografiche sono particolarmente importanti nei rilievi costieri, dove il *footprint size* è molto stretto, la densità dei *soundings* è molto elevata e la risoluzione spaziale dei DEMs può essere portata sino a pochi centimetri.

La possibilità di riferire in quota i dati ad uno stesso Datum consentirà, inoltre, di allineare correttamente più rilievi raccolti nel tempo in parziale sovrapposizione, evitando "scalini" tra un data-set e quelli adiacenti raccolti nei giorni, mesi ed anni successivi.

È, quindi, auspicabile l'impiego delle serie temporali registrate da stazioni afferenti alla Rete Mareografica Nazionale con cadenze di registrazione da 2 a 10 minuti, reperibili dal portale tsunami.isprambiente.it, ove è possibile ottenere dati con registrazione a pochi minuti di distanza. Poiché i dati mareografici sono strettamente legati al fattore temporale, è necessario sincronizzare e tarare gli orologi dei sistemi d'acquisizione e/o di gestione dei sensori nello stesso orario UTC

(Universal Time Coordinated) senza ora legale. L'operazione si rende necessaria poiché gli orari convenzionali delle reti permanenti sono riferite in *UTC time*. La mancanza di una sincronizzazione comporterà uno sfasamento temporale della curva mareografica di una o due ore, causando errori significativi sull'allineamento delle "spazzate" e delle quote dell'intero rilievo. Nel caso in cui l'area d'indagine fosse sguarnita di stazioni mareografiche della rete mareografica, o che la stazione prossima al sito sia ferma per cause tecniche, è fortemente consigliato installare una stazione mareografica nell'area portuale prossima all'area d'indagine in grado di registrare le variazioni altimetriche con cadenze di 1-2 minuti, durante la conduzione del rilievo. In caso si disponesse di correzioni di fase RTK o ancor meglio con tecnica di post elaborazione in PPK sarà possibile estrapolare l'andamento mareografico dal dato GNSS dopo le opportune correzioni.

Allo stato attuale la rete mareografica Nazionale fornita dall'ISPRA, così come le reti gestite dalle autorità Regionali locali e/o dei consorzi (AIPO, Venezia, Istituto Idrografico regionale RL), forniscono un prezioso servizio gratuito alla comunità scientifico-tecnica, utile anche alla determinazione delle variazioni altimetriche causate dagli effetti dei maremoti e dagli effetti di innalzamento relativo del livello del mare.

Determinazione degli offset strumentali e tipologie d'installazione

Analisi propedeutiche alla buona riuscita di un rilievo Multibeam ad alta risoluzione, riguardano anche la corretta determinazione degli *offset* strumentali. È infatti noto come l'interfacciamento di tutte le apparecchiature (centri acustici del MB, centro fase dell'antenna GNSS primaria, *reference point* del sensore inerziale, etc.) che concorrono nella determinazione spaziale delle quote altimetriche, siano essenziali per le computazioni (angoli e distanze) eseguite dai software nelle correzioni dei movimenti del natante lungo le tre componenti spaziali x,y,z.

I software commerciali impiegati per l'interfacciamento della sensoristica di bordo e l'acquisizione dei dati Multibeam, necessitano di un'accurata determinazione delle distanze dei centri di riferimento ed angoli di orientazione di tutti i sistemi che concorrono nel calcolo delle misure. Queste misurazioni sono essenziali per gestire e calcolare in tempo reale le correzioni dei movimenti del natante durante la navigazione (angoli e distanze). Tipicamente queste operazioni, condotte nel *dimensional survey*, vengono eseguite da società di servizio per rilievi di topografia o geomatica. Le misure eseguite in bacino di carenaggio o cantieri, mediante stazioni totali o laser scanner, consentono di creare una rete di distanze locali con accuratezza millimetrica. Tali attività

sono richieste per installazioni con sistemi fissi su natanti (a *blister*), ma sono necessarie anche su imbarcazioni di piccolo cabotaggio dedicate ai rilievi costieri con sistema di posizionamento RTK o PPK.

Per installazioni ove le distanze tra i sensori sono molto ridotte, poiché alloggiati a pochi decimetri ed in verticale (Antenna GNSS, RMU/IMU e trasduttori), potranno essere impiegati semplici sistemi distanziometrici laser, in grado di fornire accuratezza sub centimetrica. Si sconsiglia l'impiego di fettucce metriche se non opportunamente tarate con distanziometri laser, poiché risultano facilmente deformabili per escursioni termiche, causando errori grossolani che andranno ad inficiare la qualità del dato.

Al fine di verificare la corretta determinazione degli *offset* ed il loro inserimento nei software di acquisizione e/o di gestione della sensoristica di bordo, sarà obbligatorio eseguire dei test di verifica in acqua subito dopo l'installazione e prima dell'esecuzione delle indagini. Sarà inoltre necessario fare particolare attenzione ai segni (\pm) e direzione degli assi x, y z, di riferimento degli *offset* nei programmi di gestione dei dati differenti a seconda del software utilizzato.

Analisi e verifica della qualità dei dati Multibeam

L'analisi complessiva di tutti gli accorgimenti presi durante le fasi d'installazione e acquisizione, rappresentano una complessa catena di processi che darà origine ai modelli di elevazione del fondo del mare (DEM).

Il modello digitale della superficie costituisce, quindi, il prodotto finale su cui si analizzano, studiano ed interpretano tutti quei processi fisici, chimici e biologici che interagiscono sul fondo marino. Si comprende, come il DEM restituito ad alta risoluzione, assuma grande rilevanza ai fini di una corretta analisi delle morfologie ivi presenti. È, inoltre, auspicabile che i DEMs siano letti ed interpretati con l'integrazione di ulteriori informazioni geofisiche (p.e. dati di riflettività del fondale: *backscatter*, dati relativi alla colonna d'acqua: Water Column Data, WCD) ed integrati con i dati raccolti da osservazioni dirette (*ground-truth data*; p.e.: dati video e/o fotografici), al fine di validare gli studi e le interpretazioni dei processi fisici, chimici e biologici che vi interagiscono.

L'analisi e la verifica dei dati Multibeam in termini di risoluzione e di accuratezza, costituisce, quindi, un passaggio fondamentale per la validazione che sarà di supporto a molte altre attività di analisi e studio.

Il sistema rapido ed efficace per la valutazione di un modello di elevazione del fondo marino è la generazione di un DEM alla massima risoluzione possibile, ovvero all'incirca uguale alla distribuzione spaziale dei *soundings*. L'analisi deve essere condotta inizialmente su una singola strisciata Multibeam per verificare eventuali errori causati da una errata o mancata compensazione dei parametri dei sensori inerziali (*heave, pitch, roll e yaw*).

L'analisi sulla singola strisciata Multibeam consente inoltre di verificare anche la qualità del dato registrato sensore dallo strumento utilizzato per le indagini, come, ad esempio, il passaggio dalla determinazione da fase ad ampiezza, così come la presenza di eventuali errori sistematici causati da riflessioni multiple della chiglia, rumore diffuso sulle parti esterne dello *swath*, ecc..

Sempre in questa fase di analisi sarà opportuno verificare i parametri di settaggio delle frequenze e delle lunghezze dell'impulso utilizzati, al fine di ottimizzare la qualità del dato.

Nel caso in cui si registrassero delle anomalie (operazione da condurre, nelle prime fasi di acquisizione direttamente a bordo) sarà necessario rivedere tutti gli accorgimenti d'installazione degli hardware e software d'acquisizione al fine di poter eventualmente correggere o minimizzare gli errori riscontrati. Il processo di determinazione dell'errore a ritroso è complesso e spesso non risolvibile in fase di post-processing e ciò potrà causare la perdita del dato.

L'analisi del dato sarà successivamente condotta sull'insieme delle strisciate Multibeam sempre alla stessa risoluzione adottata per la singola linea. Questa verifica consentirà di individuare altre tipologie di errori, come ad esempio, il risultato dei parametri del *patch test* (calibrazione), l'analisi dei parametri delle velocità del suono, l'accuratezza sul posizionamento differenziale, etc.. Il controllo della singola linea e sull'intero set di dati dovrà essere condotto con esagerazione verticale incrementata del DEM (5-10 x) per evidenziare potenziali errori (anche senza elaborazione del dato) e permetterà di fornire una prima stima sulla qualità del dato raccolto.

Uno dei principali motivi del sotto-campionamento dei modelli digitali (DEM a 2-5 m di risoluzione) è generalmente causato dalla scarsa qualità del dato sorgente registrato. La nuvola di punti quotati (*soundings*) viene mediata su celle di campionamento molto grandi (2-5 m nei bassi fondali) al fine di attenuare i rumori e/o errori ad alta frequenza. Tuttavia, questa procedura causerà una degradazione del dato compromettendo i dettagli dei lineamenti morfologici che non saranno più risolvibili, rendendo il dato inutilizzabile ai fini interpretativi.

Un esempio esplicativo di tale analisi è illustrato in figura 10, ove risulta evidente come l'effetto del sotto-campionamento progressivo a partire da un dato ad alta risoluzione con celle a 10 cm, porti alla completa obliterazione dei lineamenti morfologici di dettaglio.

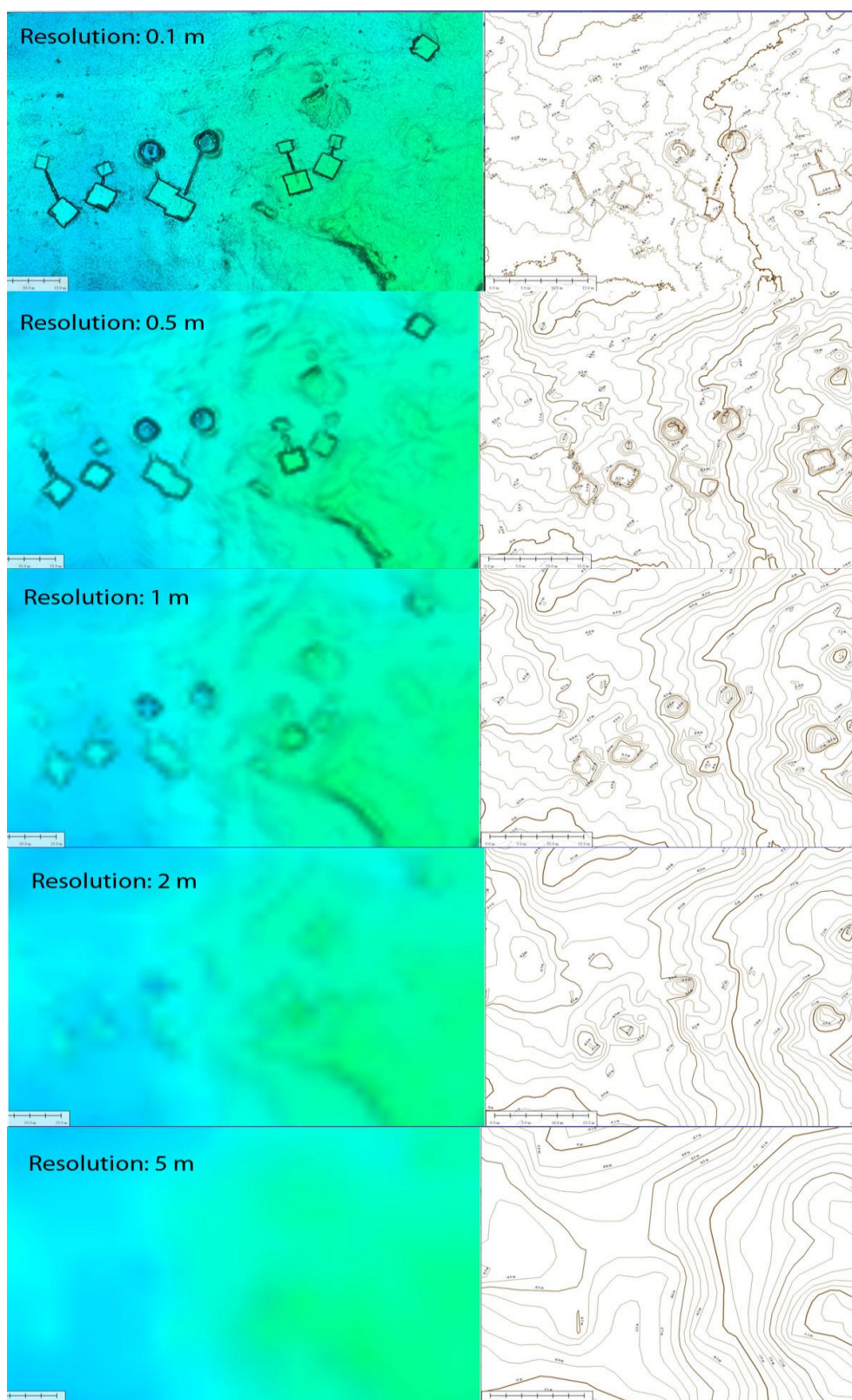


Figura 10 - Restituzione di un DEM (sinistra) e isobate (destra) a diverso grado di risoluzione di un rilievo condotto a circa 9 m di profondità. Risulta evidente il progressivo degradamento del modello digitale e delle relative isobate in funzione della risoluzione dei DEMs, da 0.1 m a 5 m di profondità. Risulta evidente come le morfologie (corpi morti e *Posidonia oceanica*.) risultino oblitrate per effetto del sotto-campionamento del dato.

Le restituzioni dei DEMs in figura 10 evidenziano come uno stesso data-set ottenuto da un rilievo batimetrico Multibeam condotto in bassi fondali, possa originare diverse letture del DEM a differenti gradi di risoluzione. Risulta evidente come le morfologie presenti sui fondali, costituite da corpi morti (2 m) uniti da catene su una prateria di *Posidonia oceanica*, siano ben definiti nel loro insieme nel DEM a 0.1 m di risoluzione. Le isobate realizzate a partire dal DEM alla stessa risoluzione evidenziano bene i dettagli e i lineamenti ad essi correlati.

Sottocampionando i dati sorgente a valori rispettivamente di 0.5 m, 1 m, 2 m ed infine a 5 m di risoluzione, si evidenzia come le morfologie tendano ad essere progressivamente più attenuate sino ad essere completamente obliterate. Analogamente, anche le isobate realizzate a partire dalla stessa risoluzione del DEM, mostrano un progressivo “smoothing” sino a non risolvere più i lineamenti dettagliati ivi presenti.

Si evidenzia quindi, come i dati raccolti, se sotto-campionati a risoluzioni progressivamente più basse, non siano sufficientemente idonei a leggere e interpretare il dato.

É importante sottolineare come un dato restituito a bassa risoluzione, non consenta quindi l'analisi e l'interpretazione delle morfologie e che, pertanto, potrà essere utilizzato solo per definire delle profondità approssimative.

Analisi e controllo delle attività di campagna

Al fine ultimo di ricostruire e verificare le procedure di installazione, di acquisizione e dello stato del mare durante i rilievi, è suggerita la compilazione di un diario di bordo con apposite schede di verifica e controllo delle attività svolte, da consegnare al committente unitamente ai dati grezzi (*raw data*), su supporto informatico. Il diario di bordo e le schede verranno utilizzati per verificare se tutti i processi utili alla realizzazione del rilievo geofisico rispettino gli standard minimi per la generazione dei DEMs ad alta risoluzione. Esso dovrà riportare tutte le informazioni tecniche legate alle modalità d'installazione del sistema: determinazione degli *offset*, tipologia di posizionamento utilizzato (scatter plot), risultati delle linee di calibrazione eseguite per il *patch test*, percentuale di *overlapping* tra le “spazzate”, posizione delle sonde di velocità (latitudine e longitudine) alle massime profondità di esecuzione del rilievo, stato del mare che dovrà essere limitato al di sotto ai 0.5 m d'altezza d'onda per imbarcazioni di piccolo cabotaggio (< 10 m). Il diario di bordo e le schede d'acquisizione, saranno utili, non solo per un controllo delle attività programmate nelle check list,

ma serviranno anche al committente per verificare che i requisiti minimi degli standard d'acquisizione vengano rispettati dalle società appaltanti. Inoltre, la documentazione compilata nel corso della campagna in mare, potrà essere utile anche per un'eventuale rielaborazione dei dati da parte di terzi per poter estrapolare il dato alla massima risoluzione possibile. I dati raccolti nelle campagne di ricerca dovranno essere conservati in forma originale (eventualmente, su richiesta, esportati anche nei formati standard di interscambio dei software di post-processing) su appositi HD e trasferiti ai soggetti appaltanti, unitamente ai prodotti elaborati, secondo le modalità concordate. Ciò consentirà ai soggetti appaltanti e/o a terzi di poter sempre accedere al dato sorgente per poter eventualmente elaborare *ex novo* il dataset per recuperare la massima risoluzione disponibile ed eventualmente controllare la qualità del dato acquisito secondo le specifiche richieste nei progetti di monitoraggio. Infine, le documentazioni compilate durante la campagna di ricerca e redatte dal personale tecnico di bordo insieme al capomissione, dovranno essere firmate con nome leggibile per poterne tracciare la responsabilità.

Esempio di dato morfo-batimetrico ad alta risoluzione di buona qualità per la caratterizzazione degli habitat marini

A titolo di esempio, vengono illustrati i risultati ottenuti da una serie di campagne di ricerca condotte in mare nell'ambito di attività di studio e monitoraggio con sistema Multibeam Kongsberg EM 2040 a 400 kHz. I dataset, presentati sia in forma di DEM che di *backscatter*, costituiscono un esempio rappresentativo di una corretta restituzione di dati geofisici ad alta risoluzione. In particolare, si tratta di dati batimetrici Multibeam raccolti in una fascia di fondale compresi tra 15 m e 70 m di profondità. Il DEM illustrato in figura 11 evidenzia la presenza di un'estesa prateria di *Posidonia oceanica*, interessata da profonde incisioni causate dall'azione indiscriminata di ancoraggi sui fondali.

In figura 12 è illustrato un altro esempio di distribuzione di una matte di *Posidonia oceanica* con zone di intermatte coperte da sedimenti medio-fini localmente impattata.

La figura 13 illustra un'altra area interessata da matte di *Posidonia oceanica* ubicata sulla sella di un alto morfologico con il relativo *backscatter*, generalmente maggiore, rispetto ai fondali circostanti.

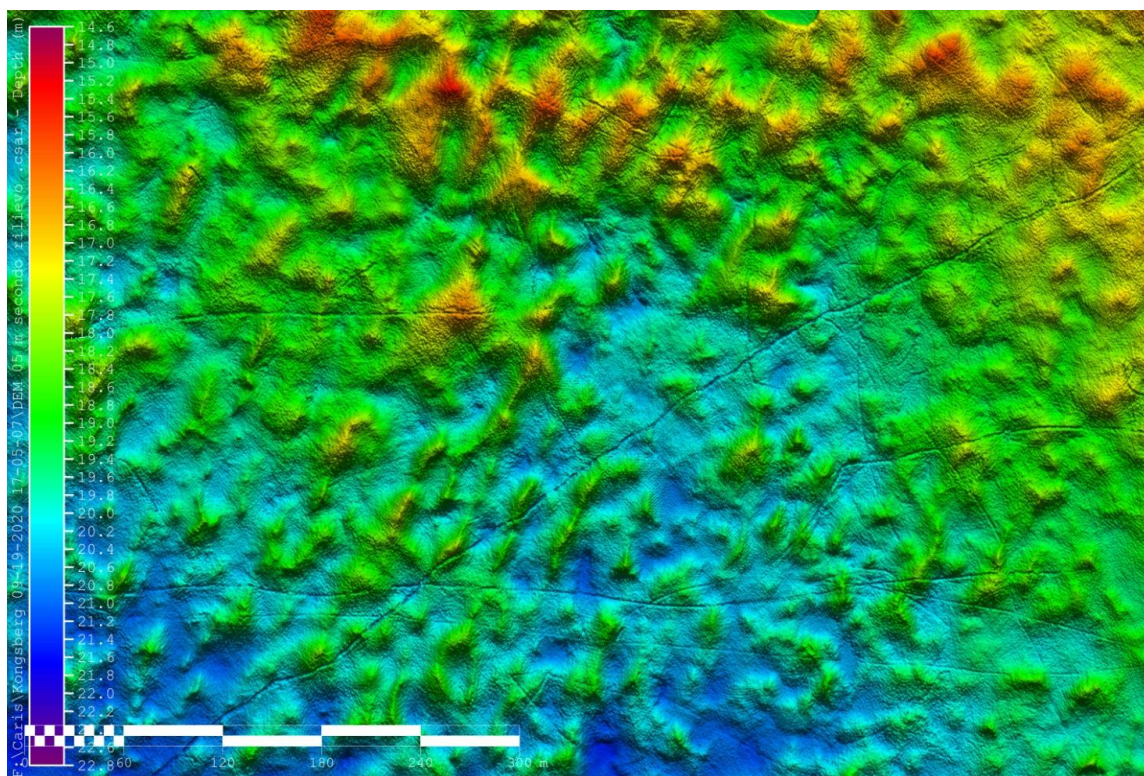


Figura 11 - Esempio di “buon rilievo” geofisico Multibeam, condotto nell’ambito di una campagna di ricerca in mare nei bassi fondali (15 - 22 m). Il dato restituito ad una risoluzione di 0.5 m evidenzia con dettaglio la presenza di un’estesa prateria di *Posidonia oceanica* impattata dall’azione di ancoraggi indiscriminati sul fondale. La scala orizzontale è di 300 m.

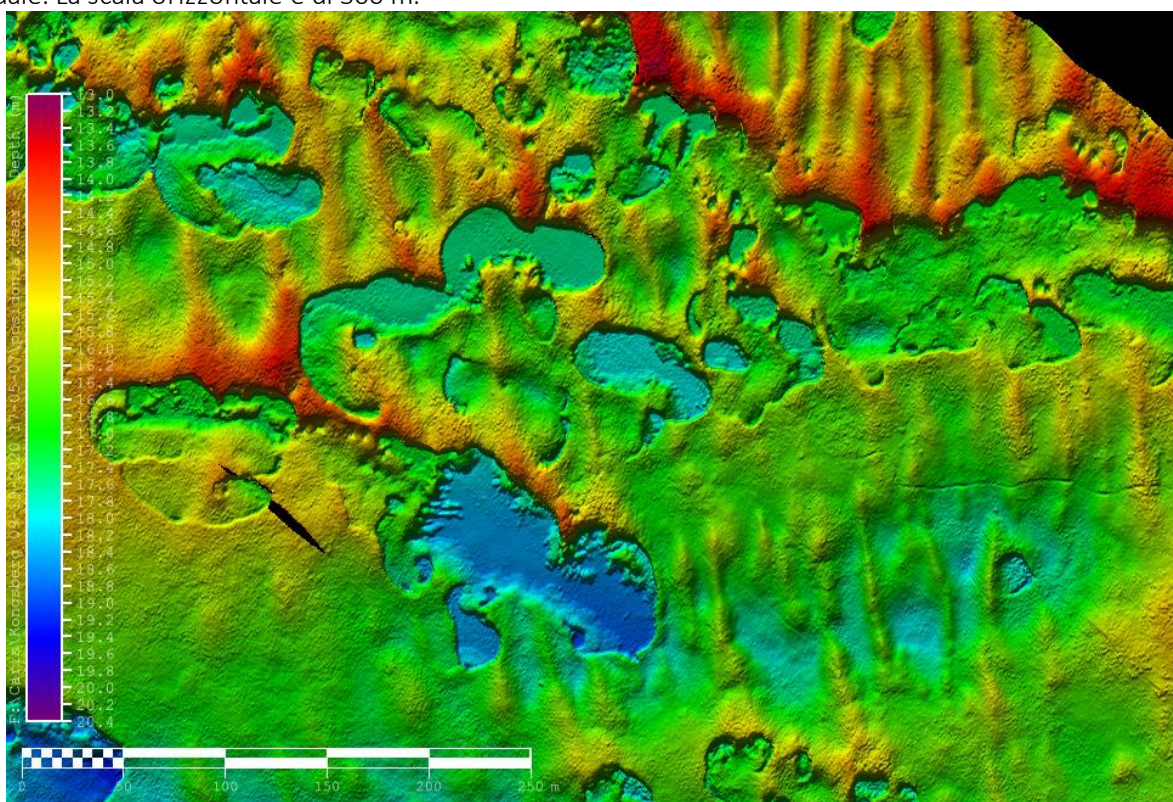


Figura 12 - Esempio di “buon rilievo” geofisico Multibeam, condotto nell’ambito di una campagna di ricerca in mare nei bassi fondali (13 - 22m). Il dato restituito ad una risoluzione di 0.5 m evidenzia con dettaglio la presenza di un’estesa matte di *Posidonia oceanica* e inter-matte, a basso impatto sui fondali. La scala orizzontale è di 250 m.

