



*Università degli Studi di Napoli “Parthenope”
Dipartimento di Scienze e Tecnologie*

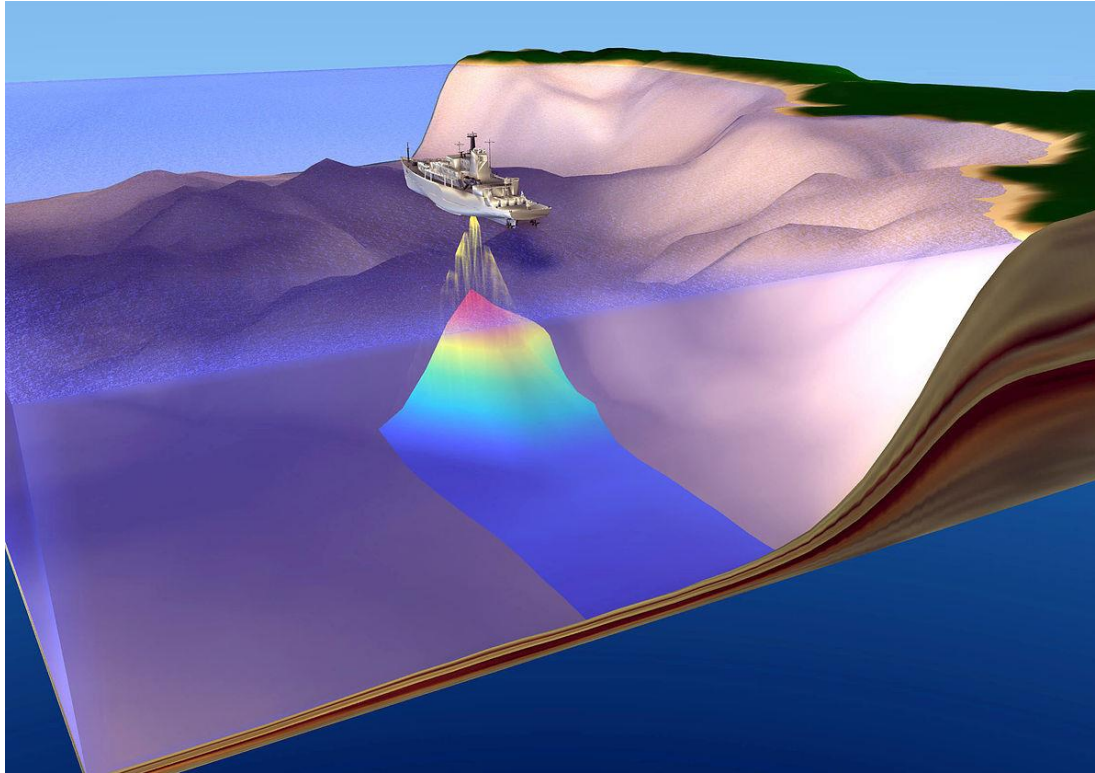
Corso di Topografia e Idrografia

Lezione 14

Rilievo batimetrico Parte I

Claudio Parente

Ecoscandaglio



L'**ecoscandaglio** è un particolare tipo di strumento ecometro ultracustico usato per misurare la profondità del mare (laghi, fiumi ecc.), trasmettendo impulsi sonori.

Ecoscandaglio

Il funzionamento è reso possibile dall'utilizzo della stessa tecnologia del ***Sonar*** (***SOund Navigation And Ranging*** ovvero: navigazione e misura distanze col suono), che usa la tecnica dell'impulso sonoro riflesso, lo stesso metodo usato nel ***Radar***.

L'intervallo di tempo tra l'emissione e il ritorno dell'impulso sonoro (scafo-fondo-scafo) viene registrato e diviso per due, ottenendo così la profondità dell'acqua in quel preciso momento.

Ecoscandaglio

Fu brevettato dall'inventore tedesco **Alexander Behm**: brevetto tedesco n. 282.009 del 22 luglio 1913 per l'invenzione dell'eoscandaglio (dispositivo per la misurazione della profondità del mare e distanze per mezzo di onde sonore riflesse).