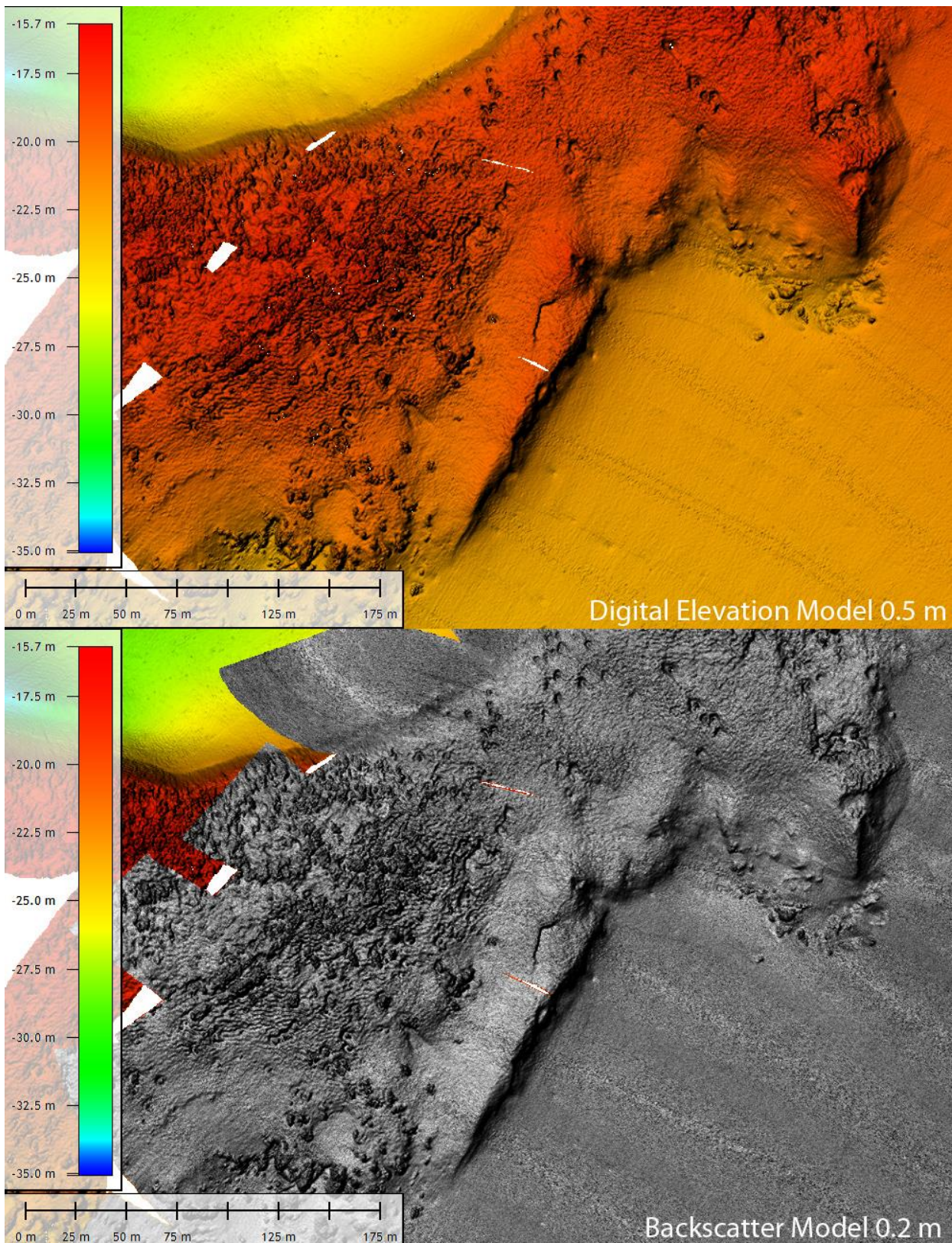


Figura 13 - Esempio di rilievo geofisico Multibeam ad alta risoluzione, condotto nell'ambito di una campagna di ricerca in mare nei bassi fondali (15 - 30 m). Il DEM restituito ad una risoluzione di 0.5 m evidenzia la presenza della distribuzione di *Posidonia oceanica* confinata su un alto morfologico. Il mosaico di *backscatter* a 0.2 m di risoluzione mostra un pattern più elevato rispetto ai fondali circostanti.

Esempi di dati morfo-batimetrici di bassa qualità non utilizzabili per la mappatura degli habitat sommersi

Di seguito vengono illustrati alcuni esempi di rilievi batimetrici multibeam e mappature side scan sonar con restituzione cartografica a bassa, media, scarsa e insufficiente risoluzione, utilizzati nell'ambito dei piani di monitoraggio ambientale per la caratterizzazione di habitat sommersi.

Esempio Programma di monitoraggio D1-05

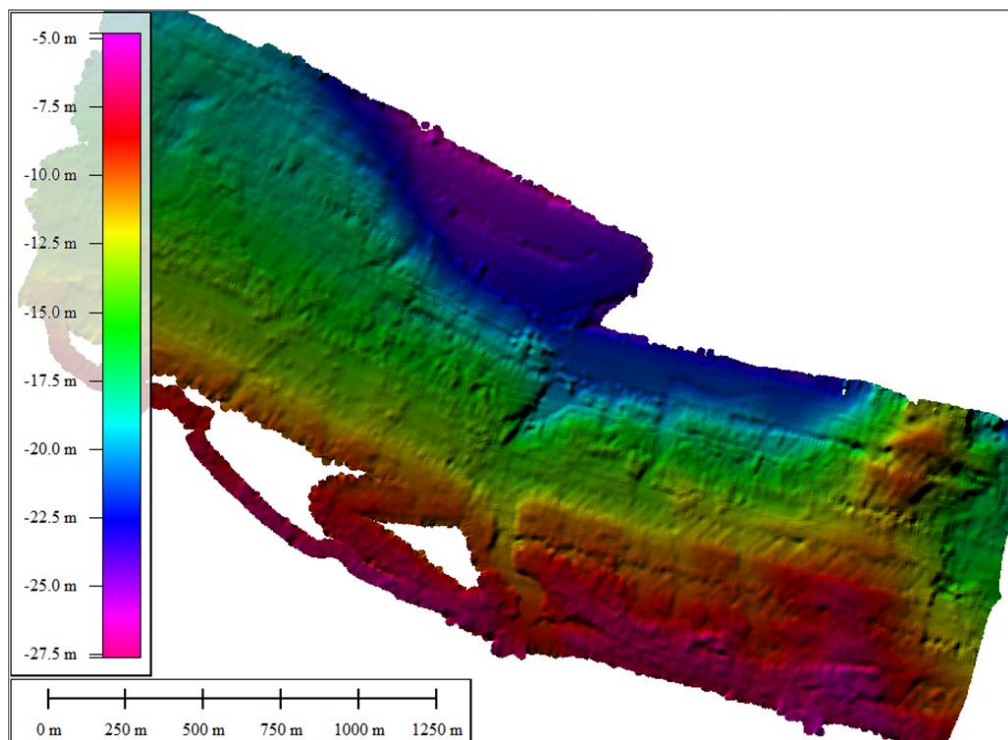


Figura 14 - Esempio di dato con forte criticità per la bassa qualità e risoluzione del dato e per la mancanza di copertura totale tra le strisciate multibeam.

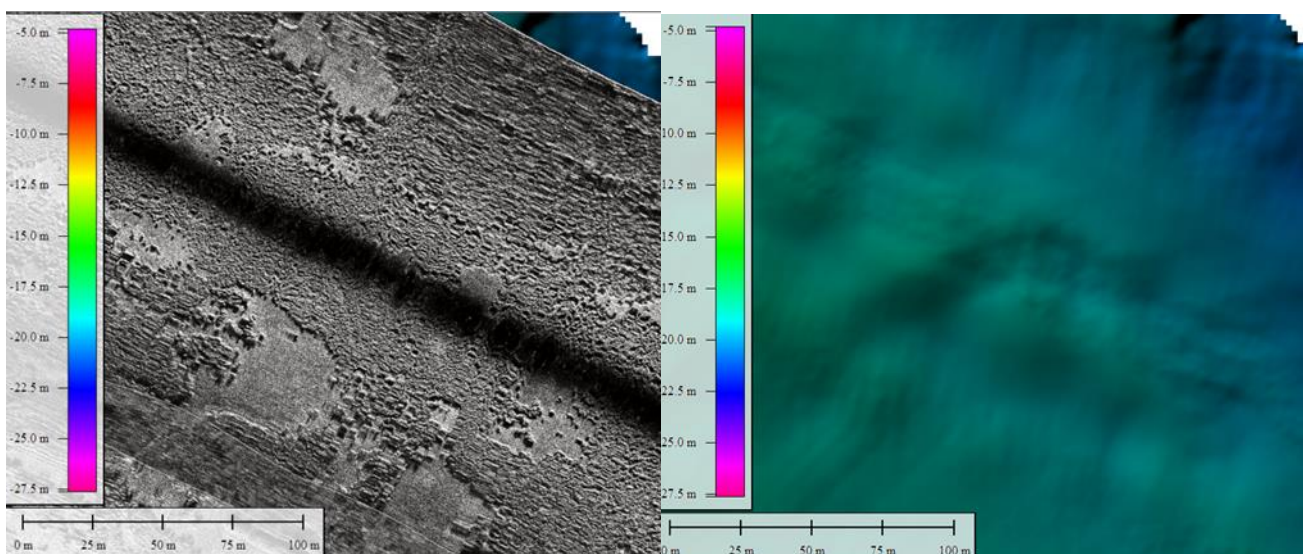


Figura 15 - Confronto di una stessa area investigata con metodologia *Side Scan sonar* (SSS) e Multibeam a circa 18 – 19 m di profondità. Risulta evidente come la matte di *Posidonia oceanica* non sia visibile sui dati Multibeam rendendo quindi il dato inutilizzabile ai fini interpretativi.

Esempio Programma D1-06 fondi a coralligeno

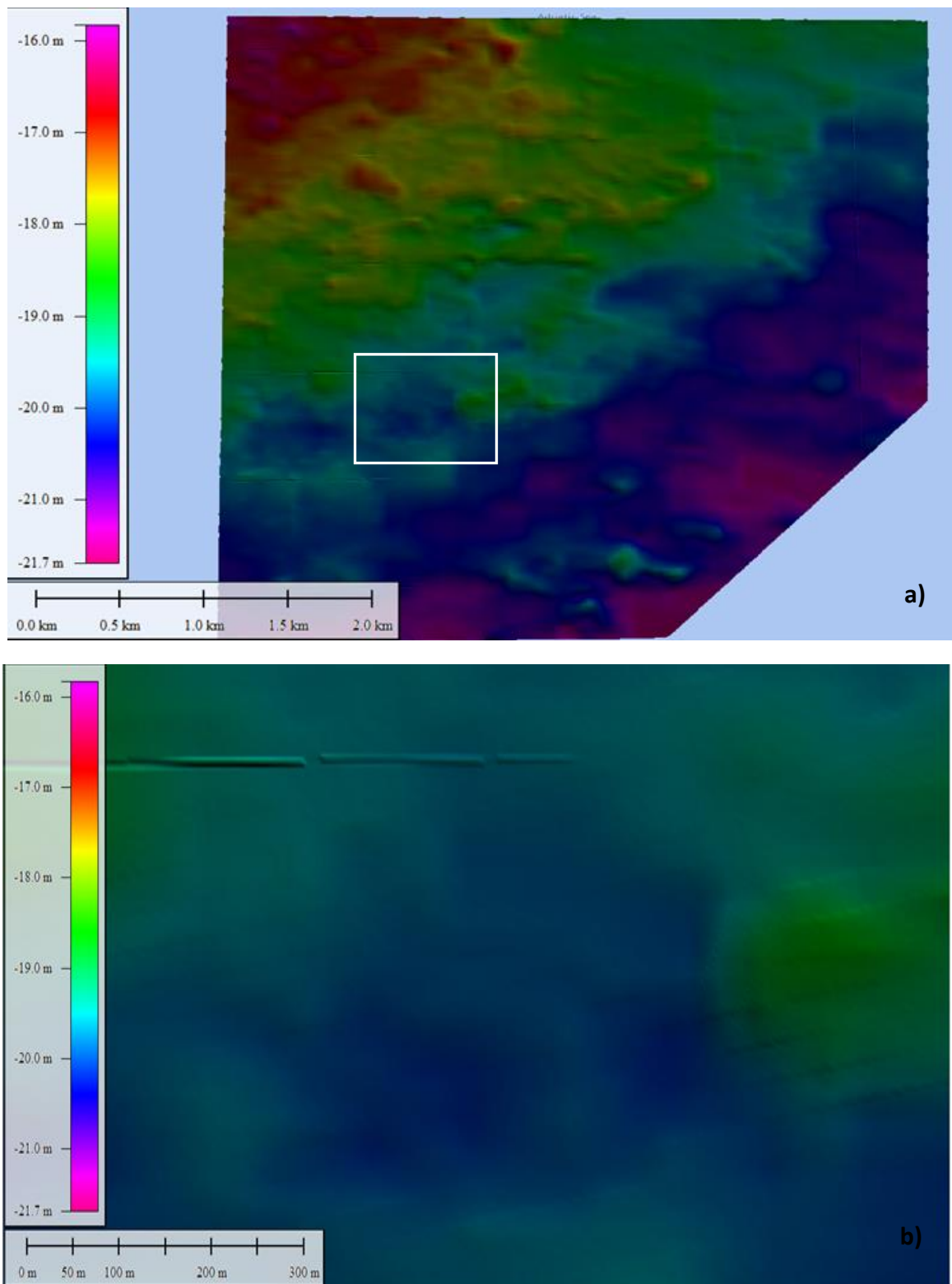


Figura I6 - Rilievo batimetrico caratterizzato da significativa criticità a causa della bassissima risoluzione del dato. I dati risultano campionati su celle di dimensioni stimate a 85 m che causano la perdita di dettaglio delle morfologie sommerse.

Esempio Programma D1-08 Letti Rodoliti

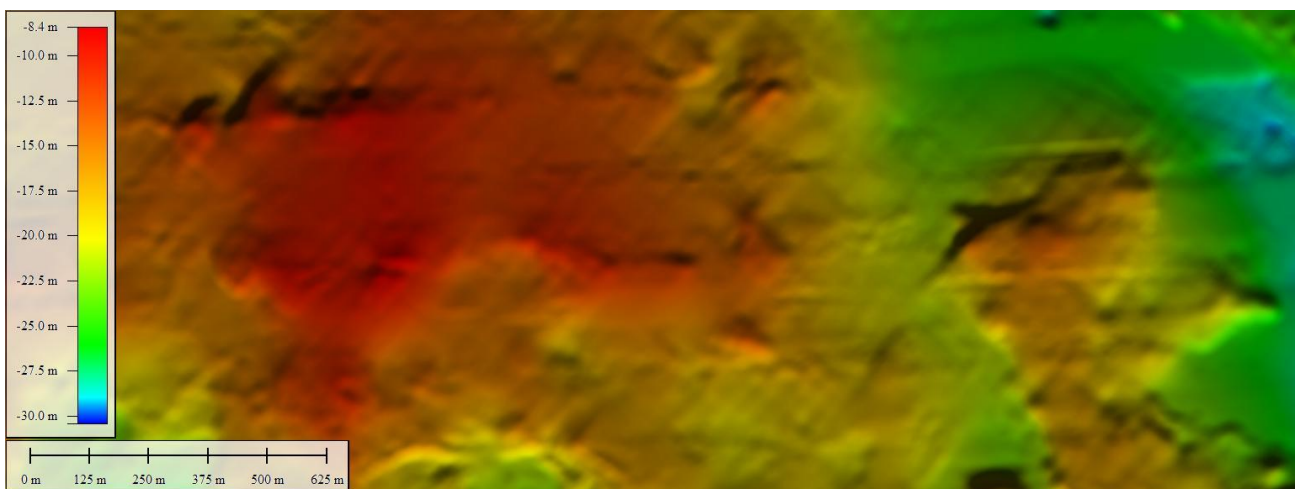
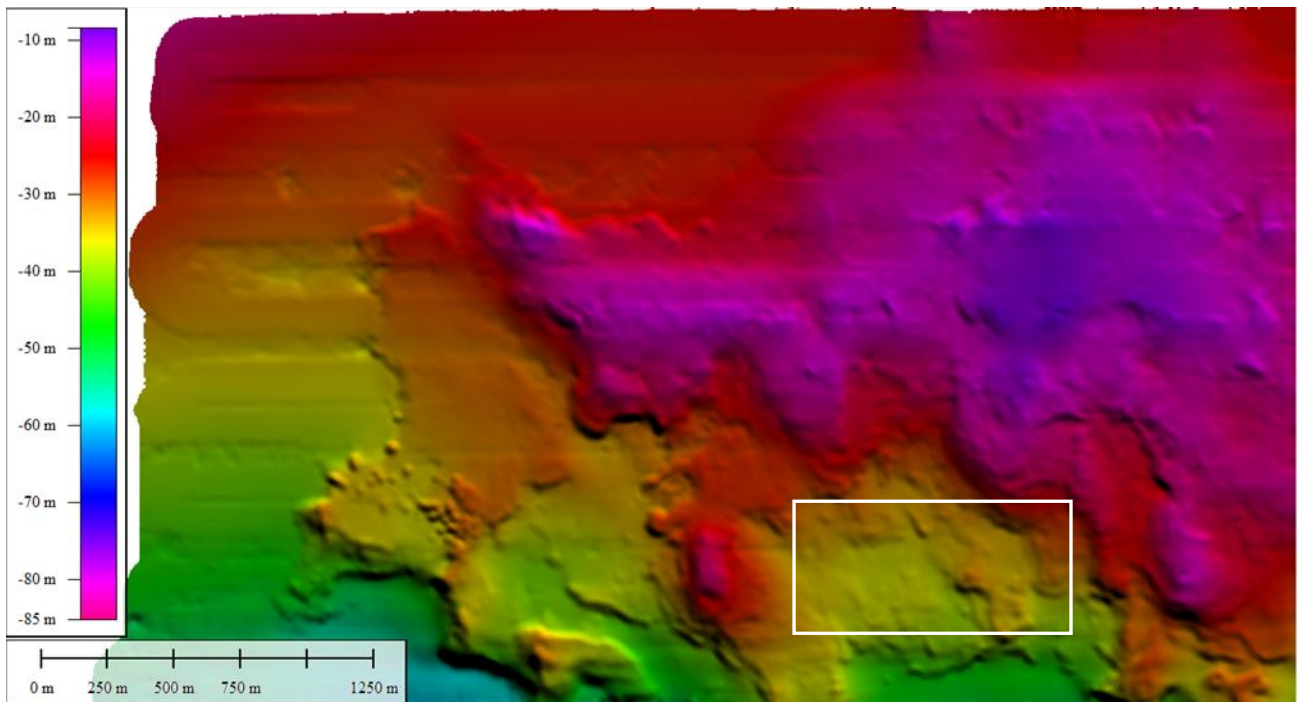


Figura 17 - Esempio di dataset batimetrico di scarsa qualità e bassa risoluzione (5 m) che non consente di caratterizzare nel dettaglio le morfologie sommerse. Il dato evidenzia inoltre la mancanza di una investigazione completa dei fondali con multibeam. Sono infatti bene evidenti le aree interpolate con un raggio di circa 50 m.

Programma di monitoraggio D6 02 Pressione della Pesca

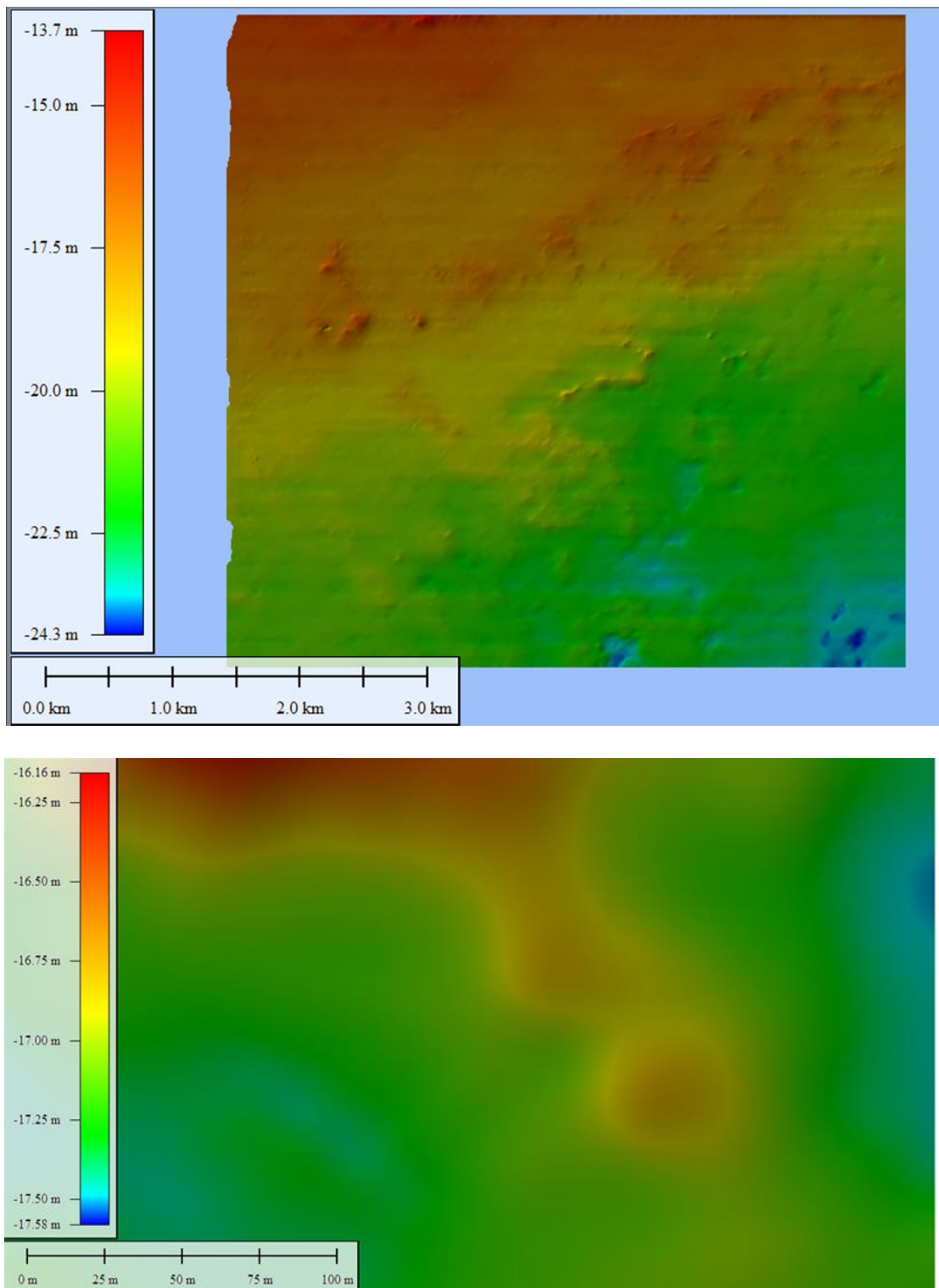


Figura 18 - Dati batimetrici con criticità a causa della bassissima risoluzione del DEM. Risulta evidente come i dati siano stati mediati su celle di dimensioni molto grandi con perdita del dettaglio nelle morfologie sommerse.

Progettazione di un rilievo Side Scan Sonar (SSS) ad alta risoluzione

La progettazione di un rilievo Side Scan Sonar (SSS), è una pratica essenziale per la programmazione delle attività in mare e serve per stimare i tempi necessari al completamento dei rilievi. La conoscenza dell'andamento morfologico delle aree sommerse può essere di grande supporto alle pianificazioni dei rilievi ma anche per evitare possibili impatti del *towfish* ("pesce") sui fondali con conseguente perdita del sensore.

Nello specifico, la programmazione di un rilievo SSS ad alta risoluzione deve tenere conto di diversi fattori, quali:

1. scelta delle frequenze (risoluzione) e del relativo *range* di acquisizione.
2. Estensione, forma geometrica e assetto morfologico dei fondali da indagare (Pianificazione delle rotte).
3. Profondità del sito d'indagine ed estensione del cavo da traino in uscita.
4. Sistema di posizionamento del pesce in funzione delle profondità.
5. Condizioni meteomarine

Il SSS, differentemente dal dato multibeam, fornisce un'immagine acustica delle riflettività (dB) del fondale senza valori di quote altimetriche, ma presenta risoluzioni maggiori proprio perché viaggia in prossimità del fondo.

A differenza della progettazione di un rilievo batimetrico Multibeam, quello SSS non tiene conto dalle variazioni di profondità, poiché il sensore viaggia ad un'altezza circa costante rispetto al fondale circostante. La copertura del fondale per singola "spazzata" è un parametro fisso, definito come *range* (espresso in metri), che viene scelto in fase di progettazione per garantire, in funzione delle frequenze adottate, la migliore risoluzione utile alle finalità del rilievo.

La risoluzione orizzontale è un concetto legato alla capacità di distinguere, ovvero "risolvere", due oggetti separati spazialmente, mentre il *range* non è altro che una scala temporale che regola il tempo di andata e ritorno dei segnali acustici dai trasduttore ai fondali, secondo tempi prestabiliti. Per tali motivi, più stretto sarà il *range* scelto e minore sarà la finestra di ascolto e più dati verranno registrati nell'unità di tempo incrementando il campionamento e quindi la risoluzione.

La scelta del *range* è subordinata a quella delle frequenze di acquisizione del SSS: maggiore è la frequenza e maggiore sarà la risoluzione dell'immagine acustica ma allo stesso tempo minore sarà il campo di copertura laterale (tabella 1).

La relazione tra frequenza e risoluzione è più complessa di quella riportata in tabella 1 e varia moltissimo tra i vari strumenti presenti sul mercato: ogni trasduttore produrrà un segnale acustico differente per intensità (Decibel) e dimensione del pixel.

Frequenza (kHz)	Risoluzione (m)	Range massimo (m)
30	≈6.0	6000
100	≈0.50	300
300	≈0.3	150
600	≈0.2	100
900	≈0.1	75
1200	<0.01	50

Tabella 1 - Relazione tra frequenze, risoluzione e range d'acquisizione che, tuttavia, varia in funzione delle tipologie di strumenti e case produttrici.

In linea di massima si può affermare che la risoluzione del sonar a scansione laterale varia da centimetrica, per frequenze di 100 kHz, a millimetriche per frequenze di 1000 kHz. La diminuzione della copertura laterale avviene a causa di un minore energia e per l'attenuazione delle alte frequenze con conseguente assorbimento dei segnali acustici. Infatti, come in tutti i mezzi di trasmissione delle onde P, anche l'acqua di mare produce un'attenuazione dell'onda acustica che si propaga al suo interno, sia per effetto dell'attrito, che per l'effetto dovuto alla presenza di solfato di magnesio (MgSO₄), acido borico (B(OH)₃) ed altre sostanze disciolte. L'attenuazione del segnale acustico, nota come perdita per assorbimento, è una funzione crescente della frequenza di tipo esponenziale.

Esempio 1 (Figura 19): Se non si tiene conto del rapporto tra *range* e frequenza e, ad esempio, si sceglie di acquisire ad una frequenza di 300 kHz con un range di 300 metri si otterrà un dato leggibile sino al 50% poiché a frequenze così elevate, gli echi di ritorno provenienti da distanze superiori ai 150 metri saranno troppo attenuati per essere registrati dal sistema (Figura 19 NOT APPROVED).

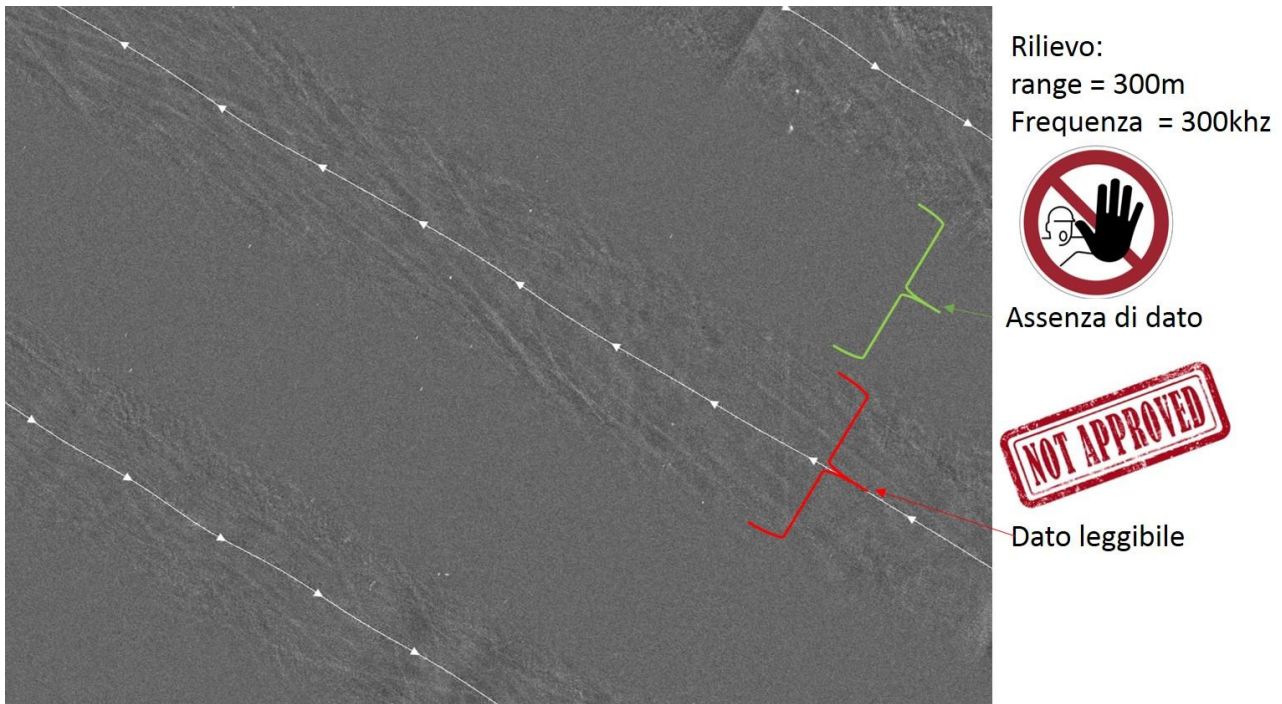


Figura 19 - Esempio di cattiva progettazione del rilievo acquisito con frequenza di 300 kHz e range 300 metri, parametri non compatibili.

Per tali motivi, per ottenere un dato di buona qualità, leggibile ed interpretabile, non deve essere usato il massimo *range* disponibile (fornito con le caratteristiche tecniche dello strumento) alla frequenza scelta, ma generalmente inferiore, in modo da limitare le deformazioni laterali dovute alla variazione di risoluzione longitudinale (*along track resolution*) e garantire quindi l'*overlapping*.

Al fine di ottenere un rilievo Side Scan Sonar di buona qualità e risoluzione, si consiglia di operare secondo i parametri espressi in tabella 2.

Frequenza (kHz)	Range massimo (m)
300	100
600	75
900	50
1200	<30

Tabella 2 - Rapporto consigliato tra frequenze, risoluzione e range per ottenere mosaici di buona qualità

L'impulso acustico emesso dal SSS si propaga in modo conico con aperture angolari ($\Delta\beta$) variabili in funzione del modello e della frequenza da 0.2 a 1.5 gradi sul piano orizzontale (*horizontal beam width*) mentre si apre a "ventaglio" sull'asse verticale (*vertical beam width*) con angoli variabili tra i

45 e i 65 gradi a partire dall'angolo, rispetto l'asse orizzontale del *towfish*, dove è posizionato il trasduttore (*depression angle*).

L'aumento della risoluzione, oltre al *range* ed alla frequenza, è strettamente legato a:

1. forma dell'impulso lungo l'asse trasversale (*resolution across-track; horizontal beam*)
2. forma dell'impulso lungo l'asse longitudinale (*resolution along track; vertical beam*)
3. altezza del *towfish* dal fondale
4. velocità di acquisizione, posizione e lunghezza dei trasduttori.

1- Per risoluzione *across-track* (figura 20) o *range resolution*, si intende la minima distanza, tra due target, necessaria affinché i due echi ricevuti non risultino sovrapposti nel tempo. La risoluzione *across-track* è un concetto strettamente legato alla durata dell'impulso (figura 20 B). Infatti, dati due target, posti l'uno a distanza D1 e l'altro a distanza D2 dal ricevitore, la distanza relativa minima $\Delta D = D2 - D1$, affinché i due echi non risultino sovrapposti, è pari a $V_s * T / 2$, dove la T è la durata dell'impulso e V_s è la velocità del suono.

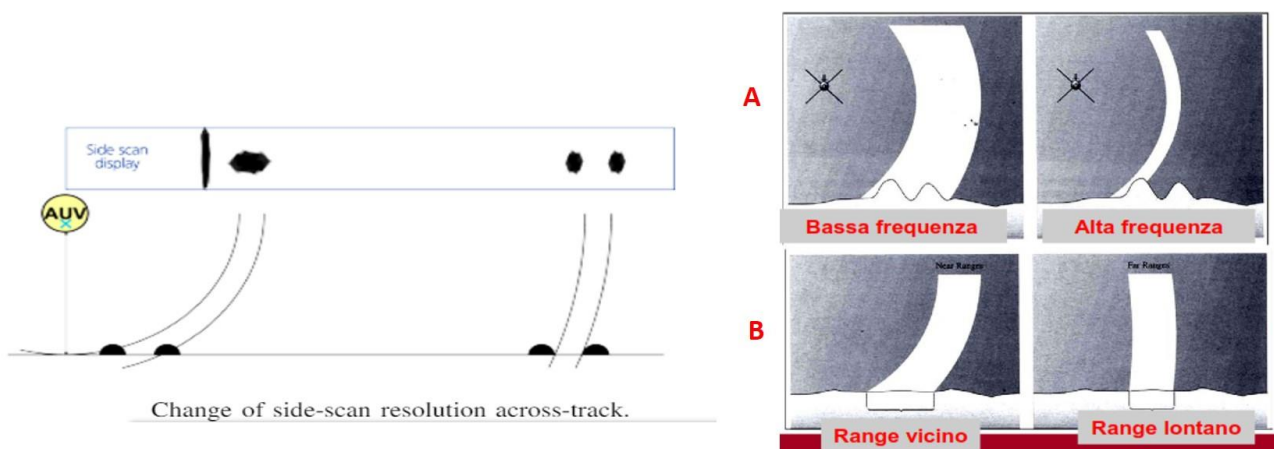


Figura 20 - Relazione tra risoluzione *across track*, frequenza e *range*.

Come evidenziato in figura 20 la risoluzione *across track* aumenta sia all'aumentare della frequenza che del *range* perché aumenta l'arco di curvatura dell'impulso permettendo una più ristretta insonorizzazione del fondale.

Prima dell'arrivo dei nuovi software per l'acquisizione ed elaborazione digitale del dato sonar, circa 20 anni fa, quando il dato veniva stampato direttamente su carta termosensibile (sonogrammi) quindi su una finestra fissa (il dato sonar veniva scalato alla dimensione del foglio), la *range*

resolution, era definita come la distanza minima tra due oggetti perpendicolari alla rotta di navigazione che venivano registrati su carta come oggetti separati. In questo caso, supponendo che una spaziatura minima di 1 mm sulla carta di registrazione sia necessaria per tracciare due oggetti separatamente, la risoluzione sarebbe 1/125 del range. Per esempio, considerando la larghezza della carta di 125 mm (per canale) ed il *range* di 150 m, il *range resolution* sarebbe uguale a:

$$R_r = 150/125 = 1,2 \text{ m}$$

2- Per risoluzione *along track* (Figura 21), si intende, invece, la capacità di risolvere due oggetti posti entrambi a distanza D dal ricevitore. L'impulso acustico prodotto dal trasduttore del Side Scan Sonar, data la sua apertura angolare (≈ 1 grado) investiga il fondale non come uno *swath* rettilineo, come nel caso del Multibeam, ma insonorizza una area conica allungata.

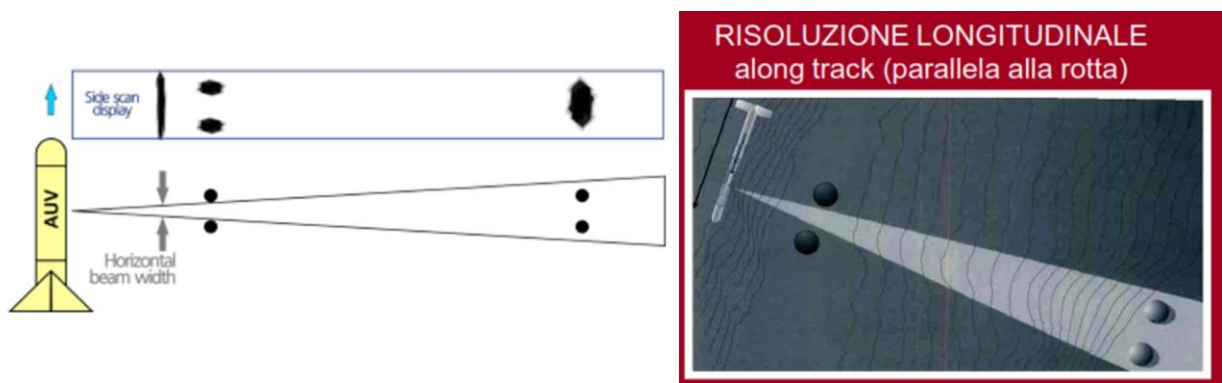


Figura 21 - Relazione tra risoluzione *along track* e *range*.

Quindi, aumentando la distanza, 2 oggetti separati possono essere erroneamente rilevati contemporaneamente da un singolo impulso e possono, quindi, essere riconosciuti come un oggetto unico. La risoluzione *along track* diminuisce con la distanza perché dipende dell'apertura angolare del fascio verticale (≈ 1 grado).

3- La stessa apertura angolare del fascio verticale, ovviamente, interessa tutto il ventaglio di direzioni, anche l'impulso sotto la verticale del *towfish*. Questa considerazione è importante perché definisce la variazione della risoluzione *along track* con la variazione di altezza del "pesce" dal fondale come illustrato in figura 22.

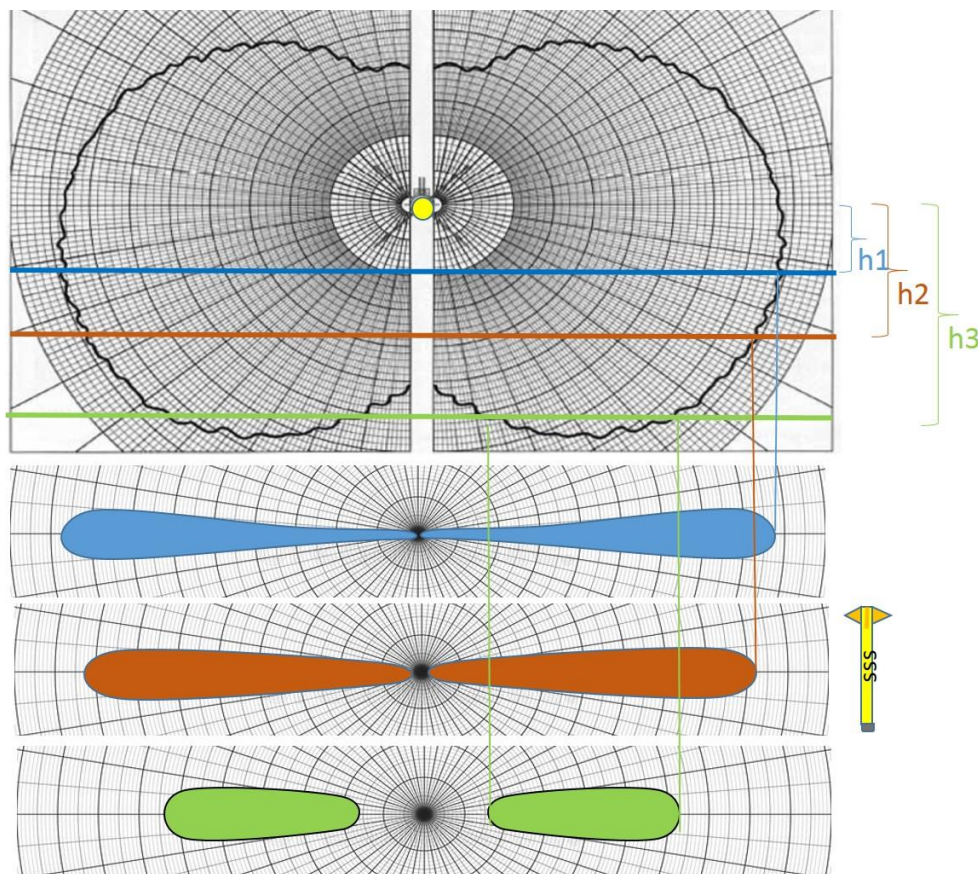


Figura 22 - Variazione della forma dell'area insonorizzata (footprint) e della relativa risoluzione along track al variare dell'altezza del towfish dal fondale.

Per questo motivo l'altezza dal fondale del *towfish* è un parametro che va continuamente monitorato in fase di acquisizione in modo tale da mantenere il "pesce" il più possibile prossimo all'altezza ottimale di funzionamento. L'altezza ottimale varia per ogni SSS essendo legata alla forma dell'impulso ed è indicata nelle caratteristiche tecniche dello strumento. Si può generalizzare asserendo che l'altezza ottimale di funzionamento per ogni SSS è prossima al 10% del range scelto (tabella 3).

Frequenza (kHz)	Range massimo (m)	Altezza dal fondo (m)
300	100	10
600	75	7.5
900	50	5
1200	<30	3

Tabella 3: relazione generica tra frequenza, range e altezza dal fondo del towfish

4- Per una corretta ricostruzione dell'immagine, bisogna evitare di lasciare buchi lungo il tracciato e questo pone un limite massimo alla velocità a cui la piattaforma (*towfish*) può viaggiare.

La teoria di base indica che: sia R_{max} la massima distanza rilevabile dal sonar, $TR=2R_{max}/V_s$ è il tempo che intercorre tra un impulso ed il successivo (V_s =velocità del suono in acqua). Bisogna imporre che lo spostamento compiuto dal sonar in un tempo pari a TR , sia minore della minima risoluzione along-track $\delta x_{min}=\Delta\beta *H$; dove H rappresenta la distanza al nadir tra SSS e fondale (la quota del SSS dal fondale). Perché questa condizione sia rispettata, la velocità massima con cui la piattaforma può viaggiare, deve essere:

$$v_{max} = \delta x_{min}/TR = V_s * \Delta\beta / 2R_{max}$$

In Figura 23 è proposto un esempio semplificato (apertura angolare del fascio verticale 0 gradi) di un *towfish* in acquisizione con *range* di 150 metri ad una velocità di 3 Mn.

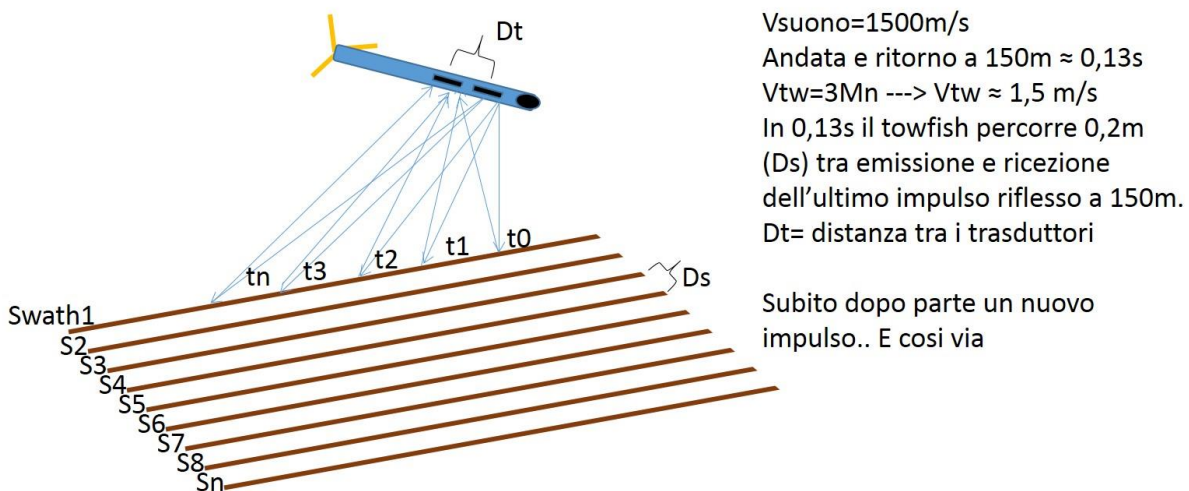


Figura 23 - Esempio semplificato della relazione tra velocità di traino del *towfish* e risoluzione

Considerando una velocità del suono in acqua ipotetica e costante di 1.500 m/s, un impulso impiegherebbe 0,13 secondi per percorrere 300 metri (andata e ritorno dell'ultimo impulso udibile (T_n) prima del nuovo intervallo di acquisizione. Durante questo periodo di tempo (0,13 s) il *towfish* si muove ad una velocità di circa 1,5 m/s (che corrisponde a una velocità di 3 Mn) percorrendo una distanza di 0,2 metri. Con questi ipotetici parametri avremo quindi che il nostro rilievo sarà composto da una serie di *swath* distanti 20 cm l'uno dall'altra.

Esempio 2: ad una distanza di 300 metri, un sonar tradizionale può emettere un *ping* (segnale acustico) circa 2,5 volte al secondo. A 5 nodi, un sonar viaggia a 2,5 metri al secondo, spostandosi, quindi, di circa 1 metro tra un *ping* e l'altro. Ciò significa che è probabile che gli oggetti più piccoli di 1 metro vengano persi a causa della distanza ravvicinata tra i segnali acustici.