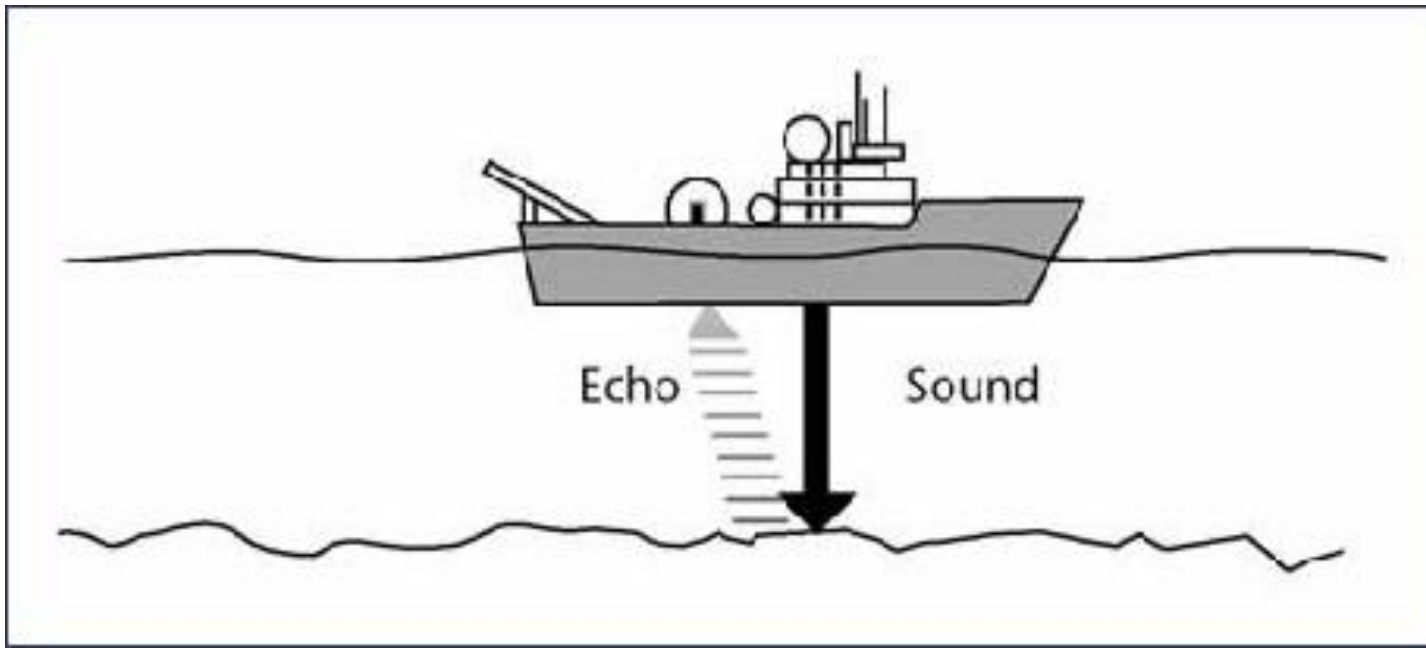
Risulta però che l'inventore norvegese **Hans Sundt Berggraf** (1874-1941) pubblicò la stessa invenzione otto anni prima, l'8 settembre 1904 sulla rivista ingegneristica Teknisk Ukeblad.

Ecoscandaglio

La distanza dalla chiglia al fondo è misurata moltiplicando la metà del tempo impiegato dall'impulso (uscita e ritorno) con la velocità del suono nel acqua, che è di circa 1,5 chilometri al secondo ($T/2 \times 1,5$).

Per applicazioni precise con l'eoscandaglio, come nell'idrografia, la velocità del suono deve essere misurata distribuendo una sonda per la misurazione della velocità del suono in acqua. L'Eoscandaglio è effettivamente una speciale applicazione del sonar utilizzato per individuare il fondo.

Ecoscandaglio



Ecoscandaglio

L'eoscandaglio, come qualsiasi apparato elettronico che deve mostrare un'immagine a prescindere dal sistema impiegato, si compone di *tre elementi fondamentali*:

- il trasmettitore,
- il ricevitore/amplificatore,
- il trasduttore.

I primi due sono all'interno di un box che viene posizionato in genere nella plancia di guida dell'imbarcazione, mentre il trasduttore viene fissato sullo scafo e collegato al box tramite un cavo apposito.

Ecoscandaglio

Nel momento in cui si attiva elettricamente lo strumento, il trasmettitore invia una ***piccola quantità di energia elettrica*** verso il trasduttore che la commuta in ***impulso sonoro*** lanciandolo verso il fondo marino.

Appena l'impulso raggiunge il fondo si produce un effetto eco ed il segnale viene rimbalzato verso l'alto ritornando al trasduttore. A questo punto avviene il processo inverso: l'eco si riconverte in energia elettrica.

Ecoscandaglio

Nella fase di ritorno, il segnale risulterà notevolmente indebolito, ma il ricevitore dello strumento si farà carico per amplificarlo ed inviarlo al sistema di visualizzazione a schermo.

Ed è proprio su questo che avviene la “lettura”, che è tanto più fedele, nel senso che appare più nitida, più precisa, con un maggior potere risolutivo espresso su ogni punto tracciato, tanto più è qualitativamente valido e di conseguenza sofisticato l'apparecchio.

Propagazione del suono nell'acqua

Il suono si propaga ottimamente nei fluidi, come nel caso dell'acqua, sotto forma di ***onda sonora***.

L'ecoscandaglio, tramite il trasduttore, produce l'onda sonora, generata da un impulso con un processo di oscillazione, del quale un aspetto rilevante è la frequenza.

Propagazione del suono nell'acqua

La velocità del suono in acqua è data da:

$$v = (K/r)^{1/2}$$

dove risulta:

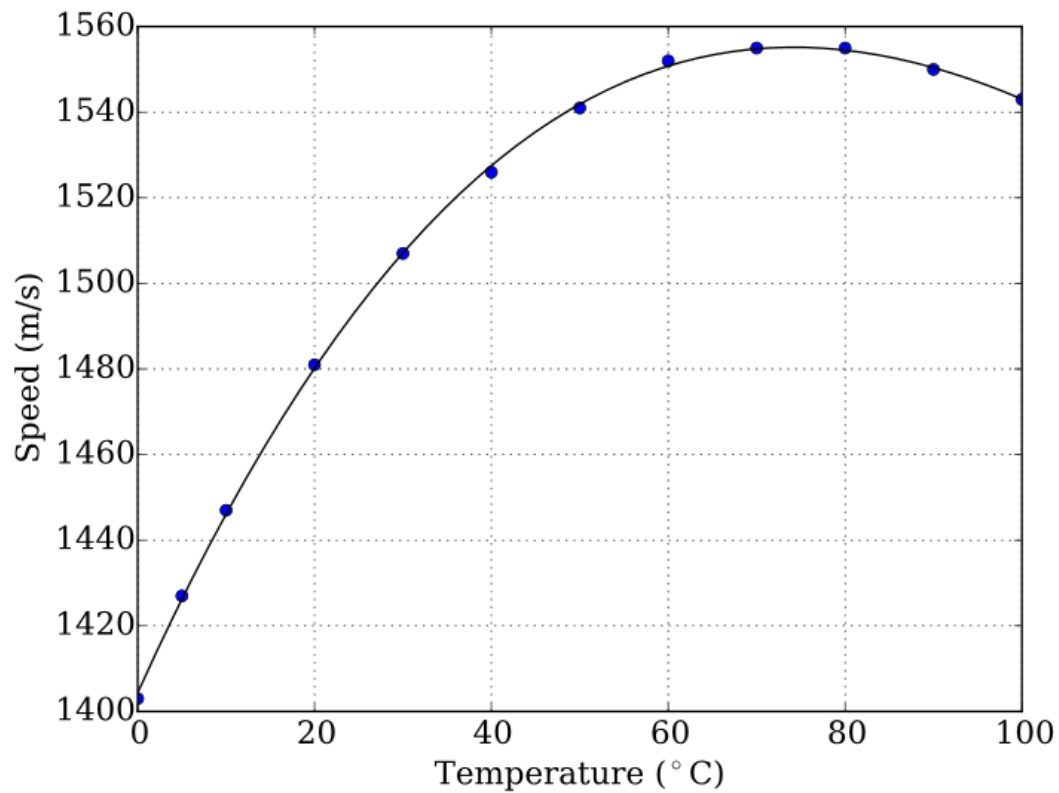
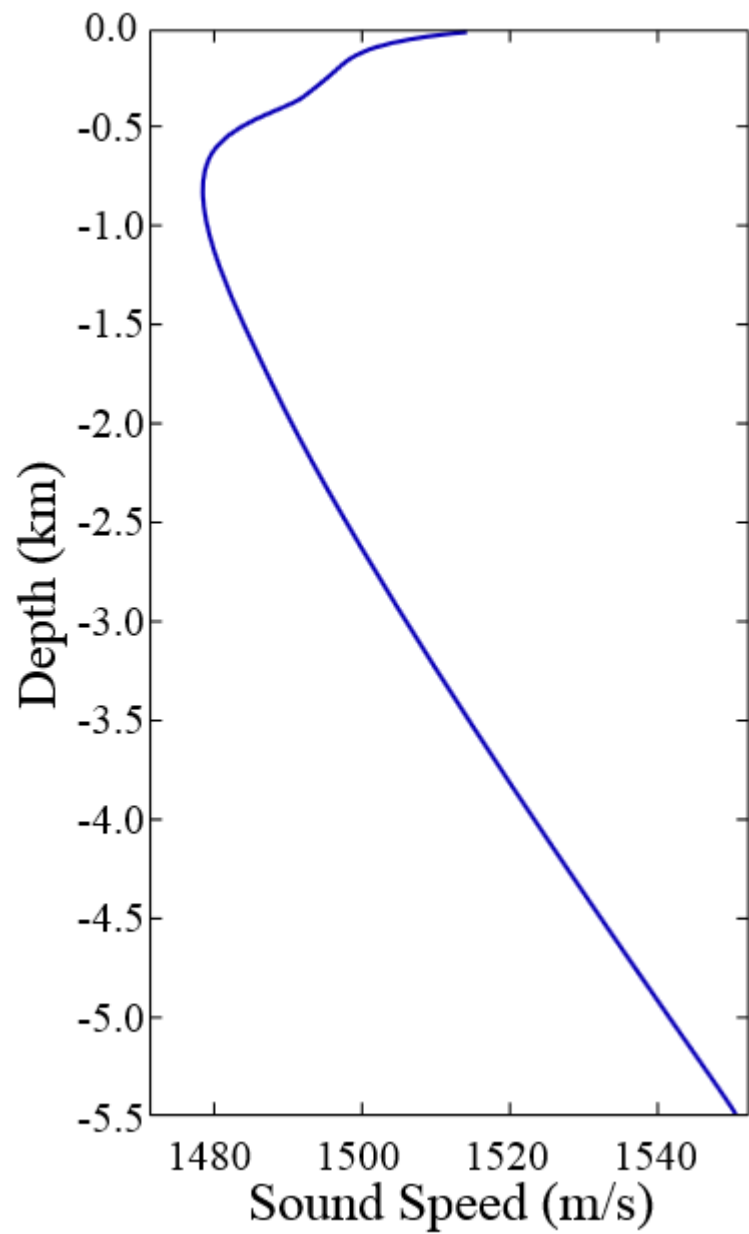
K è il modulo di elasticità di volume dell'acqua di mare;

r la sua densità.

Questi ultimi due parametri dipendono dalla **temperatura**, dalla **pressione** e dalla **salinità**. Ne consegue che anche la velocità dipende da essi, quindi

$$V = v(t,s,p)$$

Empiricamente la velocità del suono risulta compresa tra 1420 e 1590 m/s. Esistono formule per calcolare la velocità in funzione dei parametri di cui sopra.



Propagazione del suono nell'acqua

Nella maggior parte delle mappe delle profondità oceaniche viene utilizzata una velocità del suono media o standard, dal momento che, date le grandi profondità, non è necessario calcolare con precisione ogni fattore.