È facilmente intuibile, quindi, che la risoluzione spaziale del dato sia inversamente proporzionale alla velocità del *towfish*: quando all'aumentare della velocità la distanza percorsa dal *towfish* (D_s) diventa maggiore della distanza strutturale tra trasduttore e idrofono (D_t) si incominciano a perdere gli impulsi esterni e la registrazione (sonogramma) risulterà priva di informazioni sulle aree laterali. Aumentando ancora la velocità la distanza tra gli *swath* potrà risultare eccessiva e il dato sonar mosaicato sarà discontinuo lungo l'asse trasversale. Percepire questo errore non è immediato in fase di acquisizione, ma può portare ad un pessimo risultato sui dati. L'errore sarà, infatti, evidenziato solo dopo la mosaicatura (georeferenziazione) e si presenterà come un'alternanza di linee segmentate non continue, inoltre, i segmenti con il dato saranno strecciati discontinui nello spazio e tutto questo renderà il sonogramma illeggibile e, di conseguenza, inutilizzabile. Per questo motivo si consiglia di verificare durante l'acquisizione, con i software di elaborazione, il risultato mosaicato del dato sonar, utilizzando anche software di sola visualizzazione (p. es. Fledermaus; Global Mapper, ecc.)

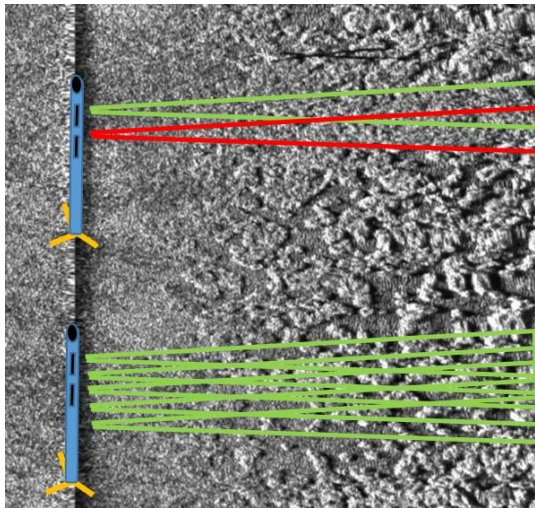
È molto importante sottolineare che le case produttrici indicano, nelle specifiche tecniche, i valori massimi di velocità del *towfish* spesso prossimi ai 10 nodi. Queste velocità vanno sempre riferite al *range* minimo (5 / 10 metri) e, quindi, a scenari ambientali molto distanti da qualsiasi studio geofisico per il seafloor e habitat mapping.

I Side Scan Sonar di ultimissima generazione, presenti sul mercato in questi ultimi anni, possono ottenere velocità di traino più elevate. Fino ad oggi il segnale trasmesso dai sistemi SSS era del tipo "onda continua" (Continuous Wave – CW), mentre un moderno SSS trasmette quello che viene chiamato un segnale a "frequenza modulata" (Frequency Modulated – FM) o CHIRP (*Compressed High Intensity Radar Pulse*). Il vantaggio principale del CHIRP è una portata maggiore con una migliore risoluzione *across track*.

Per un SSS di tipo CW la *across track resolution* è definita dalla lunghezza dell'impulso del segnale, mentre per un SSS di tipo CHIRP è definita dalla larghezza di banda del segnale che permette di trasmettere impulsi più lunghi e con più potenza.

Attualmente, ci sono due diverse soluzioni impiegate dai produttori di SSS per ottenere una maggiore velocità di traino sfruttando trasmissione di tipo CHIRP: 1) fare uso di più impulsi

simultaneamente (sistema *multiple beams*). Se, per esempio, vengono utilizzati 5 fasci su un singolo lato dell'SSS, allora, la risoluzione effettiva lungo la traccia, viene moltiplicata per 5, consentendo una maggiore velocità di traino; 2) avere più *ping* per unità di ascolto (sistema *multi pulse o multi-ping*) (figura 24).



multi-ping:
Più ping in un tempo di ascolto

multiple beams:
Più impulsi, ognuno con una propria finestra di ascolto

Figura 24 - esempio di funzionamento di moderni Side Scan Sonar con trasmissione *chirp*, *multi-ping* e *multiple beams*.

Estensione, forma geometrica e morfologia del fondale da indagare (Pianificazione delle rotte).

La progettazione di un rilievo SSS si deve basare sull'analisi morfologica dell'area in oggetto ponendo molta attenzione all'identificazione di aree critiche in termini di morfologie a grande elevazione dove si possa presentare il rischio di impatto per lo strumento a traino. Per questo motivo è sempre consigliabile eseguire il rilievo SSS dopo aver concluso, o dopo aver ottenuto, il rilievo Multibeam. Una volta stabilita la dimensione del *range* si devono progettare linee di navigazione equidistanti, le quali devono obbligatoriamente prevedere almeno un 20 % di *overlapping* Per garantire una buona copertura in fase di acquisizione è buona norma prevedere che la prima linea copra per oltre il 20 % il limite dell'area di indagine sul lato che più approssima l'andamento delle isobate (Figura 25)

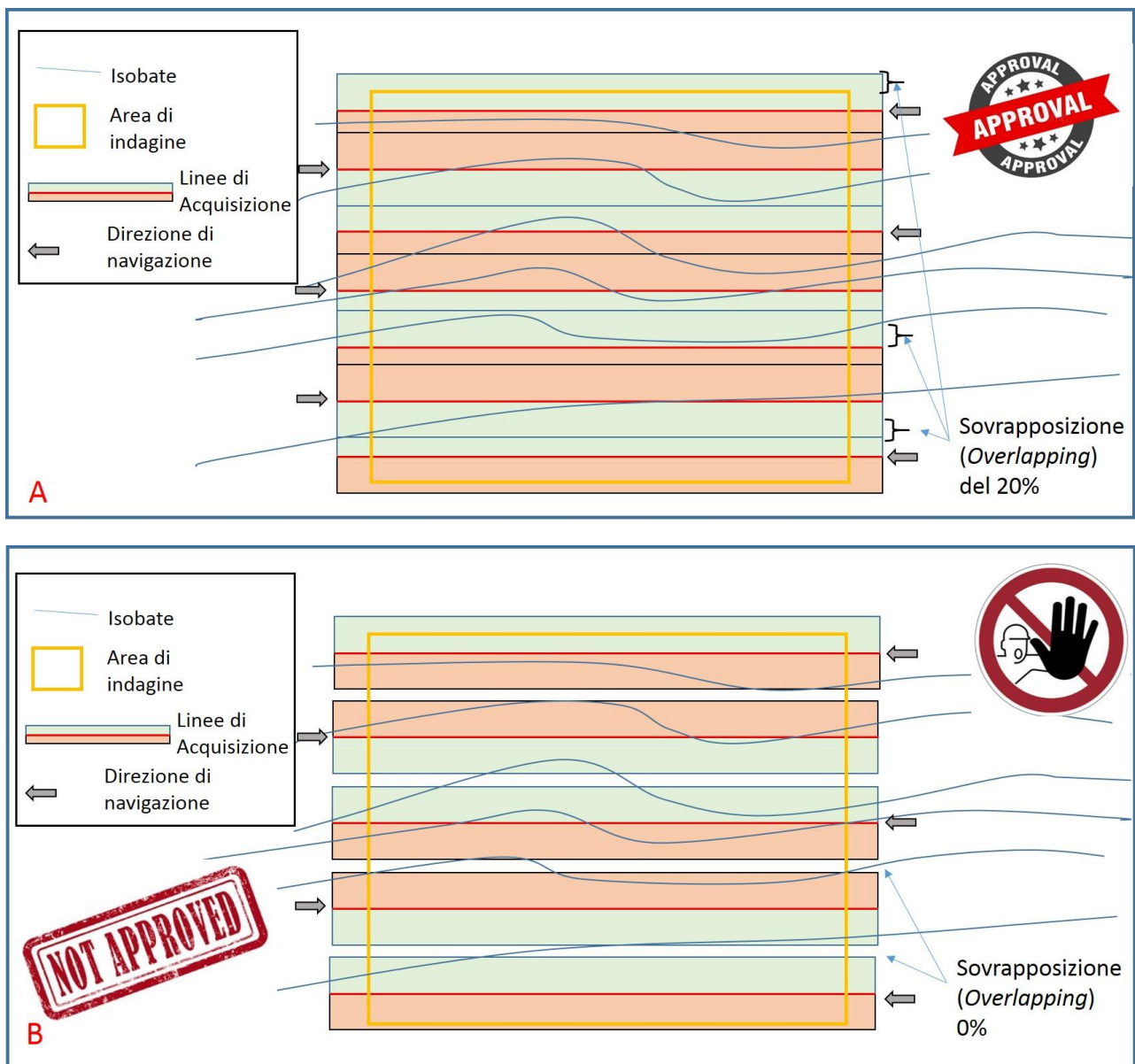


Figura 25 - A) esempio di buona progettazione di un rilievo SSS con giusto *overlapping* (20%) tra le linea e il margine area di interesse. B) esempio di errata progettazione di un rilievo SSS (*overlapping* assente).

Per esempio, dopo aver scelto per un rilievo con un *range* di 100 metri, la prima linea deve essere posta, a massimo 80 metri, parallelamente al limite dell'area di indagine che approssima l'andamento batimetrico e le successive linee saranno condotte parallele ed equidistanti a 180 metri fino ad avere l'intera copertura dell'area di indagine (Figura 25 A). *Overlapping* inferiori o addirittura nulli (Figura 25 B) produrranno mosaici con mancanza di copertura.

In caso di complessità dei fondali, come ad esempio la presenza di alti morfologici (Fig. 26 A), che possano comportare una repentina variazione dell'altezza del SSS dal fondo, è necessario impostare le linee di acquisizione nelle aree più depresse (Fig. 26 B), ciò consentirà di evitare il veloce recupero del SSS con conseguente beccheggio sui dati.

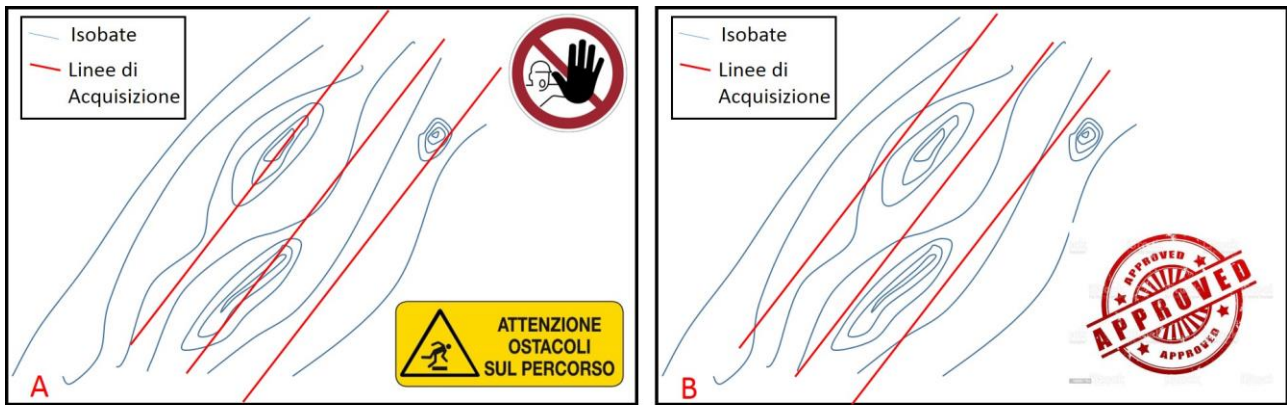


Figura 26 - Esempio di progettazione del rilievo Side Scan Sonar: A) caso da evitare con rotte (linee rosse) di acquisizione coincidenti con le parti più rilevate degli alti morfologici; B) spostamento delle linee di acquisizione nelle aree più depresse.

Quando l'altezza dell'ostacolo (generalmente un alto morfologico) è maggiore dell'altezza del pesce dal fondale, la porzione più alta della struttura non verrà rilevata dal sonogramma. Sarà, quindi, necessario ripetere la linea di acquisizione mantenendo il pesce ad una altezza superiore rispetto all'apice dell'alto morfologico. In questo caso è importante non indagare le strutture rilevate con linee di acquisizioni sulla verticale, ma eseguire linee di acquisizione lateralmente ad esse in modo da evitare deformazioni significative nella fase di correzione di *slant range*.

L'altezza dal fondale a cui il *towfish* deve essere trainato durante l'acquisizione è un parametro essenziale per ottenere un sonogramma di buona qualità. Essa, infatti, deve essere obbligatoriamente contenuta all'interno di un intervallo stretto di profondità che, generalmente, può essere approssimato ad 1/10 (10%) del *range* scelto per il rilievo. Altezze relative (rispetto al *range* scelto) del *towfish* del 20% o superiori potrebbero non essere adatte ad un rilievo SSS ad alta risoluzione.

Più in generale le linee di acquisizione dei dati SSS dovrebbero essere progettate parallelamente alle isobate, solo in caso di necessità operative il SSS dovrà partire sempre dalla quota più elevata e progressivamente scendere verso le aree più profonde. È infine importante ricordare che tutti i rapidi movimenti causati dal verricello e/o dal beccheggio della nave, possono incidere significativamente sulla qualità dei dati, pertanto si raccomanda di poter operare in condizioni di mare ottimale.

Analisi e verifica della qualità dei dati SSS in fase di acquisizione

Come per tutte le tipologie di dati geofisici acquisiti in ambiente marino, la buona qualità del dato Side Scan Sonar passa per un'accurata fase di acquisizione, nel corso della quale è necessario verificare:

- il rapporto frequenza / *range* idoneo,
- il giusto assetto del *towfish*,
- lo svolgimento di linee di navigazione devono essere effettuate
 - il più rettilinee possibile e, possibilmente, parallele alle isobate,
 - a velocità il più costante possibile e mai superiore ai 3 Mn,

Ad un'altezza dal fondale il più possibile prossima ad un decimo del *range* individuato bisogna, inoltre, verificare:

- a) la sovrapposizione tra le linee (*overlapping*),
- b) il funzionamento del sistema di posizionamento del *towfish* per la correzione del *layback* (pastecca contametri interfacciabile, o sistema di posizionamento *Ultra - Short Base Line positioning system* - USBL)
- c) i valori di *offset* per la correzione di *layback* tra antenna GNSS e punto di vincolo del cavo o USBL,
- d) il corretto funzionamento del sistema di posizionamento GNSS con correzione differenziale.
- e) la corretta individuazione automatica del fondale (*bottom tracking*).

Una volta posizionato in acqua, il *towfish* e prima di iniziare a filare il cavo è necessario eseguire due controlli importanti: 1) osservare con attenzione il giusto assetto del *towfish* per verificare, che navighi correttamente dritto senza cambi di direzione evidenti; 2) se non si sta usando un sistema di posizionamento acustico specifico, resettare il contametri del cavo in modo di avere, durante tutta la fase di acquisizione, un valore corretto della lunghezza del cavo fuori dalla nave per la giusta correzione di *layback* in fase di post-processing.

Una volta iniziato a filare il *towfish*, appena si riesce ad osservare l'immagine sonar del fondale, è possibile rendersi conto se ci sono problemi di assetto. In prima analisi va verificato che l'altezza del pesce dal fondo (primo eco di ritorno) sia uguale per i 2 canali (figura 27).

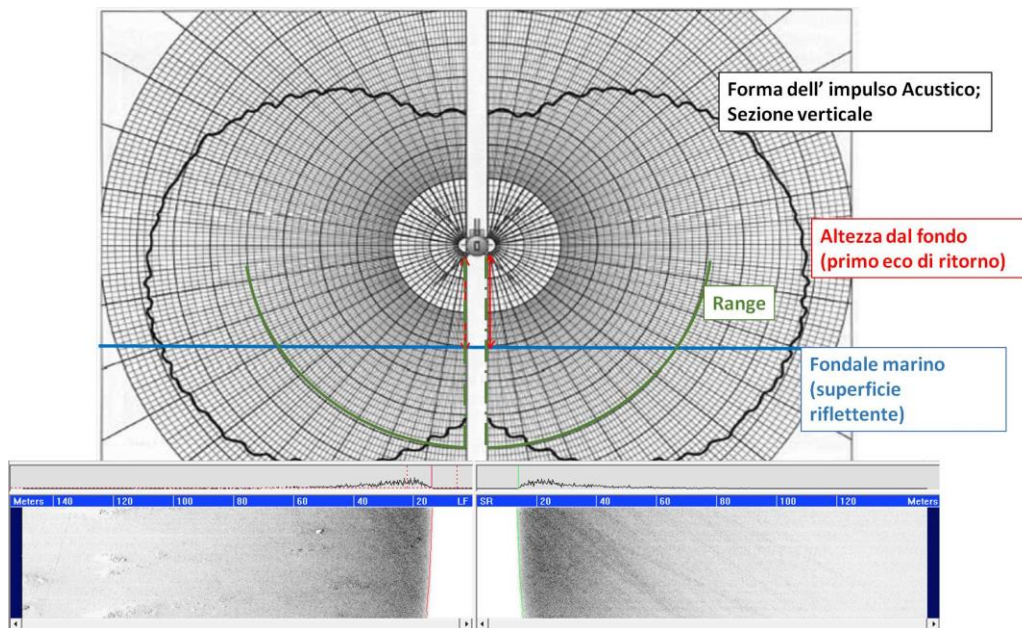


Figura 27 – Condizioni operative “normali” d’acquisizione del Side Scan Sonar in cui i 2 trasduttori identificano simultaneamente il fondale marino alla stessa profondità.

Quando i due sensori misurano quote dal fondo differenti è sintomo di un problema. Questa situazione può presentarsi anche durante l’acquisizione e indica che il *towfish* naviga inclinato lungo l’asse trasversale. Questa variazione di asseto è spesso causata da oggetti impigliati sul *towfish*, come, ad esempio, buste di plastica, tramagli o reti da pesca oppure, si può verificare per la perdita di una delle pinne stabilizzatrici poste sulla coda del pesce. Il dato che si ottiene in questo particolare caso (illustrato in figura 28) può presentare una differenza di quota di alcuni metri sulla verticale del *towfish*.

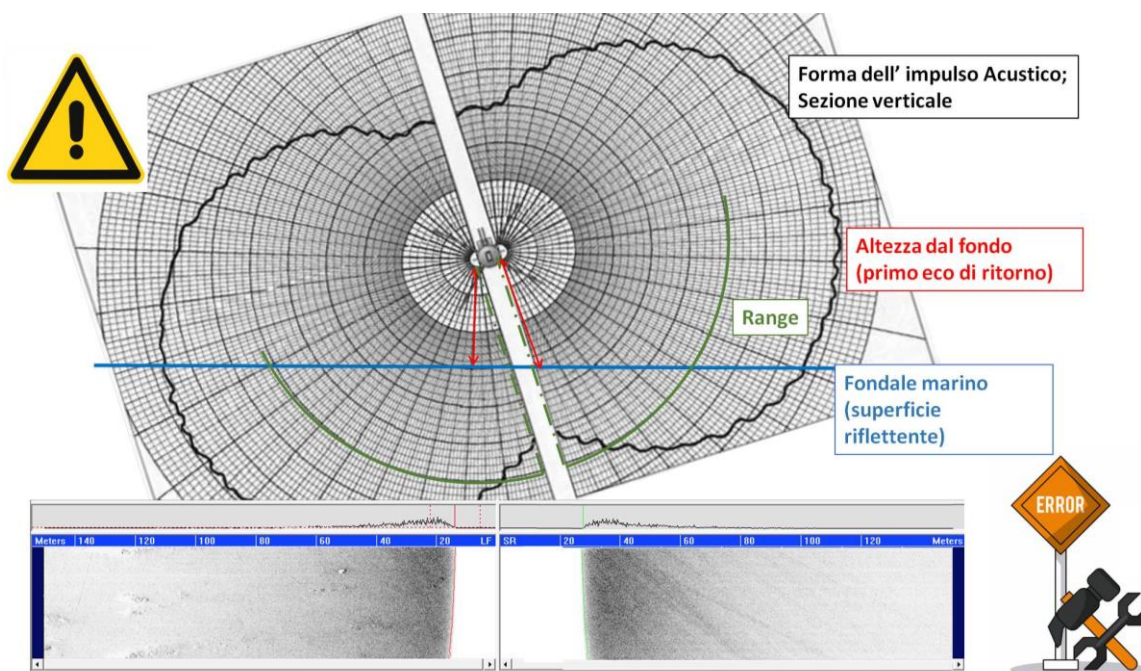


Figura 28 - Caso di anomalia dovuta dalla rotazione lungo l'asse del SSS in cui i 2 trasduttori identificano il fondale marino a differenti profondità.

Questa tipologia di errore in quota per effetto di rotazione dell'asse non è recuperabile in *post-processing* e determinerà un errore nella correzione dello *slant range*. Quando si ha la percezione di questo tipo di problema è necessario interrompere l'acquisizione e verificare le condizioni operative del *towfish*. Altri problemi d'assetto del pesce sono meno visibili sul sonogramma e vanno ricercati analizzando il file di assetto e navigazione.

Tutti i software di acquisizione hanno una finestra dove viene visualizzato il movimento del *towfish* e dove è possibile osservare in tempo reale la direzione, la sovrapposizione e la posizione relativa dello *swath* rispetto alla linea di navigazione. Il figura 29 è illustrato un esempio della schermata di navigazione (*Discover Coverage Mapper*) del software Edgetech Discover. Da questa finestra è possibile rendersi conto se si sta acquisendo in modo corretto o no. La figura 29 evidenzia l'assenza di *overlapping* causato da un errore di progettazione nella scelta delle linee di navigazione. Inoltre, si può notare come la disposizione degli *swath* non siano ortogonali alla traccia di navigazione. In quest'ultimo caso il problema potrebbe essere legato alla deriva del pesce ben visibile nell'offset dell' *heading*. L'immagine mosaicata del dato presenterà (considerando una buona correzione di *layback*) un andamento "a dente di sega" delle morfologie lungo un profilo trasversale rispetto la direzione di navigazione (Figura 12.4).

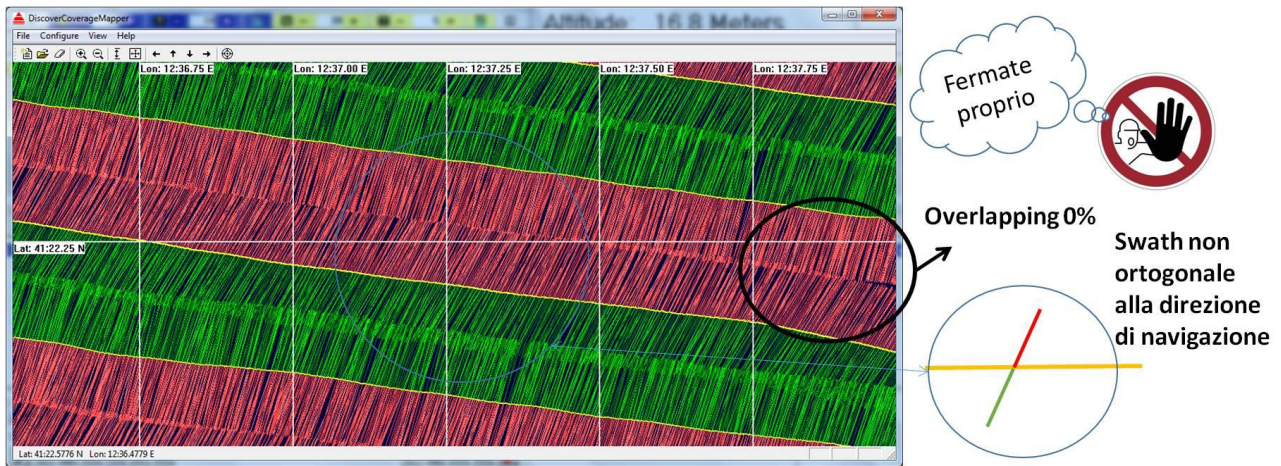


Figura 29 - Finestra di navigazione real-time del software Edgetech Discover. Si evidenziano una scarsa o assente sovrapposizione delle spazzate e un assetto (heading) anomalo del Side Scan Sonar.

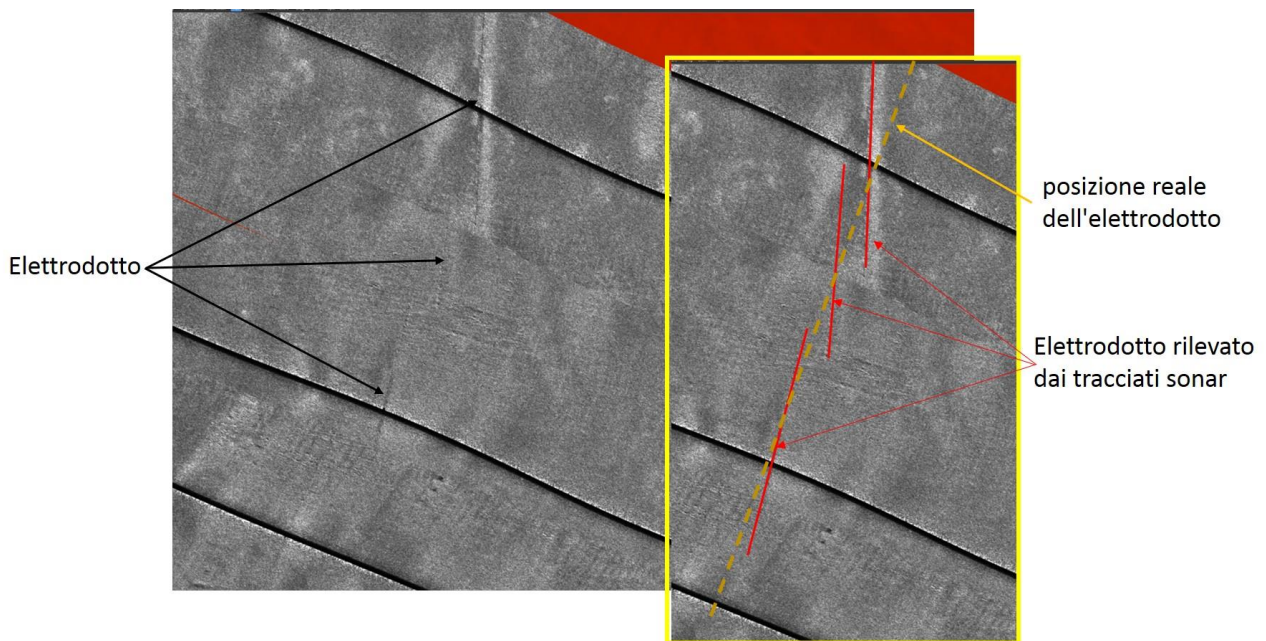


Figura 30 - Esempio di rilievo Side Scan Sonar con un evidente errore nell'*heading*.

Questa variazione di assetto può essere causata da una non perfetta equilibratura dei pesi sul *towfish*. Può accadere, ad esempio, che si abbia la necessità di allocare sul *towfish* rimanenze del cavo di collegamento (occhielli), in questo caso si rischia di realizzare delle superfici idrodinamicamente attive che tendono a portare fuori assetto il pesce quando trainato. Un'altra causa può essere imputata al cattivo funzionamento della girobussola integrata nel *towfish*.

Mentre la mancanza di *overlapping* non è modificabile in *post-processing*, l'errore di *heading* è recuperabile con alcuni software di elaborazione di ultima generazione, con una complessa e onerosa in termini di tempo elaborazione.

Dopo aver controllato l'assetto del *towfish* si può procedere con l'acquisizione. È buona norma iniziare l'acquisizione del dato SSS dopo aver portato il *towfish* alla profondità ideale di lavoro, cioè ad un'altezza dal fondale pari al 10% del *range* di profondità scelto per il rilievo. L'operazione di affondamento del *towfish* dipende delle velocità di navigazione, dalla profondità dell'area d'indagine e richiede del tempo, pertanto, va eseguita qualche centinaio di metri prima dell'arrivo nell'area di lavoro.

Come già accennato l'altezza del *towfish* dal fondale è un parametro essenziale per eseguire un rilievo ad alta risoluzione poiché determina il *footprint* o *insonified region* (ER), cioè la dimensione dell'area insonorizzata e la relativa risoluzione *along track*. Per questo motivo l'altezza del *towfish* dal fondale va costantemente monitorata e, quando necessario, va prontamente riequilibrata recuperando o filando il cavo di traina/trasmissione dati. Quest'azione comporta, ovviamente, un cambio di quota, un cambio di posizione, avvicinandosi o allontanandosi dalla posizione della nave e comporta anche delle significative variazioni di velocità tra il pesce e la nave che si traducono in una serie di compressioni e decompressioni del dato difficilmente risolvibili in post-processing. Per tali motivi è sempre consigliabile limitare al minimo le manovre sul cavo di traino ed eseguirle solo quando strettamente necessarie.

Per il posizionamento del SSS oltre ad utilizzare il sistema contametri della pastecca, è possibile impiegare dei sistemi acustici USBL, genialmente più affidabili.

Il sistema USBL è costituito da un emettitore di segnali acustici posizionati sul *towfish* e da un sistema integrato e compatto di trasduttori, montati sull'estremità inferiore di un palo installato su un lato dell'imbarcazione che, misurando la differenza di fase o tempi dei segnali provenienti dal *towfish*, ne determina la direzione (angolo di provenienza) e la distanza (Figura 31). L'utilizzo di tali sistemi riduce notevolmente l'errore di posizionamento prodotto dal solo calcolo del *layback* con un'approssimazione del 2% , in funzione del strumento, della distanza (ad esempio, l'errore di posizione di un *towfish* a 100 metri dalla nave sarà di ± 2 metri).

Posizionamento Acustico USBL

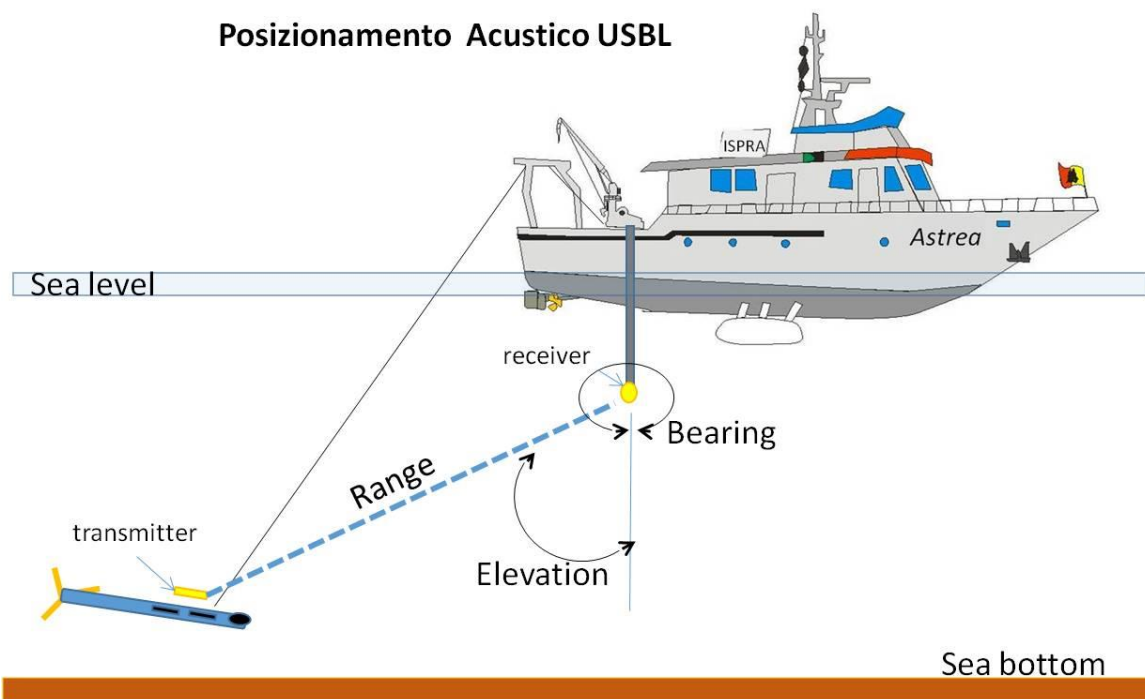


Figura 31 – Sistema di posizionamento acustico USBL del SSS rispetto all'imbarcazione d'appoggio.

Il riposizionamento geografico del dato sonar mediante calcolo del *layback* (figura 32) è un metodo valido che, tuttavia, può generare errori di decine di metri se non si acquisisce con molta attenzione. Con questo metodo è necessario, infatti, fornire al software di acquisizione la misura precisa della lunghezza del cavo dal punto di messa in acqua fino al *towfish* (*cable out*). Questa misura può essere letta direttamente dal sistema utilizzando una pasticca contametri interfacciata al pc, oppure può essere inserita manualmente ogni volta che viene recuperato o filato il cavo di traino.

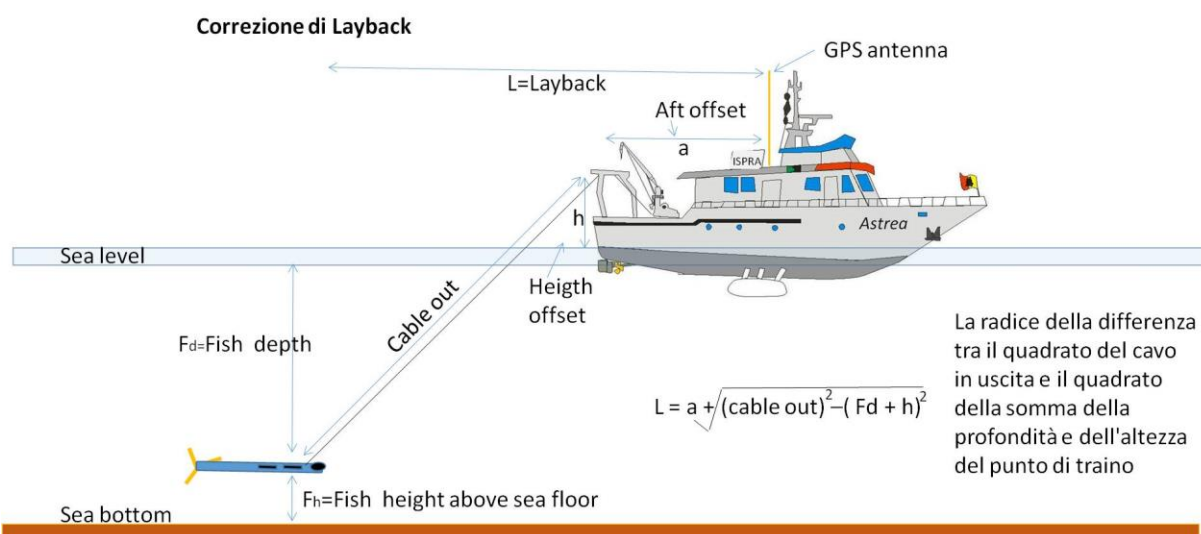


Figura 32 - Schema riassuntivo della Correzione di *layback*.

In figura 33 è illustrata la schermata di gestione del *layback* per il software Edgetech Discover. In questa finestra è possibile scegliere con quale modalità fornire al sistema la misura del *cable out* e scegliere la modalità di calcolo del *layback*. Per eseguire il calcolo è necessario inserire nel software i valori corretti di *offset* per indicare la posizione del punto di messa a mare del *towfish* rispetto la posizione dell'antenna GNSS. Il controllo di questi *offset* è una pratica essenziale da fare prima della fase di acquisizione poiché non è correggibile in fase di *post processing*.

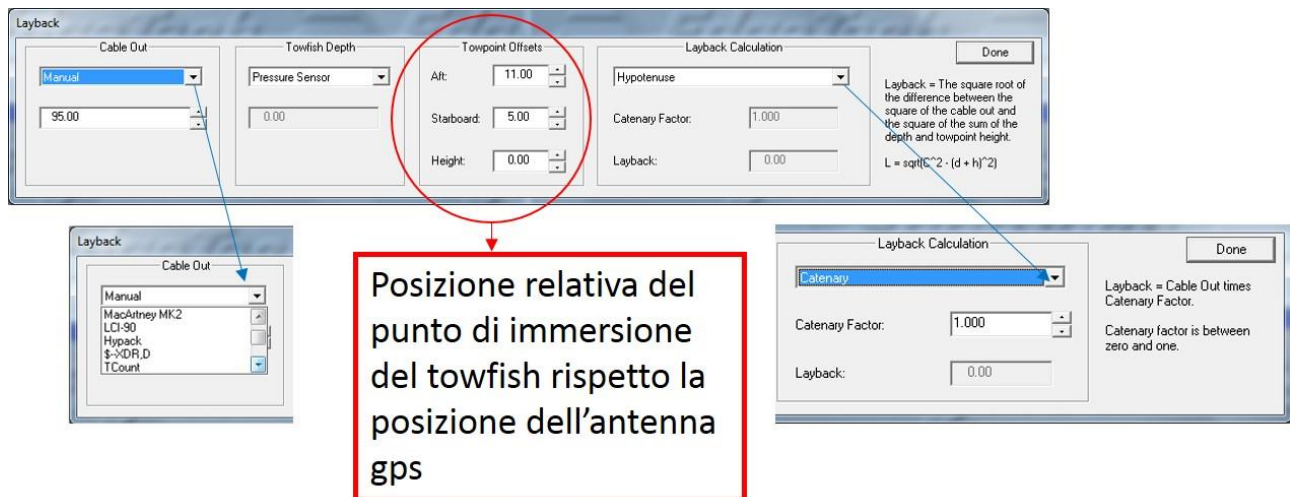


Figura 33 - schermata di gestione del *layback* per il software Edgetech Discover; parametri di *offset* essenziali.

Come descritto in precedenza, la posizione del Side Scan Sonar generalmente subisce un errore di posizione compreso tra il metro (sistemi USBL) e la decina di metri (correzione di *layback*); per evitare di introdurre ulteriori fattori di errore è necessario adottare sistemi GNSS con correzione differenziale (DGNSS) di media accuratezza di tipo HP (*High Precision*) (p.es.. Fugro Seastar, Ominstar, Atlas, ecc.). Durante le fasi di acquisizione è necessario verificare la trasmissione delle correzioni in uso nella finestra di navigazione del software di acquisizione. In figura 34 è illustrato un esempio di acquisizione con un segnale differenziale instabile dove è possibile osservare come la traccia di navigazione (linea gialla) presenta un tipico andamento “a dente di sega” evidenziando la presenza di un continuo salto di posizione da parte del sistema di posizionamento della nave. Il dato che si acquisisce con questo tipo di errore, risulta estremamente illeggibile e non è correggibile in fase di *post processing*.

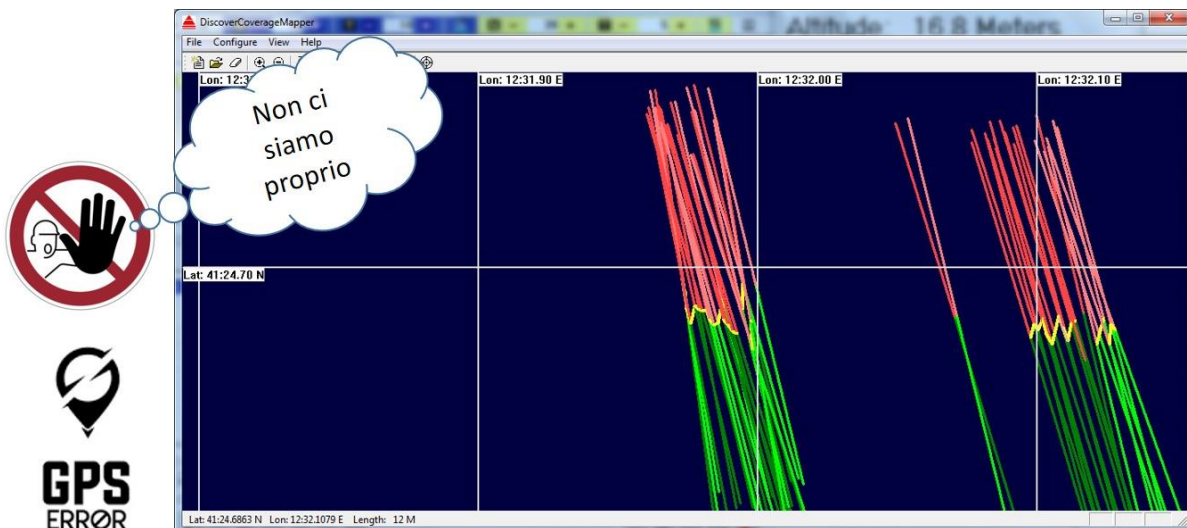


Figura 34 - esempio: Finestra di navigazione del software Edgetech Discovery. Evidenza di salti di posizione dovuti al segnale GPS.

Un'altra buona pratica, in fase di acquisizione, è quella di controllare con continuità il tracciamento della giusta linea di fondo (*bottom tracking*). Il primo impulso registrato dal *towfish* viene associato al primo eco disponibile e, quindi, all'altezza del pesce dal fondale. La colonna d'acqua che divide il *towfish* dal fondale porta, però, con sé numerosi valori di fondo dovuti alla diffrazione dell'onda acustica. Le interazioni sonore che il segnale incontra nel percorrere la colonna d'acqua (reti, rifiuti, banchi di pesci, acque torbide, correnti da propulsione, echi di ritorno dalla superficie, ecc, ecc) generano un altissimo rumore di fondo all'interno del quale è estremamente difficile riconoscere il primo segnale di ritorno dal fondo del mare sotto la verticale del *towfish*. Tuttavia, riconoscere correttamente la "linea del fondo" e, quindi, l'altezza precisa del *towfish* rispetto al fondale, è la base per effettuare la correzione geometrica e radiometrica dell'immagine sonar a scansione laterale.

Per questo motivo, ogni software di acquisizione presenta una gestione automatica di riconoscimento del fondale che segue algoritmi specifici ed univoci.

Durante la fase di acquisizione è possibile intervenire forzando l'individuazione del fondale manualmente ed è possibile impostare una finestra batimetrica (benché temporale) all'interno del quale il programma ricerca il segnale che più approssima la "linea di fondo" (figura 35).

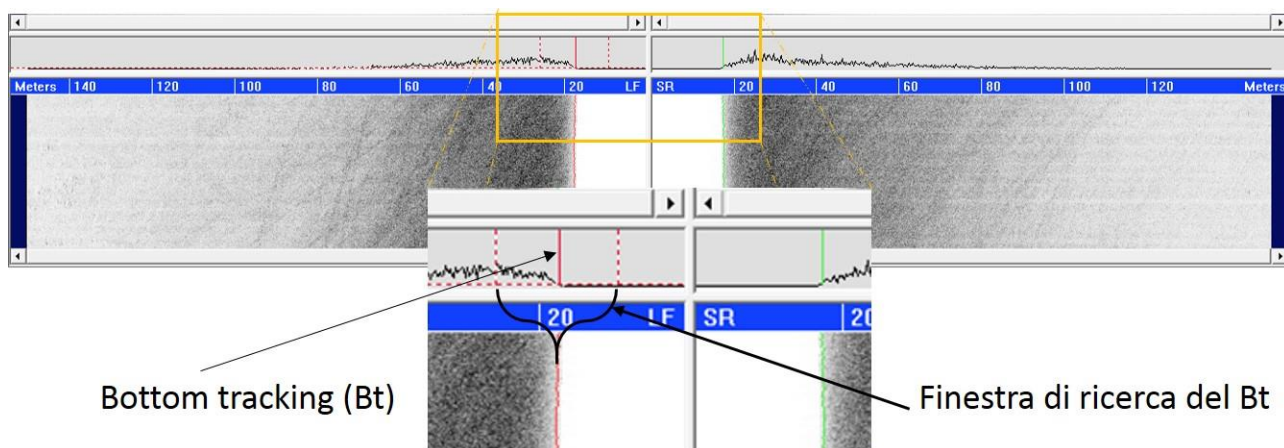


Figura 35 - dettaglio sulla finestra di gestione del *bottom tracking*.

L'errato riconoscimento della "linea di fondo" ed uno scarso funzionamento del *bottom tracking*, può portare ad una forte distorsione delle morfologie di fondo poiché al reale *backscatter* del fondale si andrebbero a sommare le intensità di ritorno degli oggetti, o dei rumori, presenti nella colonna d'acqua generando errori non correggibili in *post-processing*.

Esempio di qualità del dato SSS per la mappatura degli habitat sommersi

Il Side Scan Sonar, per quanto al giorno d'oggi sia frequentemente sostituito nell'utilizzo dal più performante e complesso sonar multifascio (*multibeam echosounder*), rimane uno strumento che, se mantenuti i corretti rapporti tra *range* e frequenza (come espressi in tabella 2) fornisce sempre dati ad altissima risoluzione. Come detto in precedenza, la buona qualità del dato, sia esso acquisito con il SSS o con uno degli altri strumenti utilizzati in ambito geofisico, così come i successivi elaborati, necessita di un'attenta fase di acquisizione e di una accurata fase di elaborazione.

L'elaborazione del dato di *backscatter* prevede, in linea generale, l'esecuzione di alcune elaborazioni:

1. correzioni di assetto e *layback*,
2. correzione geometrica *slant range*,
3. correzione radiometrica,
4. correzione di velocità (*speed correction*) e mosaicatura

La correzione di *layback* viene effettuata già durante l'acquisizione (vedi paragrafo precedente) ed è possibile modificarla e affinarla in *post-processing*, in modo tale da far combaciare perfettamente le morfologie rilevate tra i vari tracciati acquisiti.

La correzione geometrica più importante è la *slant range correction* (correzione dell'intervallo di inclinazione) che esegue una proiezione del dato SSS, convertendolo dalla scala tempo alla scala metrica e ricostruendo, così, l'andamento reale delle superfici investigate (Figura 36).

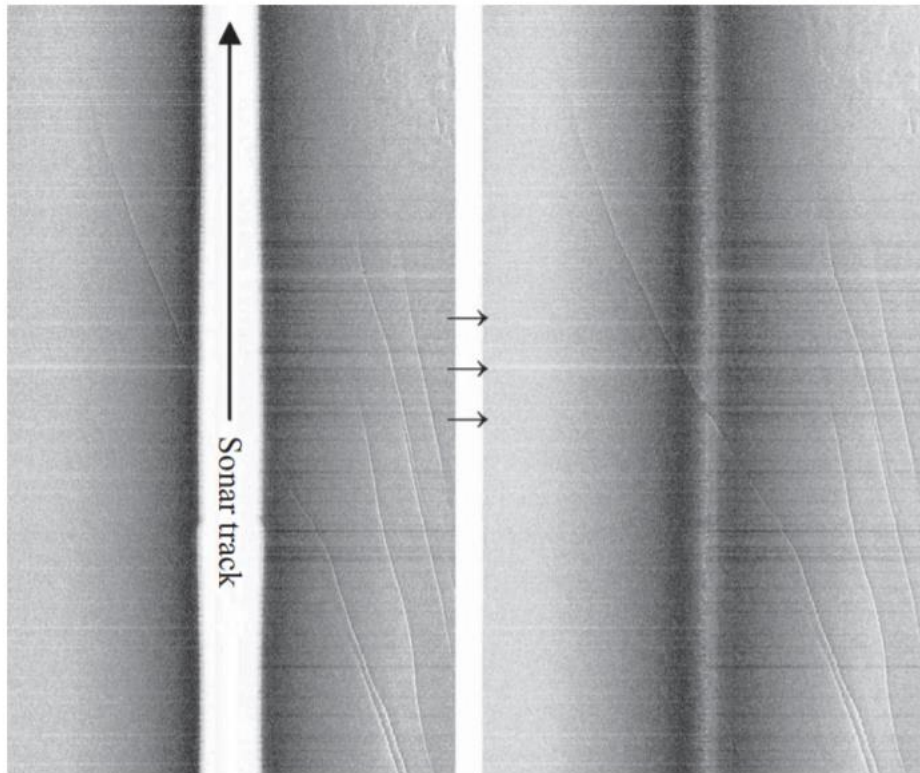


Figura 36 - Immagine sonar prima e dopo l'applicazione della correzione di *slant range*.