Tuttavia, quando è richiesta una maggiore precisione possono essere applicate particolari correzioni stagionali anche per l'oceano.

Propagazione del suono nell'acqua

Per misurazioni della profondità particolarmente precise, di solito richieste solo a scopo specifico o per indagini scientifiche speciali, può essere usato ***un particolare sensore*** per misurare la temperatura dell'acqua, la pressione e la salinità.

Questi fattori sono utilizzati per calcolare l'attuale velocità del suono nella colonna d'acqua sottostante. Quest'ultima tecnica è solitamente utilizzata dall'ufficio di sicurezza costiera degli USA per le indagini di navigazione delle acque costiere degli Stati Uniti. Per l'Italia tali misure vengono effettuate dall'Istituto Idrografico della Marina Militare.

Ecoscandaglio

Nelle zone in cui è richiesta una batimetria dettagliata, può essere utilizzato un ***ecoscandaglio di precisione***.

Dal momento che ci sono molte considerazioni di cui tener conto quando si valuta una tale misurazione che non si limitano solo alla precisione verticale, come: la ***risoluzione***, l'***accuratezza acustica della trasmissione / ricezione del fascio*** o l'acustica della ***frequenza del trasduttore***.

Ecoscandaglio

La maggior parte degli ecoscandagli idrografici sono a doppia frequenza, il che significa che un impulso a bassa frequenza (tipicamente circa **24 kHz**) può essere trasmesso contemporaneamente come un impulso ad alta frequenza (tipicamente circa **200 kHz**).

Ecoscandaglio

Poiché le due frequenze sono discrete, i due segnali di ritorno in genere non interferiscono tra loro.

Ci sono molti vantaggi con l'eoscandaglio a doppia frequenza, compresa la capacità di identificare uno strato di vegetazione o di uno strato di fango molle sulla cima di uno strato di roccia, dal momento che il segnale più debole viene riflesso immediatamente dalla superficie, mentre quello di maggiore potenza riesce a penetrare gli strati molli.

Ecoscandaglio

La maggior parte delle operazioni idrografiche usa un trasduttore a 200 kHz, che è adatto (anche per le navi da pesca) ***fino a 100 metri di profondità.***

L'acqua più profonda richiede un trasduttore di segnale acustico a frequenze più basse, in quanto sono meno suscettibili all'attenuazione nella colonna d'acqua (le basse frequenze riescono a raggiungere maggiori distanze in acqua).

Le frequenze comunemente usate per rilievi in acque profonde sono tra i ***33 kHz e i 24 kHz.***

Ecoscandaglio

La larghezza di fascio del trasduttore va considerata anche per l'idrografia, dato che per ottenere la migliore risoluzione dei dati raccolti si necessita di una larghezza di fascio stretta.

Ciò è particolarmente importante quando si deve lavorare in acque profonde, dato che l'impronta risultante dell'impulso acustico di ritorno può essere molto grande, quando si raggiungono grandi distanze.

Ecoscandaglio

Oltre al singolo fascio di ecoscandaglio, ci sono ecoscandagli che sono in grado di ricevere molti impulsi di ritorno, chiamati *scandagli a multi-target*.

La precisione richiesta e l'accuratezza dell'ecoscandaglio idrografico è definita dai requisiti dell'Organizzazione idrografica internazionale (IHO) che regolamenta gli standard. Questi valori sono contenuti all'interno della *pubblicazione IHO S44*.

Ecoscandaglio

Per soddisfare questi standard, si deve considerare non solo la precisione verticale e orizzontale dell'eoscandaglio e del trasduttore, ma deve tener conto anche del sistema di rilevazione nel suo complesso.

Particolari accorgimenti possono essere utilizzati per migliorare le misure: in particolare il componente sussulto (nell'eoscandaglio a singolo fascio) può ridurre gli errori dovuti al moto della nave causato dal movimento ondoso del mare.

Una volta che tutte le incertezze di ogni sensore sono stabilite, l'idrografo creerà una tabella di errore per determinare se il sistema di rilevazione soddisfa i requisiti stabiliti dalla IHO.

Ecoscandaglio

Diverse organizzazioni idrografiche hanno il proprio set di procedure di campo e manuali per guidare i loro ispettori per soddisfare gli standard richiesti.

Un esempio: US Army Corps of Engineers; la pubblicazione EM110-2-1003 regola i requisiti standard.

Ecoscandaglio

Come tutti gli strumenti nella navigazione l'eoscandaglio è usato sulle navi, di tutti i tipi.

Secondo le normative internazionali, infatti, solo le navi più grandi devono avere un rivelatore di profondità, ma non è particolarmente potente o preciso, serve solo per evitare situazioni di incaglio o pericolo in luoghi particolari.

Al contrario ecoscandagli (fishfinder) più potenti sono installati sulle navi da pesca per trovare banchi di pesci anche a grandi profondità: quando si verifica una diminuzione netta della profondità, rispetto all'area circostante, potrebbe trattarsi di una zona di concentrazione di pesci.

Rilievo batimetrico

La **batimetria** è una disciplina della oceanografia e della geodesia che si occupa della misura delle profondità e della rappresentazione cartografica dei fondali.

I **rilievi batimetrici** vengono effettuati quindi per la conoscenza dell'andamento morfologico del fondale marino e lacustre (talvolta fluviale).