La correzione radiometrica prevede un insieme di elaborazioni (*Time Varying Gain* (TVG); *Automatic Gain Control* (AGC); *Beam Angle Correction* (BAC)), sia in fase di acquisizione che di *post-processing*, per la normalizzazione dell'energia lungo traccia trasversale (maggiore in prossimità della traccia centrale) e l'eliminazione dei rumori di fondo. In particolare, si esegue una compensazione dell'attenuazione dei segnali in funzione dell'angolo di incidenza, con l'obiettivo di stimare al meglio la reale riflettività del fondale. I software di post-processing di ultima generazione eseguono questa correzione anche automaticamente durante la lettura dei file grezzi (*raw data*), mentre, con software di vecchia generazione, le correzioni avvenivano attraverso l'analisi del *beam pattern* o della *shading correction*, ovvero la normalizzazione dei segnali acustici di ritorno.

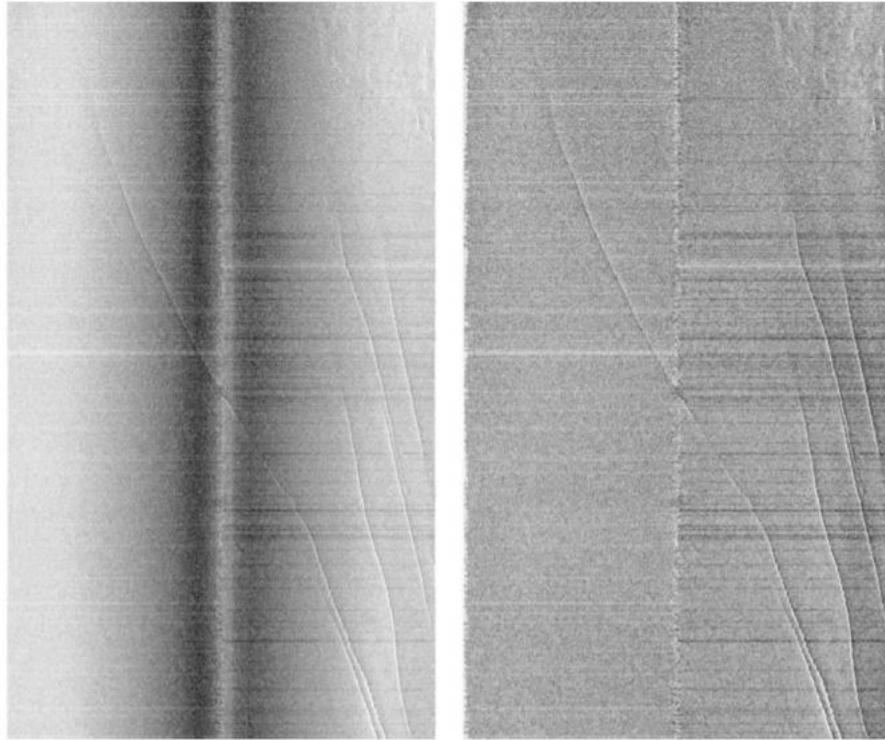


Figura 37 - Immagine Sonar prima e dopo la correzione radiometrica (beam pattern)

La correzione della velocità (*speed correction*) prevede che i sonogrammi vengono visualizzati in funzione del tempo di *pinging* (impulso) e che vadano successivamente convertiti in intervalli metrici in relazione alla velocità e direzione della nave. L'immagine ottenuta viene proiettata in un sistema geografico originando l'immagine sonar mosaicata

Al termine dei processi di elaborazione il dato sonar permette (e deve permettere) il riconoscimento di tutte le morfologie note sul fondo del mare. Di seguito vengono riportati alcuni esempi di dati SSS di pessima e buona qualità per la mappatura degli habitat sommersi

Esempi di dati SSS di bassa qualità, non utilizzabili per la mappatura degli habitat sommersi

a) Esempio 1:

In figura 38 vengono illustrati i risultati di un mosaico SSS, acquisito nell'ambito delle attività svolte nei programmi di monitoraggio della Marine Strategy per il descrittore D6, dove risultano evidenti alcune criticità.

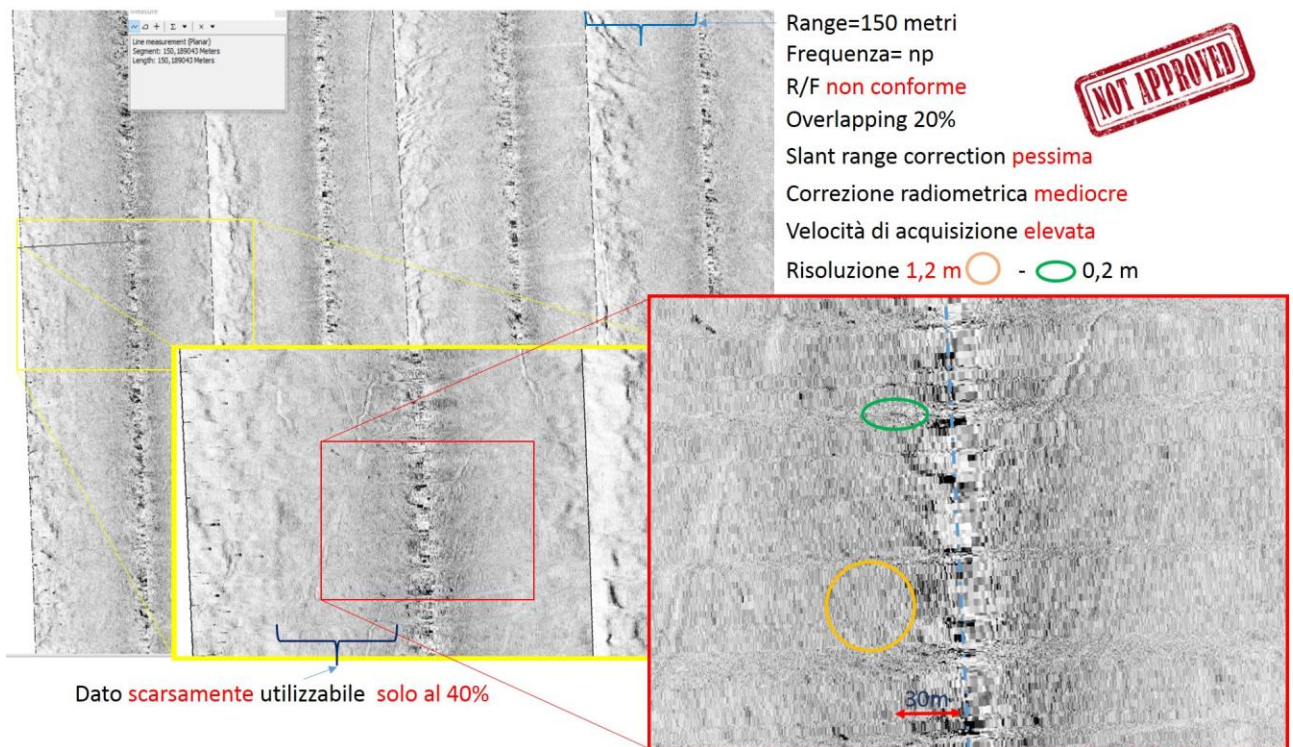


Figura 38 Mosaico SSS acquisito nell'ambito della Marine Strategy per il descrittore D6, dove risultano evidenti criticità relative alla velocità di acquisizione, alla correzione di *slant range* e alle correzioni degli offset legati al *layback*.

Il rilievo SSS illustrato in figura 38 è stato condotto con un range di 150 metri, con *overlapping* del 20% (frequenza non nota). La porzione esterna del dato presenta delle deformazioni con artefatti che modificano l'aspetto reale del fondale marino rendendo illeggibile tra circa 75 m e 150 m su entrambi i canali. Inoltre, la correzione di *slant range* ha prodotto un dato estremamente rumoroso che non permette di osservare i primi 40/60 metri (circa 20- 30 metri per lato). Nel dettaglio evidenziato dall'area rossa di figura 38 è possibile misurare la dimensione dei pixel che, in prossimità della verticale sotto il *towfish*, risulta mediamente di circa 1,2 metri. Questo valore identifica una scarsissima risoluzione *along track* (generalmente prossima a 0,2 metri). Tale configurazione risulta insufficiente a visualizzare lineamenti erosivi/deposizionali presenti sui fondali prodotti dall' azione della pesca a strascico (descrittore D6), che generalmente producono solchi di circa 0,5 metri. La scarsa risoluzione e la grande deformazione delle morfologie nella porzione laterale dell'immagine sonar lascia ipotizzare che il rilievo sia stato eseguito ad una velocità di navigazione eccessiva non compatibile con gli obiettivi del programma di monitoraggio. Un'alta criticità riscontrata sul mosaico SSS riguarda l'errore nella determinazione e correzione del *layback* (figura 39).

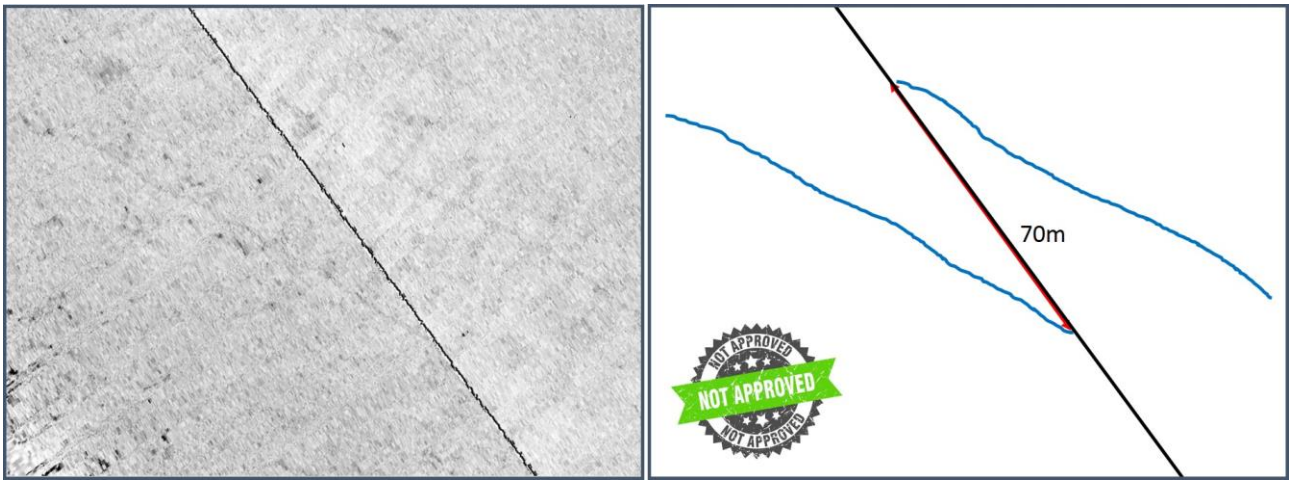


Figura 39 – Esempio di criticità prodotto dalla errata o mancanza di correzione di Layback (lunghezza del cavo fuori), che produce un disallineamento dei tracciati di circa 70 metri.

In figura 39, sfruttando una piccola porzione in cui il dato non mostra enormi deformazioni, è possibile misurare un disallineamento dei tracciati di circa 70 metri. Questo errore potrebbe essere corretto con una nuova fase di elaborazione.

b) Esempio 2:

In figura 40 è illustrato un dato elaborato solo parzialmente e, in alcuni tratti, altamente disturbato tanto da perdere informazione sul fondale. Risulta evidente come le correzioni di slant range risultano eseguite parzialmente e male. Nello specifico, la traccia centrale presenta una “No Data”, zona sotto la verticale del *towfish* di circa 60 metri. Inoltre, le correzioni radiometriche non risultano applicate ed il rilievo si presenta come un variegato gruppo di *facies* acustiche separate. Infine, non risulta essere stata applicata la correzione di layback, infatti i tracciati sono rappresentati con *shift* variabili di circa 120 metri l’uno rispetto all’altro. Analizzando la dimensione dei pixel (0,2 metri *across* ed *along track*) risulta inoltre, che questo rilievo è stato eseguito correttamente (relativamente alla velocità di acquisizione e all’altezza del *towfish* dal fondo) in fase di acquisizione, ma non è stato corretto adeguatamente in fase di elaborazione (*post processing*). Il dato così presentato non è sufficientemente idoneo per la mappatura di habitat sommersi.

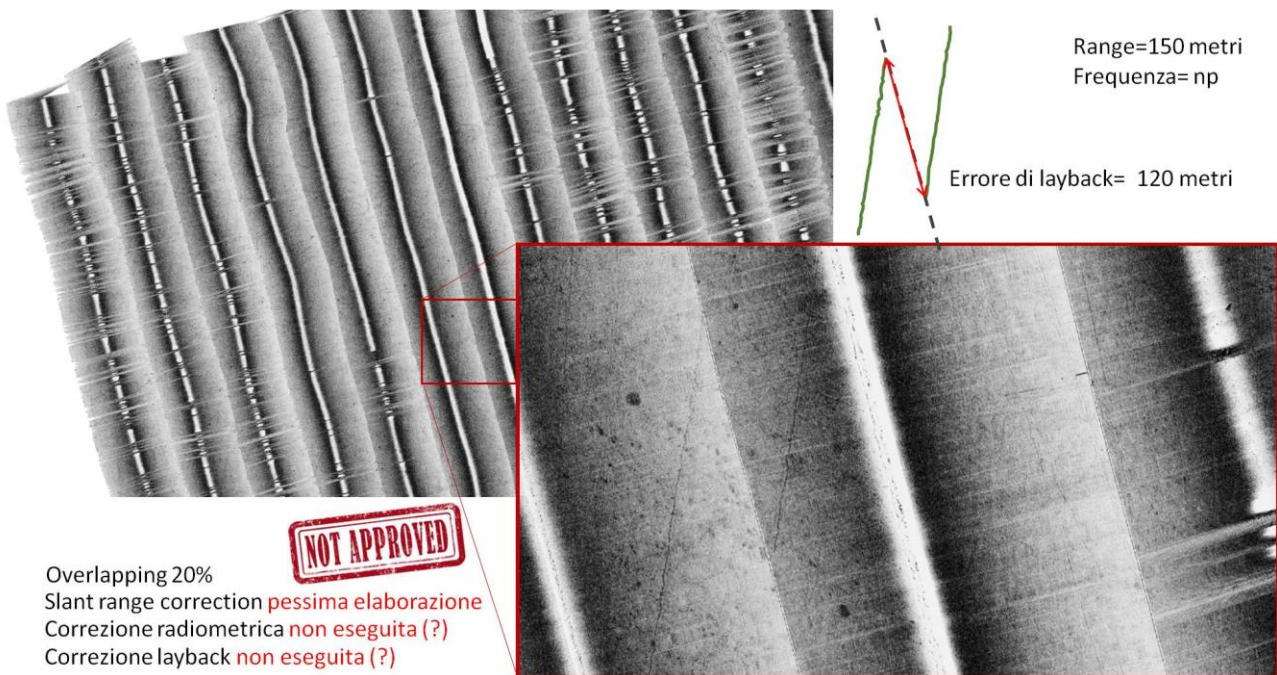


Figura 40 - Esempio di rilievo e mosaico SSS non restituito correttamente in fase di post-processing, così come evidenziando dai numerosi artefatti acustici e geometrici.

c) Esempio 3:

In figura 41 è rappresentato un rilievo SSS acquisito sempre nell'ambito delle attività della Marine Strategy per il piano di monitoraggio del descrittore D6. Il mosaico SSS evidenzia come non siano presenti variabilità dei fondali e siano presenti artefatti acustici. Non è possibile, infatti, analizzare alcuna morfologia né variazioni d'intensità di backscatter legata alla tessitura dei fondali. Quando il prodotto finale del mosaico side scan sonar si presenta come quello presentato in figura 41, il rilievo andrà ripetuto.

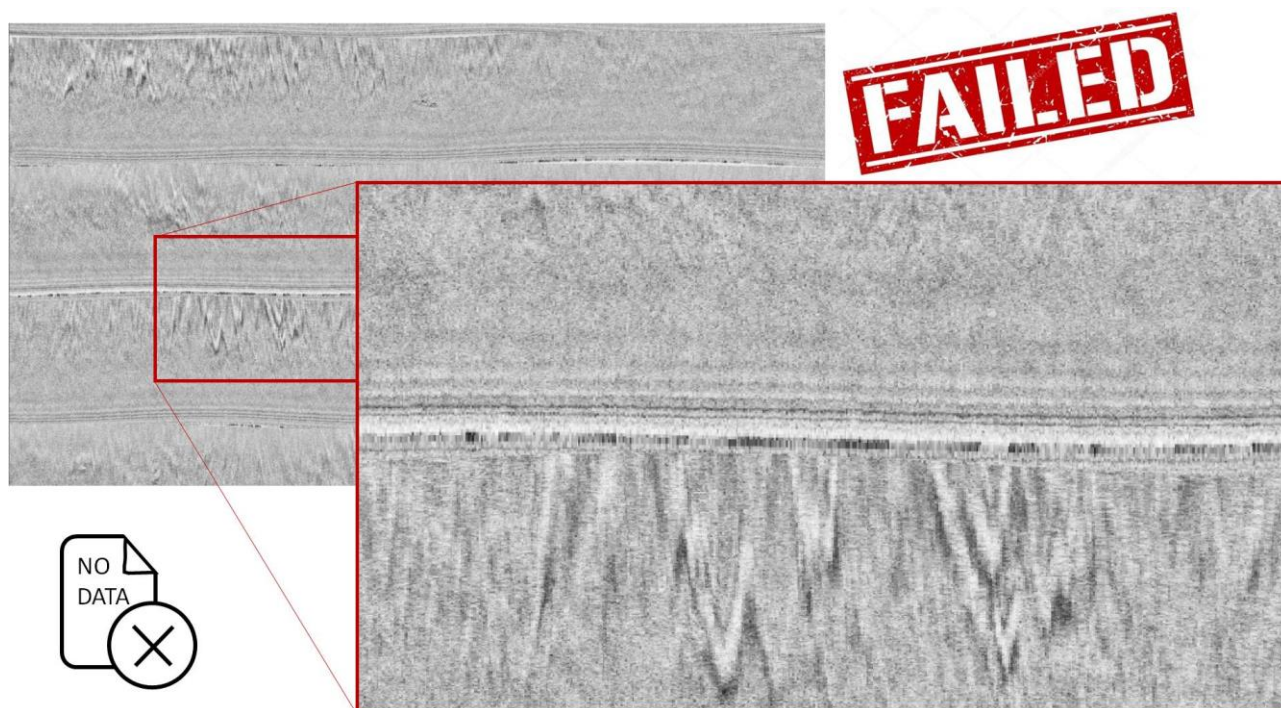


Figura 41 - Esempio di mosaico SSS caratterizzato da artefatti acustici non idoneo all'interpretazione di lineamenti morfologici e/o variazioni tessiturali.

d) Esempio 4:

In figura 42 è rappresentato un ulteriore mosaico SSS dal quale non è possibile stabilire né il processo né l'errore che lo ha generato. Si può ipotizzare che sia il risultato di una sovrapposizione di due rilievi distinti, acquisiti con *range* e frequenze differenti. Ad ogni modo risulta evidente come i dati non permettano di interpretare lineamenti morfologici e/o variazioni tessiturali dei fondali. Il rilievo non è utilizzabile ai fini della mappatura degli habitat marini.

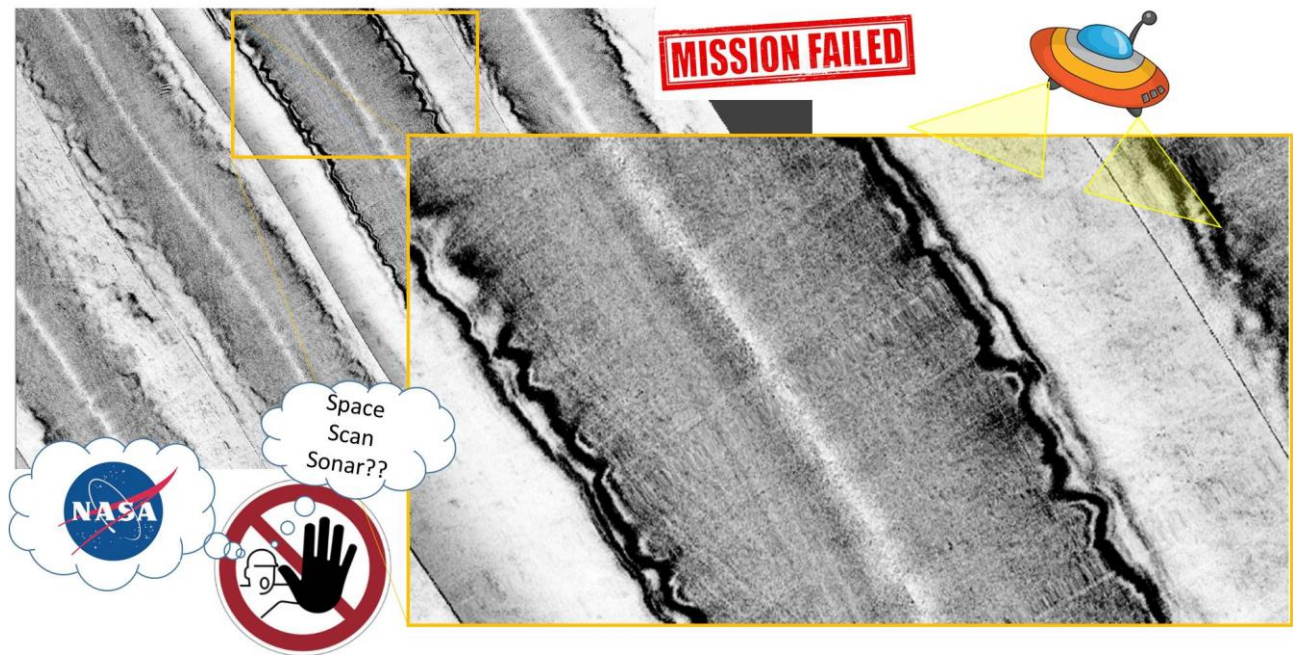


Figura 42 - Esempio di un mosaico Side Scan Sonar probabilmente caratterizzato dalla mosaicatura di più rilievi acquisiti con range e/o frequenza differenti.

Esempi di dati di buona qualità, utilizzabili per la mappatura degli habitat sommersi.

In figura 43 viene illustrato un rilievo SSS che, nonostante sia caratterizzato da una non perfetta elaborazione dei dati, presenta comunque le informazioni necessarie per essere utilizzato ai fini della mappatura degli habitat (*habitat mapping*).

Il rilievo è stato eseguito con un range di 75 metri e con *overlapping* del 20% (la frequenza utilizzata non è nota). L'analisi dimensionale del pixel evidenzia una risoluzione più o meno omogenea di 0,4 metri. Il dato presenta, tuttavia, delle imperfezioni per quanto riguarda la correzione radiometrica evidenziata da una marcata differenza di *facies* acustica al contatto dei vari tracciati. Il rilievo di figura 43 potrebbe essere migliorato eseguendo una nuova elaborazione.