Sono necessari alla progettazione ed al monitoraggio delle opere marittime e fluviali, nei dragaggi e ripascimenti e negli studi per l'erosione delle coste.

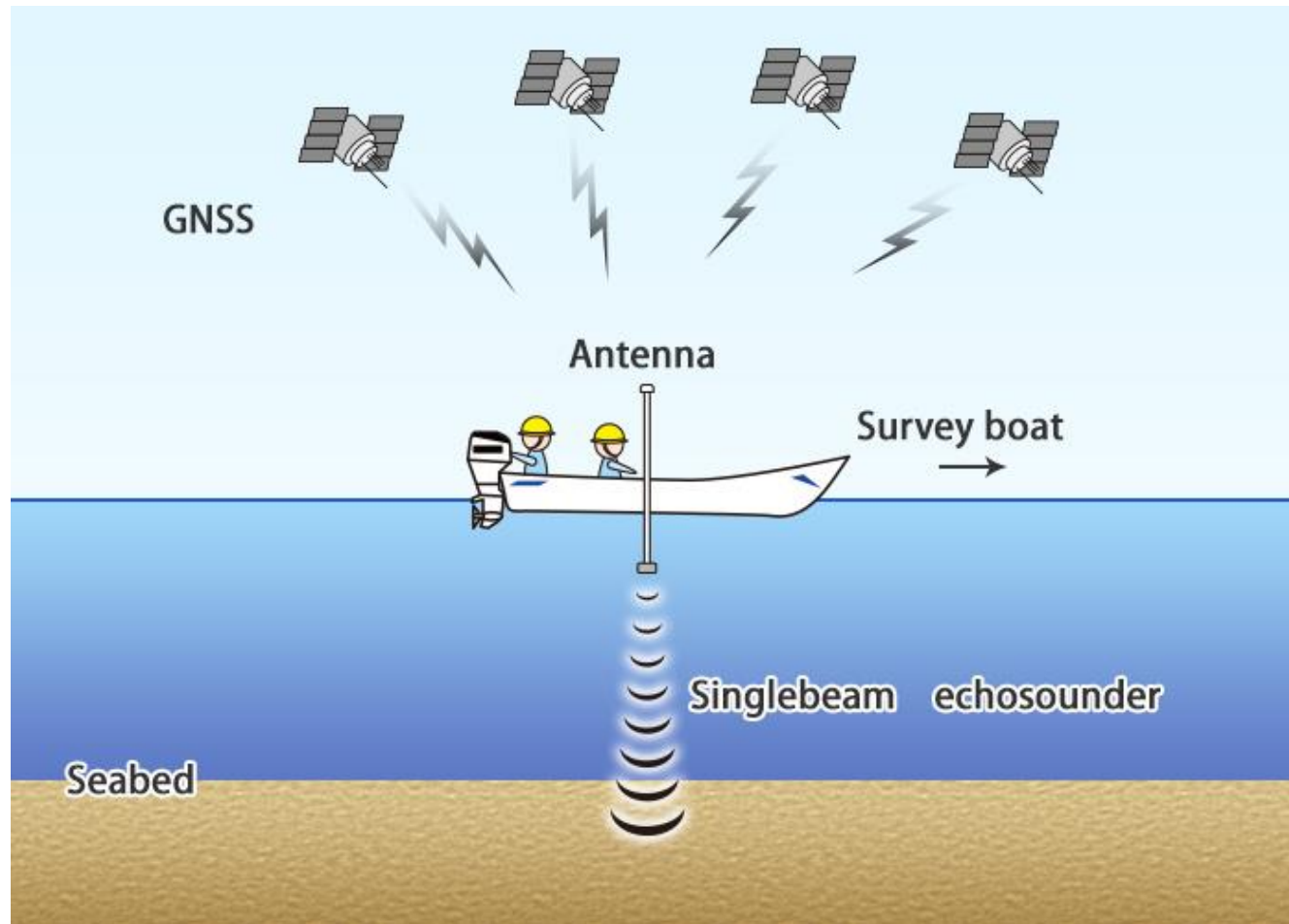
Rilievo batimetrico

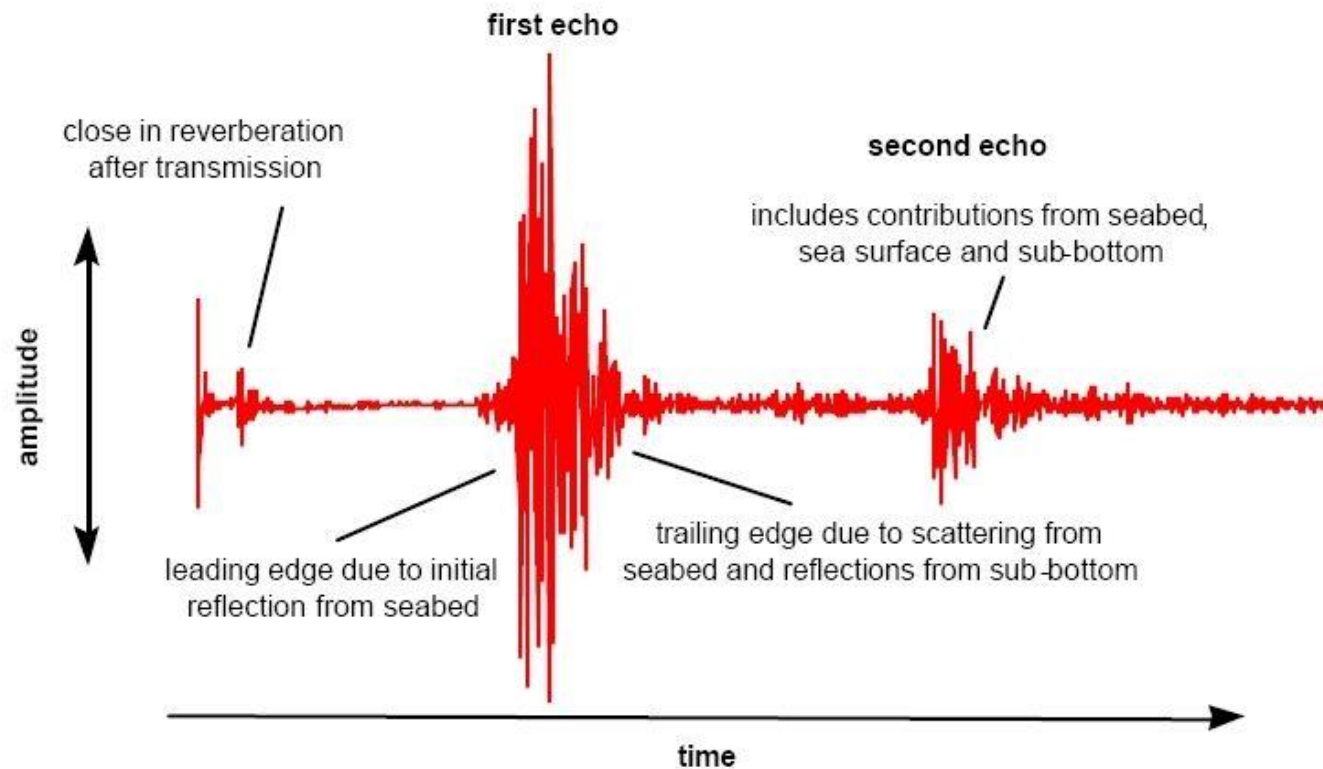
I rilievi vengono effettuati generalmente da un natante equipaggiato con un ecoscandaglio di precisione che può essere di tipo:

- *Single beam;*
- *Multi beam.*

La posizione è fornita da un *ricevitore GPS (o GNSS)*. Un software batimetrico permette di seguire le rotte di rilievo progettate e di acquisire i dati provenienti dalla differente strumentazione.

Rilievo batimetrico



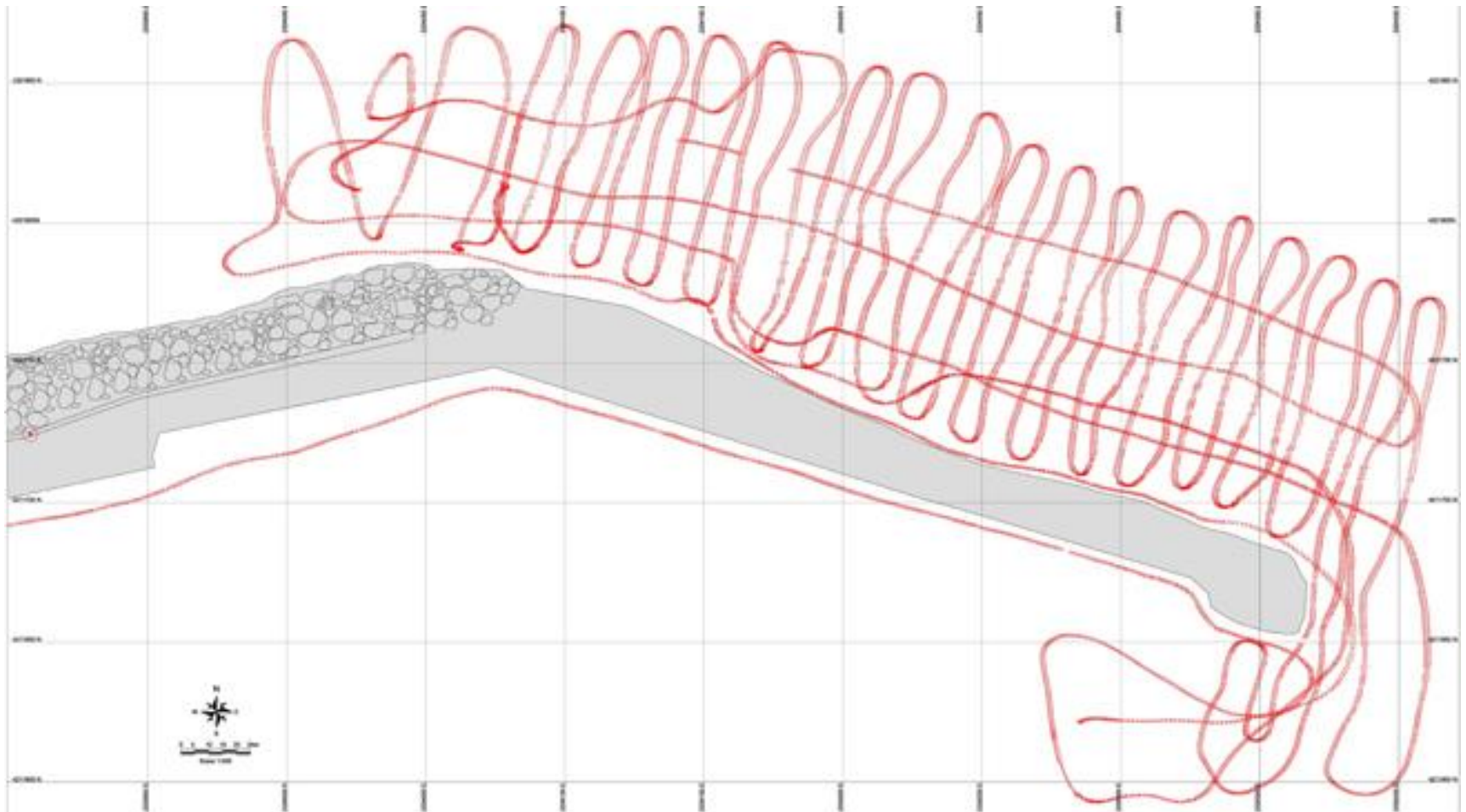


Typical Echo Sounder Output

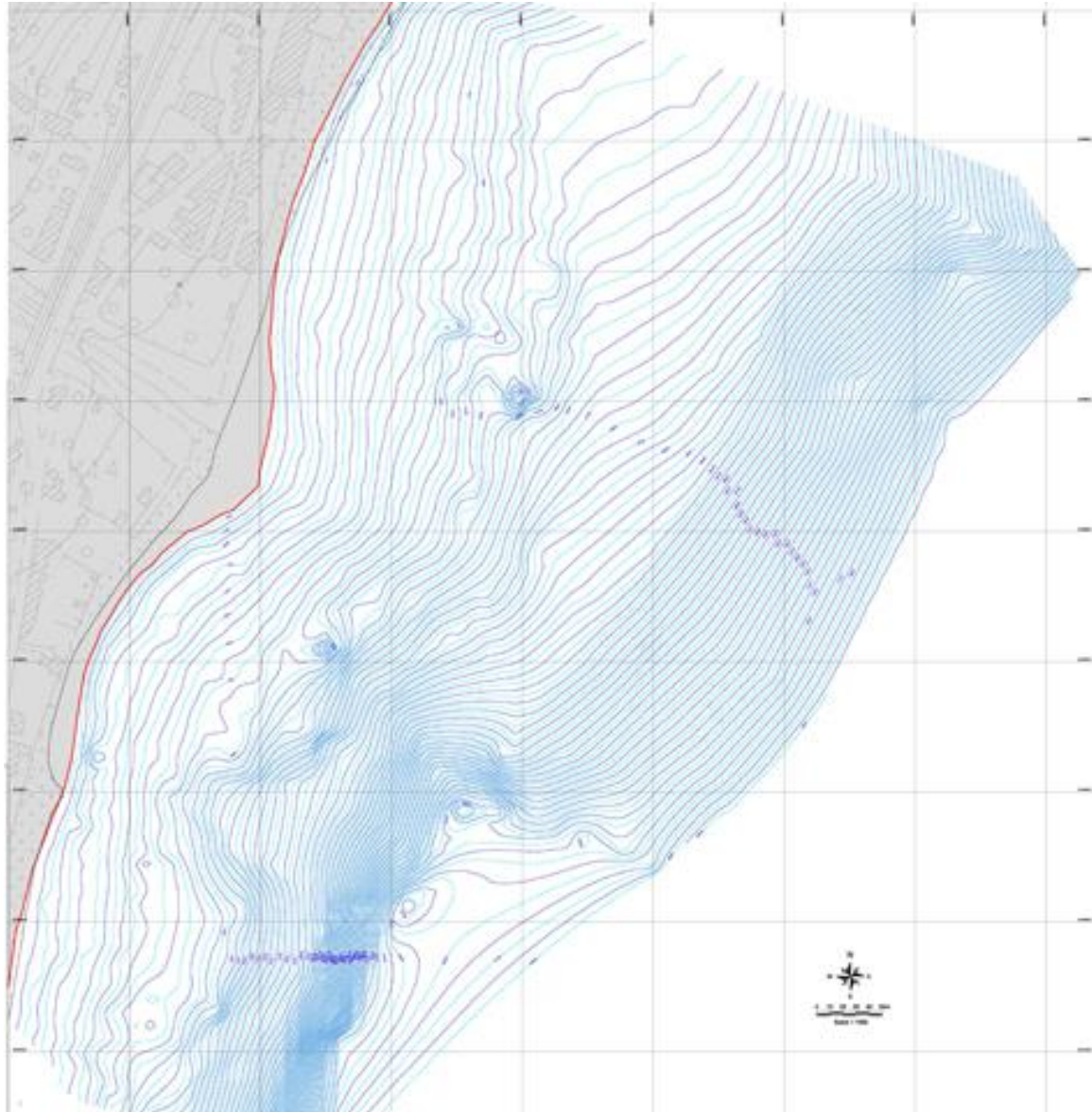
Rilievo batimetrico single-beam

Il rilievo batimetrico costiero per mezzo di ecoscandaglio single-beam viene condotto seguendo le *linee di profilo* tracciate secondo il progetto, poste in genere *ortogonalmente alla costa*, integrate da ulteriori rotte perpendicolari alle precedenti che servono per controllo.

Esempio di linee di navigazione per rilievo batimetrico



Risultato del rilievo: la batimetria mediante isolinee



Rilievo batimetrico single-beam

Le indagini vengono generalmente effettuate a mare completamente calmo ed in assenza di vento.

Le *sezioni di scandagliamento* sono percorse con una imbarcazione che si muove a velocità bassa e costante lungo le rotte prefissate.