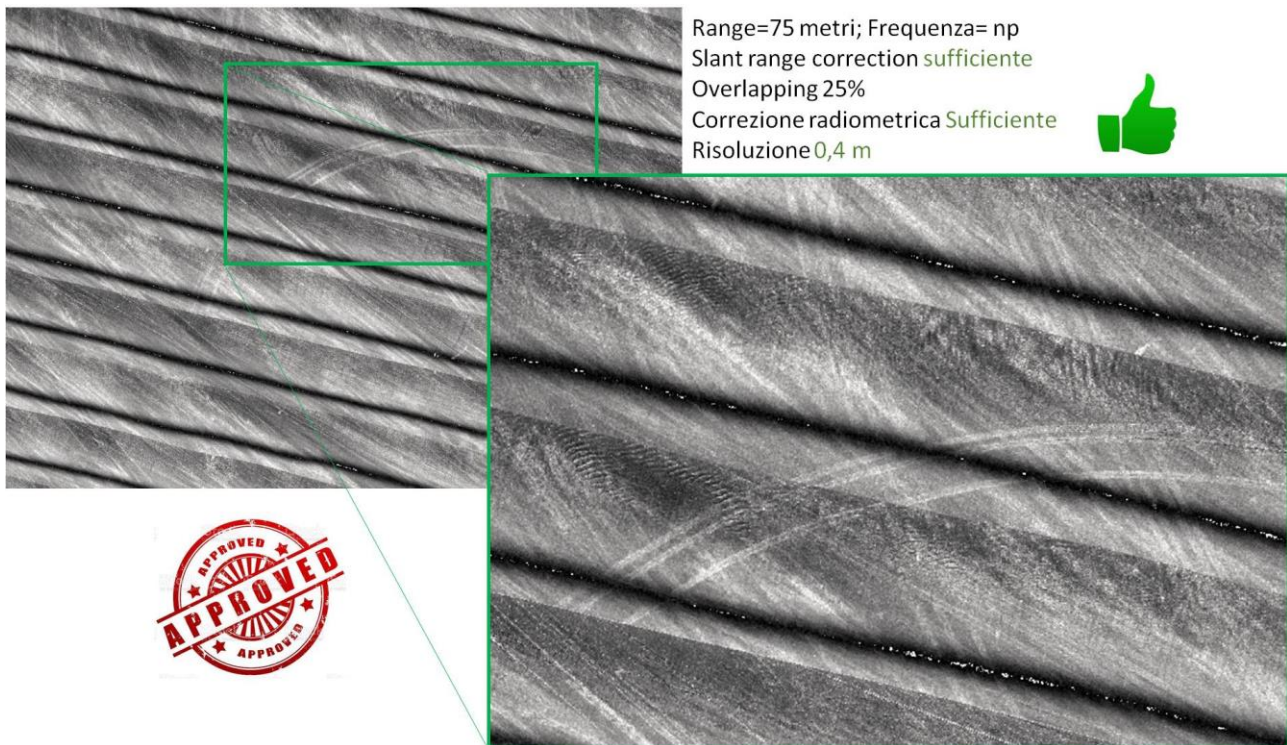


Figura 43 - Esempio di dato Side Scan Sonar di Qualità idonea per l'interpretazione delle morfologie sommerse.

In figura 44 viene illustrato un mosaico SSS utile al fine dell'habitat *mapping*, nonostante una non accurata elaborazione del dato. Il rilievo è stato condotto con un *range* di 150 metri e con *overlapping* del 20% (frequenza utilizzata non nota). L'analisi dimensionale del pixel evidenzia una risoluzione di circa 0,2 metri. Il dato presenta alcuni problemi legati ai tracciati sonar che non risultano perfettamente allineati con errori di *layback* stimati a 23 metri. Sui dati è inoltre presente un rumore di fondo che ha prodotto un'immagine generalmente frammentata lungo la traccia di navigazione. Questo rumore potrebbe essere generato della turbolenza prodotta dai propulsori dell'imbarcazione, o dell'uso di altri strumenti acustici in contemporanea che utilizzano frequenze simili (ad esempio ecoscandagli).



Figura 44 - Esempio di dato SSS di buona qualità.

Conclusioni

Il presente documento illustra il processo di analisi e valutazione della qualità dei modelli digitali del fondo marino ottenuti da tecnologia geofisica multibeam ad alta risoluzione e i mosaici side scan sonar finalizzati al seafloor e habitat mapping. Nello specifico sono state analizzate per il mutibeam le tematiche che riguardano le progettazioni delle indagini geofisiche in mare: a) le procedure di analisi delle velocità del suono in acqua, b) le tecniche di calibrazione, c) i sistemi di posizionamento differenziali per i natanti, d) i riferimenti per le quote altimetriche ed infine, e) le analisi e le verifiche di controllo dei dati sui modelli digitali ad alta risoluzione. Per quanto riguarda il side scan sonar: a) la scelta del rapporto range/frequenze ottimali, b) la realizzazione di un piano di acquisizione che preveda rotte parallele alle isobate con un overlapping del 20%. Inoltre, sono stati definiti i passaggi fondamentali da verificare in fase di acquisizione, quali: c) l'assetto del towfish, d) la verifica dell'altezza dal fondale del towfish, che deve essere pari a 10% del range, d) in controllo delle velocità di navigazione non superiori ai 3 Kn, e) analisi e verifica del posizionamento GNSS differenziale, f) controllo e analisi della lunghezza del cavo di traino da applicare alle correzioni di layback, g) controllo e verifica dei dati SSS raccolti già in fase d'acquisizione per verificare l'assenza di anomalie, distorsioni, e/o rumori e controllo della reale dimensione dei pixel per avere una stima della ottenuta.

Questo documento costituisce uno strumento di analisi per la verifica di tutti quei processi che concorrono nella realizzazione di DEM ad alta risoluzione e mosaici Side Scan Sonar ed è indirizzato ai Ricercatori, Tecnici e Amministratori che operano nell'ambito delle attività geofisiche in mare nell'ambito dei progetti della Marine Strategy, ma utile anche al personale che opera direttamente o indirettamente con le Arpa e/o che interagisce nell'ambito di attività in mare (Aree Marine Protette, aree SIC), anche per il controllo e/o il monitoraggio con tecnologia multibeam e SSS ad alta risoluzione.

L'importanza di ricostruire cartografie bati-morfologiche e mosaici SSS di qualità e ad alta risoluzione, oltre ad essere di supporto alla corretta analisi ed interpretazione dei lineamenti morfologici, consente di produrre cartografie tematiche di habitat mapping di qualità e di generare modelli digitali di riferimento per comparazioni future utili ad un monitoraggio ambientale.

L'analisi di tutti i processi che concorrono alla ricostruzione di cartografie numeriche ad alta risoluzione accurate e precise, saranno propedeutici agli studi di fenomeni fisici, chimici e biologici che interagiscono sui fondali marini sia di natura rocciosa che sedimentaria.

Allo stato attuale le aree marine nei bassi fondali delle piattaforme continentali e dei complessi vulcanici insulari italiani, risultano ancora inesplorati e, sebbene esistano ad oggi ulteriori tecniche d'indagine di rilevamento da remoto (LIDAR bathymetry, fotogrammetria da UAV, ecc.) in grado di generare cartografie nei primi metri di profondità, le metodologie d'indagine geofisica multibeam e SSS rappresentano ancora il sistema più efficace nell'alta risoluzione (sia da nave che da sistemi autonomi AUV).

La possibilità di predisporre di modelli tridimensionali accurati e precisi e di mosaici side scan sonar ad alta risoluzione correttamente georeferiti nello spazio, sarà di supporto a tutte quelle attività scientifico-tecniche applicate che operano nel campo della biologia e geologia marina, così come nell'ingegneria marittima e nella fisica oceanografica.

Requisiti delle indagini geofisiche per i programmi di monitoraggio MSFD

Nelle tabelle riportate di seguito vengono riassunti tutti gli elementi utili, descritti nei paragrafi precedenti, per la definizione di un capitolato tecnico per le indagini geofisiche ad alta risoluzione per il seafloor e l'habitat mapping. Eseguire un rilievo Multibeam e/o Side Scan Sonar secondo le indicazioni riportate nei programmi di monitoraggio D1-05, D1-06, D1-08 e D6- 02 conduce inequivocabilmente ad ottenere un dato ad alta risoluzione, fruibile per tutti i descrittori della Marine Strategy e della definizione delle perturbazioni fisiche eventualmente create da attrezzi di pesca che interagiscono con il fondo.

Programma D1-05 Posidonia oceanica

Acquisizione dei dati morfo-batimetrici ad alta risoluzione

L'acquisizione dei dati morfo-batimetrici ad alta risoluzione, come riportato nella scheda metodologica di riferimento per l'acquisizione dei dati relativi al "Programma D01-05 Posidonia oceanica", deve essere eseguita utilizzando un Multibeam echosounder, preferibilmente con installazione a scafo, in grado di restituire i dati batimetrici e morfologici con un dettaglio elevato dei tratti di fondale d'interesse e di registrare anche i dati di riflettività (backscatter). L'utilizzo del sistema Multibeam è da considerarsi prioritario per le indagini sull'habitat a Posidonia oceanica sia per la componente d batimetrica che di backscatter, tuttavia, in via secondaria potrà essere utilizzato il Side Scan Sonar. In ogni caso dovranno essere generati:

-modelli digitali terreno dei fondali (Digital Elevation Model - DEM) alla massima risoluzione disponibile (celle di dimensioni non superiori a 1 m, con qualità e risoluzione spaziale dei soundings che possa consentire nelle fasi di post-processing grid con equidistanza di 0.3 m;

-mosaici di backscatter (SSS/backscatter) alla massima risoluzione disponibile in formato Geotiff/ASCII GRID riferito a celle di dimensioni non superiori a 0.3 m;

Requisiti tecnici minimi:

La tabella seguente riporta i requisiti degli strumenti ed il formato in cui devono essere restituiti i dati acustici.

parametro	valore
Velocità di navigazione	≤ 5 kn per il MB - ≤ 3 kn per il SSS
Apertura fascio per MB (swath)	≤ 120°
Range per SSS (funzione della frequenza)	-100m o inferiore per frequenze comprese tra i 200 e 500Khz; -75m o inferiore per frequenze comprese tra i 1000khz e i 500 khz; -50m o inferiore per frequenze superiori a 1000 Khz
Altezza del SSS dal fondo	≤ 1/10 (un decimo) del range in uso
Layback SSS	Fisso o con pasticca conta metri
Frequenza di acquisizione*	≥ 200 kHz (SSS) - ≥ 400 kHz (MB)
Sovrapposizione linee di acquisizione	≥ 20%
Posizionamento GNSS	DGPS con accuratezza decimetrica
Dati mareografici	Da mareografi entro 100 km dal sito (UTC time)
Profili SVP	≥ 3 al giorno
Altezza onda	≤ 20 cm (≤10 cm in caso di imbarcazioni sotto i 10 m)
Modulazione frequenza di campionamento	Disabilitata
Restituzione dati e formato	
Sistema di riferimento e formato coordinate	Proiezione: geografiche, Datum: WGS84
Dati acustici (DTM e SSS/Backscatter)	File RAW originali acquisiti dallo strumento comprensivo di tutte le directory e file di progetto
Dati acustici (DTM e SSS/Backscatter)	MB: ASCII GRID riferito a celle di dimensioni non superiori a 1m x 1m con risoluzione e qualità del dato che possa consentire in post processing DEM fino a 0.3 m di spaziatura, possibilmente fornire anche file BAG (bathymetric attributed grid); SSS: (Geotiff (no RGB) riferito a celle di dimensioni non superiori a 0,30 m x 0,30 m per acquisizione SSS), possibilmente fornire anche file BAG (bathymetric attributed grid)
Rotte di navigazione	Shapefile
Dati Mareografici	Tabella
Profili SVP	Tabella valori con coordinate punti

*Modulare la scelta della Frequenza di acquisizione del Multibeam in funzione delle caratteristiche dello strumento utilizzato in relazione alla profondità di esecuzione del rilievo al fine di ottenere la massima qualità del dato. Si consiglia sempre di utilizzare la massima frequenza (costante) disponibile e la minima lunghezza dell'impulso del segnale.

Programma D1-06 fondi a coralligeno e D1-08 Letti Rodoliti

Acquisizione dei dati morfo-batimetrici ad alta risoluzione

L'acquisizione dei dati morfo-batimetrici ad alta risoluzione, come riportato nelle schede metodologiche di riferimento per l'acquisizione dei dati relativi ai "Programmi D01-06 fondi a coralligeno" e "D1-08 Letti a Rodoliti", deve essere eseguita utilizzando un Multibeam echosounder, preferibilmente con installazione a scafo, in grado di acquisire dati di backscatter e che permetta di restituire i dati batimetrici e morfologici con un dettaglio elevato dei tratti di fondale d'interesse. Nel caso del programma D1-06, come riportato nella relativa scheda, l'utilizzo del Multibeam echosounder è da considerarsi prioritario per le indagini sull'habitat a coralligeno, tuttavia, in via secondaria può essere utilizzato un Side Scan Sonar. Nel caso del programma di monitoraggio D1-08, invece, l'uso del SSS è da considerarsi preferibile. In ogni caso dovranno essere generati modelli digitali del terreno (Digital Elevation Model- DEM) alla miglior risoluzione possibile (celle di 1 x 1 m, o di dimensione inferiore, nell'ordine decimetrici).

Requisiti tecnici minimi degli strumenti:

- Multibeam echosounder: frequenza operativa 400 kHz
- Side Scan Sonar: frequenza operativa non inferiore a 200 kHz

Acquisizione:

La tabella seguente riporta le modalità di acquisizione ed il formato in cui devono essere restituiti i dati acustici

modalità di acquisizione dati acustici (MB – SSS)	
parametro	valore
Velocità di navigazione	≤ 5 kn MB (≤ 3 kn per il SSS)
Apertura fascio per MB (swath)	≤ 120°
Range per SSS (funzione della frequenza)	-100m o inferiore per frequenze comprese tra i 200 e 500Khz; -75m o inferiore per frequenze comprese tra i 1000khz e i 500 khz; -50m o inferiore per frequenze superiori a 1000 Khz
Altezza del Towfish dal fondo	≤ 1/10 (un decimo) del range in uso
Frequenza di acquisizione*	≥ 200 kHz (SSS) o 300 - 400 kHz (MB)
Sovrapposizione linee di acquisizione	≥ 20%
Dati di posizione	GPS con correzione differenziale
Dati mareografici	Da mareografi entro 100 km dal sito
Profili SVP	≥ 3 al giorno
Altezza onda	≤ 20 cm (≤10 cm in caso di imbarcazioni sotto i 10 m)
Modulazione frequenza di campionamento	Disabilitata
Dati da restituire e loro formato	
Sistema di riferimento e formato coordinate	Coordinate geografiche – Datum WGS84
Dati acustici (DTM e SSS/Backscatter)	File RAW originali acquisiti dallo strumento
Dati acustici (DEM e SSS/Backscatter)	ASCII GRID riferito a celle di dimensioni non superiori a 1m x 1m (Geotiff (no RGB) riferito a celle di dimensioni non superiori a 0,30 m x 0,30 m per acquisizione SSS), possibilmente fornire anche file BAG (bathymetric attributed grid)
Rotte di navigazione	Shapefile
Dati Mareografici	Tabella
Profili SVP	Tabella valori con coordinate punti

*Modulare la Frequenza di acquisizione del Multibeam in funzione delle caratteristiche dello strumento utilizzato in relazione alla profondità di esecuzione del rilievo al fine di ottenere la massima qualità del dato.

Programma di monitoraggio D1-06

La fase iniziale conoscitiva e di prospezione delle aree si è conclusa nel 2020 e, a partire da quest'anno e proseguendo per i successivi 6 anni (2021-2026) si procederà a condurre le sole attività di monitoraggio. La fase di monitoraggio, per quanto riguarda l'acquisizione dei dati Multibeam, prevede che si torni ogni 6 anni nei siti idonei selezionati per ripetere l'acquisizione dei dati morfo-batimetrici in prossimità dei transetti ROV di 200 m di lunghezza, identificati durante la fase conoscitiva.

L'acquisizione prevede che si percorra la traiettoria del transetto selezionato con un'apertura del fascio del sonar di 250 m per lato, per un totale di 500 m di copertura laterale intorno al transetto (Fig. 45 A). Nel caso in cui i transetti fossero molto vicini, si procederà con l'acquisizione a copertura, ma, in questo secondo caso, la copertura laterale sarà maggiore di 500 m. (Fig. 45 B). I transetti da monitorare con il Multibeam devono corrispondere esattamente a quelli identificati nel corso della fase conoscitiva.

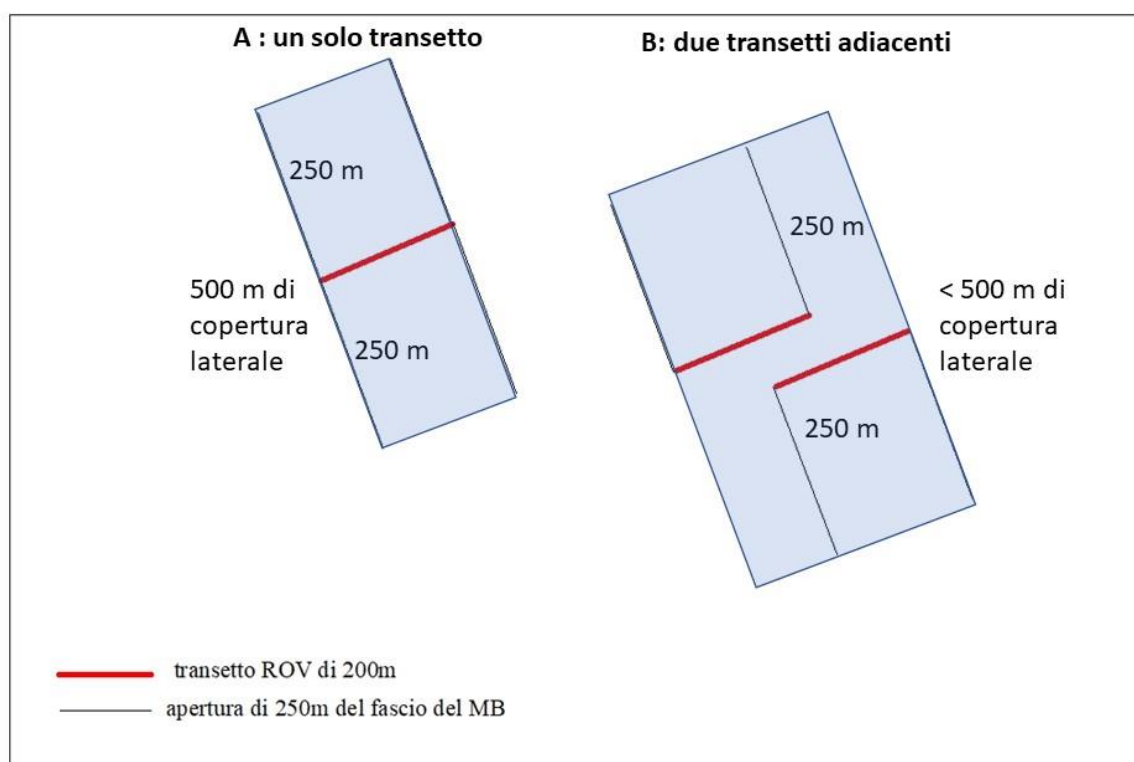


Figura 45- Copertura dei dati batimetrici multibeam in corrispondenza dei tracciati ROV

Programma di monitoraggio D1-08

La fase iniziale conoscitiva e di prospezione delle aree si è conclusa nel 2020 e, a partire da quest'anno e proseguendo per i successivi 6 anni (2021-2026) si procederà a condurre le sole attività di monitoraggio.

Il sessennio 2021-2026 (e i periodi di monitoraggio successivi) saranno quindi oggetto di indagini ripetute sui siti selezionati finalizzate a verificare se e come estensione e condizione dell'habitat stanno cambiando anche al fine di misurare l'efficacia delle misure attuate.

Su ogni sito selezionato, le indagini descritte nel dettaglio sopra dovranno essere ripetute seguendo le seguenti strategie/frequenze temporali di campionamento:

1. Acquisizione dati acustici

I dati acustici Multibeam e SSS, necessari alla verifica delle variazioni nell'estensione del letto a rodoliti, nonché della eventuale variazione di superficie delle diverse classi di copertura precedentemente cartografate devono essere:

- condotti due volte per sessennio di monitoraggio, possibilmente a distanza di almeno 3 anni dallo studio precedente;
- eseguiti dando priorità al SSS (l'uso del backscatter acquisito con Multibeam e da considerarsi alternativo al SSS solo quando la risposta dello strumento in funzione della profondità di indagine consente di ottenere dati adeguati alla stima dell'estensione dei letti monitorati).
- raccolti secondo strategie di campionamento diverse in base alla distribuzione del/dei letti a rodoliti individuati all'interno dell'area di 25 km² inizialmente indagata (vedi schema in figura).

Programma di monitoraggio D6- 02 Pressione della Pesca

Acquisizione dei dati morfologici ad alta risoluzione

L'acquisizione dei dati morfologici di dettaglio, come riportato nelle schede metodologiche di riferimento per l'acquisizione dei dati relativi al Programma D6 02 deve essere eseguita utilizzando un Multibeam echosounder, preferibilmente con installazione a scafo, in grado di acquisire dati di backscatter e che permetta di restituire i dati batimetrici e morfologici con un dettaglio elevato dei tratti di fondale selezionato, e in alternativa un S.S.S. In entrambi i casi dovranno essere generati modelli digitali del terreno (Digital Elevation Model- DEM) alla miglior risoluzione possibile (celle di 1 x 1 m, o di dimensione inferiore, nell'ordine dei cm).

Requisiti tecnici minimi degli strumenti:

- Multibeam echosounder: frequenza operativa 400 kHz
- Side Scan Sonar: frequenza operativa non inferiore a 200 kHz

Acquisizione:

La tabella seguente riporta le modalità di acquisizione ed il formato in cui devono essere restituiti i dati acustici

modalità di acquisizione dati acustici (MB)	
parametro	valore
Velocità di navigazione	≤ 5 kn
Apertura fascio per MB (swath)	≤ 120°
Frequenza di acquisizione*	300 - 400 kHz (MB)
Sovrapposizione linee di acquisizione	≥ 20%
Dati di posizione	GPS con correzione differenziale
Dati mareografici	Da mareografi entro 100 km dal sito
Profili SVP	≥ 3 al giorno
Altezza onda	≤ 20 cm (≤10 cm in caso di imbarcazioni sotto i 10 m)
Modulazione frequenza di campionamento	Disabilitata
Dati da restituire e loro formato	
Sistema di riferimento e formato coordinate	Coordinate geografiche – Datum WGS84
Dati acustici (DTM e Backscatter)	File RAW originali acquisiti dallo strumento
Dati acustici (DTM e Backscatter)	ASCII GRID riferito a celle di dimensioni non superiori a 1m x 1m, possibilmente fornire anche file BAG (bathymetric attributed grid)
Rotte di navigazione	Shapefile
Dati Mareografici	Tabella
Profili SVP	Tabella valori con coordinate punti

*Modulare la Frequenza di acquisizione del Multibeam in funzione delle caratteristiche dello strumento utilizzato in relazione alla profondità di esecuzione del rilievo al fine di ottenere la massima qualità del dato.