Generalmente vengono utilizzati, per questo tipo di rilievi, piccoli natanti dal *basso pescaggio* in quanto devono avvicinarsi il più possibile alla riva.

Rilievo batimetrico single-beam

Per il rilievo batimetrico viene utilizzato un sistema di acquisizione dei dati automatico-digitale, con posizionamento del natante in tempo reale tramite ***tecnologia GPS (GNSS)*** con correzione delle coordinate via radio modem.

Tale sistema permette di realizzare il rilievo delle linee senza alcun allineamento e di avere una correzione istantanea della quote.

Rilievo batimetrico single-beam

Il GPS di bordo trasmette in tempo reale, a frequenze molto elevate, le coordinate (Est, Nord e quota) al software di navigazione.

L'operatore sul natante dirige l'imbarcazione seguendo le indicazioni sul video del computer, ove è indicata la traccia che rappresenta la *linea teorica da rilevare* e la *posizione istantanea del natante*.

Rilievo batimetrico single-beam

Una volta portata l'imbarcazione in allineamento con la sezione da rilevare, l'operatore segue con maggior precisione possibile la linea di progetto visualizzata, iniziando l'acquisizione dei dati.

Sono inoltre visibili:

- il fuori-rota;
- la velocità in nodi;
- l'angolo di governo;
- la distanza dall'inizio e dal fine rota;
- il numero di evento e altri valori utili per il rilievo.

Rilievo batimetrico single-beam

Questa tecnologia offre notevoli vantaggi.

Infatti, fornendo il GPS, oltre che le coordinate, anche la quota assoluta del trasduttore in tempo reale e con precisione centimetrica, diventa possibile, in abbinamento con i dati provenienti dall'ecoscandaglio, ***correggere automaticamente tutte le oscillazioni della superficie marina*** (marea, onde, sovrizzo dovuto alla massa d'acqua spinta dal vento) durante il rilievo.

Rilievo batimetrico single-beam

Gli ecoscandagli utilizzati sono di tipo idrografico con una ***precisione di 1-2 cm***. La frequenza adottata è generalmente di circa ***200 KHz***, un buon compromesso per garantire una rilievo accurato del fondale con poca interferenza della colonna d'acqua.

Il ***cono di emissione dello strumento*** è solitamente molto stretto per garantire una elevata risoluzione geometrica. È richiesta una frequenza di almeno un impulso (beam) per secondo.

Rilievo batimetrico single-beam

Per garantire la congruenza tra le misure di profondità e quelle planimetriche, l'*ecoscandaglio* viene posizionato *in asse al ricevitore* per la posizione planimetrica o alternativamente vengono *calcolati i relativi off-set*.

Ad inizio e fine rilievo si procede alla taratura dell'ecoscandaglio.

Metodo Bar Check

La regolazione della velocità strumentale in base alla velocità degli ultrasuoni in acqua viene effettuata tramite il metodo del "**Bar Check**" (misurazione della profondità di immersione di una **barra o disco metallico** calato al di sotto del trasduttore e sospeso ad un cavo graduato).

Si procede quindi alla correzione digitale sul software di navigazione dell'eventuale errore.

Metodo Bar Check

Una piastra a base quadrata (ad esempio di spigolo pari a 60 cm) sostenuta da una catena che presenta suddivisioni centimetriche è immersa in acqua al di sotto del trasduttore dell'ecoscandaglio in modo tale da poter essere vista dal trasduttore stesso.

Le *profondità di immersione* sono *fissate*, ad esempio, a 5 m, 10 m, 15 m, 20 m.

Operando sulle impostazioni di velocità del suono in acqua sulla “console” dell'ecoscandaglio, si procede nelle misure fino ad ottenere il valore corretto di profondità.

La stessa operazione è ripetuta per le varie profondità di “check”₃₉ per almeno due volte su ciascuna profondità.

Metodo Bar Check

Sui valori di velocità così ottenuti si calcola una *media aritmetica* ed il valore risultante è quello da impostare nello strumento.

Ricordiamo che alcuni sistemi (ad esempio ISIS 100), invece, usa tutti i valori letti alle varie profondità.

Naturalmente questa procedura impone, per una misura corretta e accettabile statisticamente, la ripetizione delle operazioni in più punti ed in diversi momenti della giornata. Solitamente il metodo del BAR CHECK è ripetuto *almeno due volte al giorno*, all'*inizio* e al *termine* della *giornata di lavoro*

Rilievo batimetrico single-beam

Spesso, per problemi di economicità, in questa tipologia di indagini non vengono usati sensori di moto per la correzione del rollio e beccheggio, né viene effettuato il calcolo delle variazioni in quota del traduttore.

Effettuando i rilievi a mare perfettamente calmo, l'errore commesso viene ritenuto tollerabile.

Rilievo batimetrico single-beam

Eseguendo il rilievo direttamente in formato digitale tutti i dati vengono registrati sul PC di bordo.

I rilievi per mezzo di single-beam non richiedono sempre una accuratezza centimetrica sulla posizione.

Spesso, come visto, è sufficiente utilizzare strumenti **DGPS** con precisione sub-metrica per ottenere buoni risultati.

Rilievo batimetrico single-beam

In questo caso la *marea durante il rilievo* viene generalmente misurata attraverso la *lettura su una asta graduata, livellata da un caposaldo di quota nota, e posizionata in zona di mare calmo*.

Alternativamente vengono utilizzati i valori provenienti dai mareografi.

How Echo-sounders work