Modalità di acquisizione dati SSS	
parametro	valore
Velocità di navigazione per dati SSS	≤ 3 kn
Frequenza di acquisizione	≥ 100 kHz (SSS)
Range per SSS (funzione della frequenza)	-100m o inferiore per frequenze comprese tra i 100 e 500kHz; -75m o inferiore per frequenze comprese tra i 1000kHz e i 500 khz; -50m o inferiore per frequenze superiori a 1000 Khz
Risoluzione (Along e Cross Track)	≥ 0,30 m x 0,30 m
Altezza del Towfish dal fondo	≤ 1/10 (un decimo) del range in uso
Sovrapposizione	≥ 20%
Dati di posizione	GPS con correzione differenziale
Altezza onda	≤ 20 cm (≤10 cm in caso di imbarcazioni sotto i 10 m)
Correzione di Layback	Pastecca conta metri interfacciabile (precisione decimetrica) o sistema di posizionamento USBL
Dati da restituire e loro formato	
Sistema di riferimento e formato coordinate	Coordinate geografiche – Datum WGS84
Dati acustici (SSS/Backscatter)	File RAW originali acquisiti dallo strumento
Dati acustici (SSS/Backscatter)	Geotiff riferito a celle di dimensioni non superiori a 0,30 m x 0,30 m, possibilmente BAG (bathymetric attributed grid)
Rotte di navigazione	Shapefile

Requisiti minimi e indicazioni per la definizione di un capitolato tecnico per indagini geofisiche Multibeam e SSS

Requisiti minimi per la definizione del capitolato tecnico relativo alle indagini geofisiche ad alta risoluzione Multibeam e SSS con indicazioni per la restituzione dei dati

Il servizio richiesto dovrà rispettare i seguenti requisiti tecnici di riferimento:

✓ **Mezzi nautici**

Le indagini geofisiche dovranno essere condotte utilizzando un'imbarcazione di piccolo o medio cabotaggio munita di sistema fisso o a palo per l'alloggiamento dei trasduttori per l'esecuzione di rilievi bati-morfologici ad alta risoluzione. Dovrà essere dotata delle necessarie certificazioni (immatricolazione ad uso conto proprio, lavoro o per conto terzi.) e delle attrezzature di sicurezza a norma di legge e autorizzata per lo svolgimento delle indagini batimetriche dagli organi competenti nelle aree d'indagine.

I mezzi nautici devono essere abilitati alla navigazione nelle acque nazionali entro e fuori le 12 miglia e non è ammesso l'utilizzo di unità da diporto o da pesca o per uso privato. I natanti di piccolo cabotaggio individuati dai soggetti attuatori, dovranno essere in grado di acquisire dati batimetrici in sicurezza fino a profondità minime di 2 metri. Sono escluse da questa categoria le Moto Navi.

✓ **Calibrazioni dei sensori e verifica delle strumentazioni geofisiche**

Prima della mobilitazione le ditte Appaltatrici dovranno fornire copia dei certificati di corretto funzionamento (ad esempio ultima revisione/calibrazione) delle apparecchiature geofisiche impiegate e fornire un rapporto di corretto funzionamento di tutte le unità di controllo di bordo per la corretta gestione delle apparecchiature geofisiche (Multibeam, piattaforma inerziale, sonde di velocità del suono, correzione differenziale GNSS ecc.). Il rapporto dovrà contenere anche i risultati della corretta calibrazione del sistema Multibeam eseguito prima delle indagini geofisiche, preceduta da un profilo della velocità del suono. Si richiede altresì la presentazione dei certificati di taratura delle due sonde di velocità del suono non più vecchio di 2 anni.

✓ **Procedure di Rilievo batimetrico del fondale mediante tecnologia Multibeam**

Le indagini sono finalizzate allo svolgimento dei programmi di monitoraggio D01-05 *Posidonia oceanica*; Programma D01-06 fondi a coralligeno e D1-08 Letti Rodoliti ed infine del Programma D6-02 monitoraggio della pressione di pesca. I rilievi dovranno essere condotti a copertura totale salvo impossibilità per via della presenza di ostacoli alla navigazione (gavitelli) o secche in sub-affioramento. L'acquisizione dei dati bati-morfologici di dettaglio dovrà essere eseguita utilizzando un Multibeam Echosounder, preferibilmente con installazione a fissa scafo. La strumentazione da utilizzare per il rilievo bati-morfologico è un sistema Multibeam Echosounder con frequenza operativa non inferiore a 300 kHz e in grado di acquisire e restituire i dati backscatter e dovrà essere adeguato ad operare nelle fasce batimetriche indicate nel rilievo. La lunghezza dell'impulso utilizzato durante le indagini dovrà essere il più basso possibile così come il footprint size.

Il posizionamento del natante dovrà essere condotto in modalità GPS Differenziale, in modalità RTK o DGPS di tipo High Precision, con accuratezza comunque non inferiore a 0.4 m. Il posizionamento differenziale (RTK PPK o DGPS) dovrà essere specificato e verificato in banchina prima dei rilievi

Multibeam, in particolare, dovrà essere fornito uno scatter plot (rosa dei punti sul posizionamento) del natante con la distribuzione dei punti del posizionamento in cinematico almeno di 60 minuti.

Nel caso in cui le correzioni differenziali non risultino attive per qualsiasi problema tecnico, le indagini dovranno essere sospese sino al ripristino delle condizioni di corretto funzionamento. Per i rilievi in modalità RTK o PPK dovranno essere forniti i riferimenti della stazione base (monografia), distanza base rover e/o della rete di riferimento del sistema impiegato anche nel caso delle virtual base stations.

I dati batimetrici dovranno essere corretti in quota rispetto ad un mareografo localizzato nelle aree prossime al rilievo ed inquadrato per il posizionamento e livello idrometrico rispetto alla rete IGM. In mancanza di stazioni mareografiche delle Rete Nazionale, potranno essere utilizzate delle stazioni portatili da ubicare in banchina in un luogo di calma e a profondità adeguate al fine di minimizzare le variazioni del moto ondoso.

Gli angoli di puntamento dei trasduttori Multibeam dovranno essere calibrati mediante apposite linee di calibrazione con correzione differenziale e a profondità idonee al rilievo precedute da una sonda di velocità del suono nel sito del patch test.

Il sensore Multibeam dovrà avere una sonda di velocità del suono in continuo ubicata sull'interfaccia del trasduttore per la corretta gestione del beam forming.

I sensori di assetto (IMU) per la determinazione dei parametri di Heave, Pitch e Roll dovranno essere ubicati quanto più possibile in prossimità del sensore Multibeam per minimizzare gli errori indotti dagli offset strumentali. Analogamente per l'impiego della Gyro e/o e dell'antenna GNSS primaria, così come nel caso d'impiego di doppia antenna GNSS per la determinazione dell'Heading. Dovrà essere prodotto e consegnato un rapporto tecnico di bordo anche con documentazioni fotografiche con l'ubicazione degli offset planimetrico e altimetrico e modalità di determinazione degli offset (ad es. stazione totale, laser scanner o altro di adeguata precisione), indicando lo zero di riferimento (RP) e test di verifica del bar check per la corretta determinazione delle quote calcolate all'interno del software di gestione d'acquisizione dati. Nel caso in cui vengano utilizzati sistemi Applanix, vengono richiesti i raw data acquisiti sia dalla base GNSS di riferimento che del natante.

Tutti i computer di acquisizione, le strumentazioni adoperate e i dati dovranno essere sincronizzati solo e soltanto in UTC Time.

ISPRA non validerà i dati registrati con evidenti problemi di errata o parziale compensazione della piattaforma inerziale (inferiore al 5% del battente d'acqua) o per errori di assetto indotto da mancanza di calibrazione e/o velocità del suono.

Dovrà essere redatto e consegnato un rapporto completo delle fasi di allestimento del natante, della determinazione e posizione spaziale degli offset strumentali utilizzati dal personale tecnico competente documentato e/o della ditta appaltata alle indagini geofisiche.

I rilievi condotti con il Multibeam Echosounder dovranno essere consegnati con correzione delle quote mareografiche al fine di identificare le seguenti tipologie di facies acustiche:

- le formazioni dell'habitat a *Posidonia oceanica*;
- le formazioni a matte morta;
- gli affioramenti rocciosi;
- le formazioni sabbiose;
- le strutture subacquee, come canali e aree di erosione/accumulo;
- Letti Rodoliti;
- fondi a coralligeno;

- solchi\tracce riconducibili ad interazioni di attrezzi di pesca sui fondali marini;
- lineamenti geomorfologici dei fondali;
- strutture antropiche.

Dovranno essere consegnati (alla scala che sarà concordata con il Committente):

- dati RAW e i relativi progetti di acquisizione dati;
- I profili delle sonde di velocità del suono con orario in UTC Time e coordinate del sito della stazione di misura;
- i dati elaborati e le cartografie prodotte riferiti al sistema WGS84 (espresse in gradi sessadecimali al quinto decimale: GG.GGGGG°), UTM32, UTM33 e 34 indicando il riferimento medio mare e zero idrografico nei formati usati dalle più comuni piattaforme grafiche (GIF, TIF, JPEG ecc.), compatibili con i formati gestiti in lettura/scrittura dalle librerie GDAL versione 1.9 e superiore. In particolare: per il rilievo morfo-batimetrico dell'area di indagine con Multibeam, il file deve essere restituito come file grid georeferenziato (WGS84) e compresso in un unico file in formato *.zip ed in un file ascii sorgente del grid elaborato con data del rilievo e toponimo del sito d'indagine. I dati batimetrici e le caratteristiche morfologiche del fondale marino dovranno avere un elevato dettaglio attraverso la generazione di modelli digitali del terreno (DEM).

Tutti gli elaborati cartografici e dati sorgente sopra elencati dovranno essere forniti su supporto digitale informatico HARD DISK.

✓ **Procedure di rilievo geofisico mediante tecnologia Side Scan Sonar (SSS);**

Il rilievo sarà effettuato con sistema Side Scan Sonar (SSS) equipaggiato con un sistema di acquisizione che consenta la registrazione digitale dei dati in formato proprietario e in uno dei formati standard internazionale riconosciuti (ad esempio XTF).

Lo strumento dovrà essere a doppia frequenza con valori minimi di 100 kHz e non superiori ai 900 kHz e i dati cartografici restituiti a risoluzione di 20 cm per pixel. La posizione del SSS dovrà essere determinata in tempo reale, preferibilmente tramite l'utilizzo di un sistema USBL o, in alternativa, tramite la misurazione in tempo reale della lunghezza del cavo di traino per la correzione del layback, mediante una pasticca conta metri interfacciabile al sistema di acquisizione o sistemi equivalenti. La posizione del sensore dovrà essere registrata e le coordinate (geografiche e/o metriche) unitamente ad un numero progressivo (Fix) dovranno essere contenute nei file digitali nei formati standard di cui sopra.

Il fondale sarà totalmente investigato mediante rotte parallele alle isobate e con frequenza e range variabile, concordato con il committente: tra 15 m e 100 m per canale, in modo tale che la distanza minima strumento-fondo sia circa tra il 10-15% del range. Inoltre, la distanza tra due linee adiacenti sarà tale da permettere una sovrapposizione dei dati pari almeno al 20% del range utilizzato. Per tutto il rilievo l'imbarcazione dovrà mantenere una velocità di rilievo non superiore ai 3/4 nodi, compatibilmente alle condizioni ambientali.

I dati acquisiti mediante side scan sonar saranno elaborati mediante software specifici al fine di produrre foto-mosaici georeferenziati in formato GeoTIFF o TIF con TFW. Per la calibrazione delle facies acustiche dovranno essere effettuate delle fotografie subacquee o video in prossimità delle maggiori differenze litologiche.

La definizione delle varie morfologie dei fondali dovrà essere integrata con sopralluogo subacqueo e testimoniato da report fotografico rappresentativo.

Le linee rilevate dal SSS dovranno essere elaborate con l'ausilio di software specifici per l'analisi di dati di backscatter.

I computer d'acquisizione dovranno essere settati in UTC time.

ISPRA non validerà dati registrati con evidenti problemi di posizionamento, dati con overlapping nullo, dati con evidenti traslazioni dovute ad un'errata correzione del laybak, dati che non permettano l'interpretazione e il riconoscimento delle morfologie dei fondali e delle facies acustiche.

Dovrà essere redatto e consegnato un rapporto di tutte le fasi di allestimento del natante, degli offset strumentali utilizzati dal personale tecnico competente documentato della ditta aggiudicataria.

Dovranno essere consegnati (alla scala che sarà concordata con il Committente):

- Carta di navigazione, con l'ubicazione di tutte le linee di navigazione eseguite e contenenti il numero e la posizione dei fix;
- Tabelle di navigazione in formato shape;
- Elaborazione del Mosaico in formato Geotiff;
- File di testo del layback delle linee acquisite in UTC time

Tutti gli elaborati dovranno essere forniti in formato digitale su supporto informatico HARD DISK.

✓ ***Elaborati richiesti e tempi di consegna.***

La Ditta dovrà consegnare alla Committenza, in riferimento alle attività svolte nelle due fasi, la seguente documentazione su supporto informatico e cartaceo entro 7 gg. lavorativi dall'affidamento un cronoprogramma delle attività previste da concordarsi con la stazione appaltante:

A) Rapporto tecnico settimanale (file .pdf e .docx), a partire dalla data di affidamento con le seguenti informazioni:

- cronoprogramma delle attività previste nei 7 giorni successivi;
- elenco dei rilievi batimetrici eseguiti e data di esecuzione (giorno, mese, anno);
- condizioni meteo-marine in cui si è operato, le difficoltà incontrate e tutto quanto potrà risultare necessario ad una corretta analisi del lavoro condotto;

B) Al termine delle attività relative alle fasi e alle scadenze di cui all'articolo 4, un Rapporto Tecnico Finale (file pdf e docx) con le seguenti informazioni:

cronoprogramma finale dei lavori;

- elenco complessivo dei rilievi batimetrici eseguiti e data di esecuzione (giorno, mese, anno);
- condizioni meteo-marine in cui si è operato, le difficoltà incontrate e tutto quanto potrà risultare necessario ad una corretta interpretazione del lavoro svolto;
- monografie dei capisaldi materializzati ed impiegati per l'inquadramento geodetico.
- modalità del rilievo e dell'elaborazione del dato acquisito;
- descrizione della dotazione strumentale utilizzata corredata da specifiche tecniche;
- descrizione dei mezzi nautici impiegati;
- descrizione delle procedure di verifica e calibrazione degli strumenti;
- descrizione delle procedure di controllo qualità e validazione del dato acquisito;

✓ ***Competenza tecnica del personale di bordo***

L'equipaggio dovrà essere composto da personale tecnico specializzato ad operare in ambito marino e, in particolare, a svolgere attività connesse ai rilievi batimetrici e acustici nelle zone costiere. Nello specifico coloro che saranno demandati come Capi Missione per le attività d'indagine dovranno possedere dei titoli comprovati e CV professionalizzato nell'ambito di attività geofisiche in mare.

✓ ***Supervisione da parte del personale appaltante***

All'avvio delle attività in mare sarà presente il personale ARPA per verificare l'avvio delle attività che, tuttavia, potrà avvalersi del supporto di personale esterno specializzato di un Ente di Ricerca, Università, o altro, con comprovate esperienze nell'ambito delle indagini geofisiche morfo-batimetriche e SSS ad alta risoluzione. La presenza del personale ARPA affiancati se necessario ad esperti esterni, verificheranno a bordo e in tempo reale la qualità dei dati e i vari settaggi (determinazione degli offset, calibrazione del Multibeam, verifica del backscatter e delle correzioni differenziali, ecc.) dei dati batimetrici Multibeam e Side Scan Sonar ad alta risoluzione.

A tal fine, i natanti impiegati per il rilievo batimetrico nelle aree d'interesse dovranno avere dimensioni e caratteristiche tali da consentire l'imbarco di almeno 1 o 2 unità di personale ARPA o esterno per attività di verifica e controllo.

Allegati

PIANIFICAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE MULTIBEAM		
A1 - PROGETTAZIONE DELLE ROTTE D'INDAGINE		
A1.1 - Per la progettazione della direzione delle linee di navigazione, specificare la cartografia utilizzata:		
Tipologia:	Si	No
Software cartografico:	Si	No
Altro:		
A1.2 - Indicare sovrapposizione adiacente delle spazzate MB:		
20%	Si	No
30%	Si	No
Altro:		
Note		
A2 - LINEE DI CALIBRAZIONE IN SITU		
A2.1 - Indicare l'area presunta per le linee di calibrazione:		
Note		
A3 - PIANIFICAZIONE DELLE SVP		
A3.1 - Indicare il numero di stazioni:		
Note		
A4 - IDENTIFICAZIONE DI AREE CRITICHE PER LE VELOCITÀ DEL SUONO		
A4.1 - Indicare la presenza di eventuali zone critiche in relazione alle velocità del suono:		
Note		
A5 - STIMA DEI TEMPI		
A5.1 - Calibrazioni	Ore:	
A5.2 - Navigazione	Giorni:	
A5.3 - Calate SVP	Ore:	
A5.4 - Standby meteo	%0 – 100%	
Note		
A6 - RETE MAREOGRAFICA (ISPRA)		
A6.1 - Verifica della presenza e funzionamento della Stazioni (RMN) nell'area del rilievo	Si	No
Note	Nome della stazione di riferimento e/o installazione temporanea: coordinate Datum verticale, calibrazione sensore, ecc.	
CONTROLLO STRUMENTAZIONI DI BORDO PRIMA DELL'AVVIO DELLA CAMPAGNA		
B1 - INSERIMENTO DEL TEMPLATE		
B1.1 - Nome template progetto		
B1.2 - Verifica Offset strumentali:		
Multibeam	Si	No
GNSS	Si	No
Sensore inerziale	Si	No
Girobussola	Si	No
Altro		

:		
B1.3 - Verificare offset del reference point al livello di galleggiamento	Si	No
Note		
B2 – VERIFICA DEL FUNZIONAMENTO DEL MULTIBEAM		
B2.1 - Test pattern (funzionamento ricezione beams)	Si	No
Note		
B3 - CONTROLLO BACKSCATTER		
B3.1 - Verifica della registrazione dei valori di backscatter:	Si	No
B3.2 - Indicare se è presente la colonna d'acqua e se registrata	Si	No
Note		
B4 - VERIFICA DEL FUNZIONAMENTO STRUMENTAZIONI DI BORDO		
B4.1 - SVPC (continuo) indicare data di ultima revisione dello strumento	Si	No
B4.2 - CTD (indicare data di ultima revisione dello strumento)	Si	No
B4.3 -GNSS con correzione differenziale	Si	No
B4.4 - RMU/IMU	Si	No
B4.5 - PPS	Si	No
Altro:		
Note		
B5 - VERIFICA DEL TIPO CORREZIONE DIFFERENZIALE		
B5.1 - Indicare quale correzione applicata:		
Ominstar HP	Si	No
Fugro HP	Si	No
Egnos	Si	No
Altro: RTK - PPK		
Note		
B6 - STIMA DELL'ERRORE GNSS		
B6.1 - Scatter Plot	Si	No
Note		
B7 - CONTROLLO DELLA SINCRONIZZAZIONE IN UTC		
B7.1 - Sincronizzazione inUTC Time di tutte le strumentazioni (hardware e software)	Si	No
Note		
B8 - SOFTWARE DI NAVIGAZIONE E ACQUISIZIONE		
B8.1 - Indicare tipo e versione		
Note		
B9 - VERIFICA EVENTUALI VARIAZIONI DI OFFSET STRUMENTALI		
B9.1 - Indicare i parametri di offset variati, inserendo i vecchi valori e quelli aggiornati:		
Note		
B10 - SOFTWARE DI CONTROLLO E VERIFICA DEI DATI IN FASE INIZIALE DEL RILIEVO		
B10.1 - Indicare il software utilizzato:		
PDS2000 versione	Si	No
Kongsberg SIS versione	Si	No
Caris HIPS and SIPS versione	Si	No
Auto Clean versione	Si	No
MB Systemversione	Si	No
Pangea	Si	No

Altro:		
Note		
SVOLGIMENTO DELLE INDAGINI GEOFISICHE IN MARE		
C1 – GEODESIA		
C1.1 - Indicare il sistema di riferimento GNSS: DATUM e Proiezione		
Geografiche:	Si	No
Proiezione in UTM 32 (Liguria, Sardegna, Toscana, Lazio settentrionale)	Si	No
Proiezione UTM 33 (rimanenti aree geografiche)	Si	No
Not e		
C2 - CALIBRAZIONE DEI TRASDUTTORI MULTIBEAM		
C2.1 - Inserimento delle linee di calibrazione del Multibeam nel software di navigazione/acquisizione	Si	No
C2.2 - Realizzazione del profilo di velocità (SVP) in situ prima dell'esecuzione delle linee	Si	No
C2.3 - Controllo delle condizioni meteo (direzione del moto ondoso) e copertura numero di satelliti	Si	No
C2.4 - Esecuzione linee di calibrazione (se a doppia testa eseguire le linee per entrambi i trasduttori)	Si	No
C2.5 - Verifica dei parametri individuati, e controllo della qualità dei dati test sul DEM alla max risoluzione	Si	No
C2.6 - Indicare eventuali problemi:		
"bow" o "smile" (in aree critiche)	Si	No
compensazione RMU non corretta	Si	No
eccessivo noise sul dato	Si	No
offset non corretti	Si	No
Altro:		
C2.7 - Eventuale esecuzione di un secondo set di calibrazione al termine della campagna in aree ad hoc	Si	No
C2.8 - Descrizione dei risultati delle linee di calibrazione (manuale e/o statistica)	Si	No
Not e		
C3 - INSERIMENTO E REGISTRAZIONE DEI PUNTI DELLE STAZIONI SVP		
C3.1 - Indicazione del punto esatto della stazione SVP (SVP n°_gg_mm_aaaa_ora UTCUTC)	Si	No
Not e		
C4 - AGGIORNAMENTO DEI PROFILI DI VELOCITÀ		
C4.1 - Aggiornamenti SVP durante lo svolgimento della campagna (sulla base delle aree predefinite formato CAD o altro)	Si	No
Not e		
C5 - ELABORAZIONE SET DI DATI A BORDO		
C5.1 - Elaborazione di un set di dati Multibeam per la verifica di eventuali problemi su un subset statisticamente rappresentativo	Si	No
C5.2 - Elaborazione di dati backscatter da dati ecometrici per la verifica di eventuali problemi su un subset statisticamente rappresentativo	Si	No
C5.3 - Verifica di rumore di fondo e attenuazione (interferenze con altri sistemi acustici, ecoscandaglio, SBP, SSS, ecc.)	Si	No

Not e		
C6 - RAPPORTO DI FINE CAMPAGNA		
C6.1 - Rapporto esteso di fine campagna	Si	No
C6.2	Log delle linee	
C6.3	Log delle coordinate SVP	
Not e		
C7 - CONSEGNA DEI DATI SORGENTE		
C7.1 - Copia di tutti i dati acquisiti (Progetto e tutti i file contenuti in esso, comprendenti i dati CTD, SVP, grid, ecc.)	Si	No
Not e		

Testi di riferimento:

1. The Handbook of Side Scan Sonar. Philippe Blondel. ISBN 978-3-540-49886-5.
2. Multibeam Sonar Theory of Operation L-3 Communications SeaBeam Instruments 141 Washington Street East Walpole, MA 02032-1155.
3. Underwater Acoustics. Analysis, design and performance of sonar Richard P. Hodges. ISBN 978-0-470-68875-5.
4. Applied Underwater Acoustics. Thomas Neighbors David Bradley. ISBN: 9780128112403.
5. Jones E. J. W., 1998: Marine Geophysics. J.W. Wiley & Sons, 466 pp. ISBN: 978-0-471-98694
6. Invitation to Oceanography. Pinet P.R. 2003. Jones & Bartlett Publisher. Sudbury, Massachussets. ISBN 10: 0763721360.
7. Introduction To Physical Oceanography. Stewart R. H., 2008. Texas A&M University.
8. Geophysical Signal Processing E.A. ROBINSON, Prentice Hall