



Università degli Studi di Napoli "Parthenope"
Dipartimento di Scienze e Tecnologie

Corso di Topografia e Idrografia

Lezione 15

Rilievo batimetrico

Parte II

Claudio Parente

Multibeam

La *Tecnologia multibeam M.B.E.S. (Multi Beam Eco Sounding)* è molto sofisticata e capace di fornire altissimi standard quantitativi e qualitativi delle informazioni prodotte.

Con questa strumentazione si passa da un'acquisizione per singoli punti (singlebeam) lungo la rotta di navigazione (ecoscandaglio tradizionale) ad un'*acquisizione continua* che utilizza un numero elevato di *beam* contemporaneamente, coprendo una fascia di fondale pari a due - quattro volte la profondità indagata.

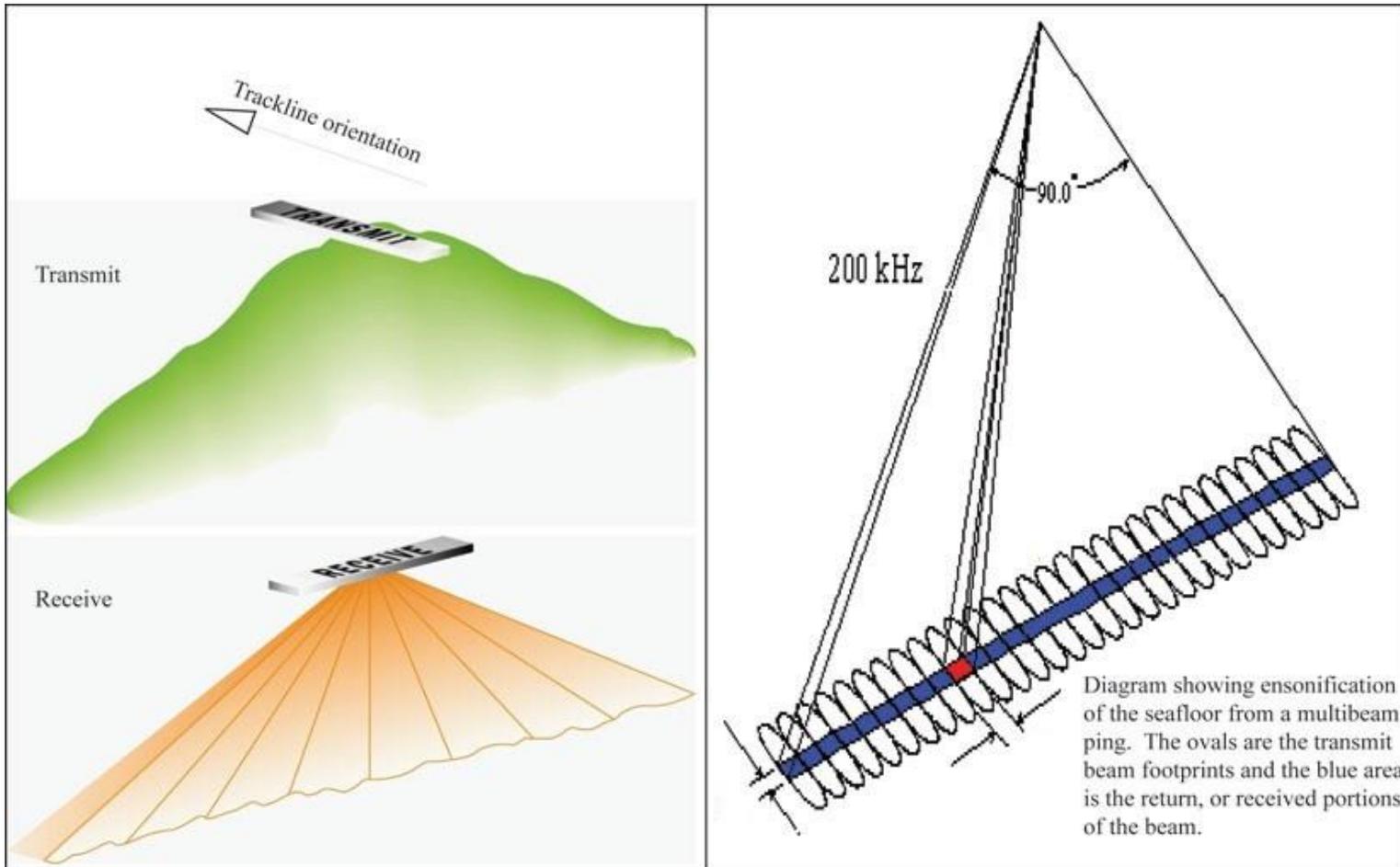
Multibeam

La risoluzione è elevatissima e permette di identificare strutture del fondale anche di ridotte dimensioni e seguirne la continuità.

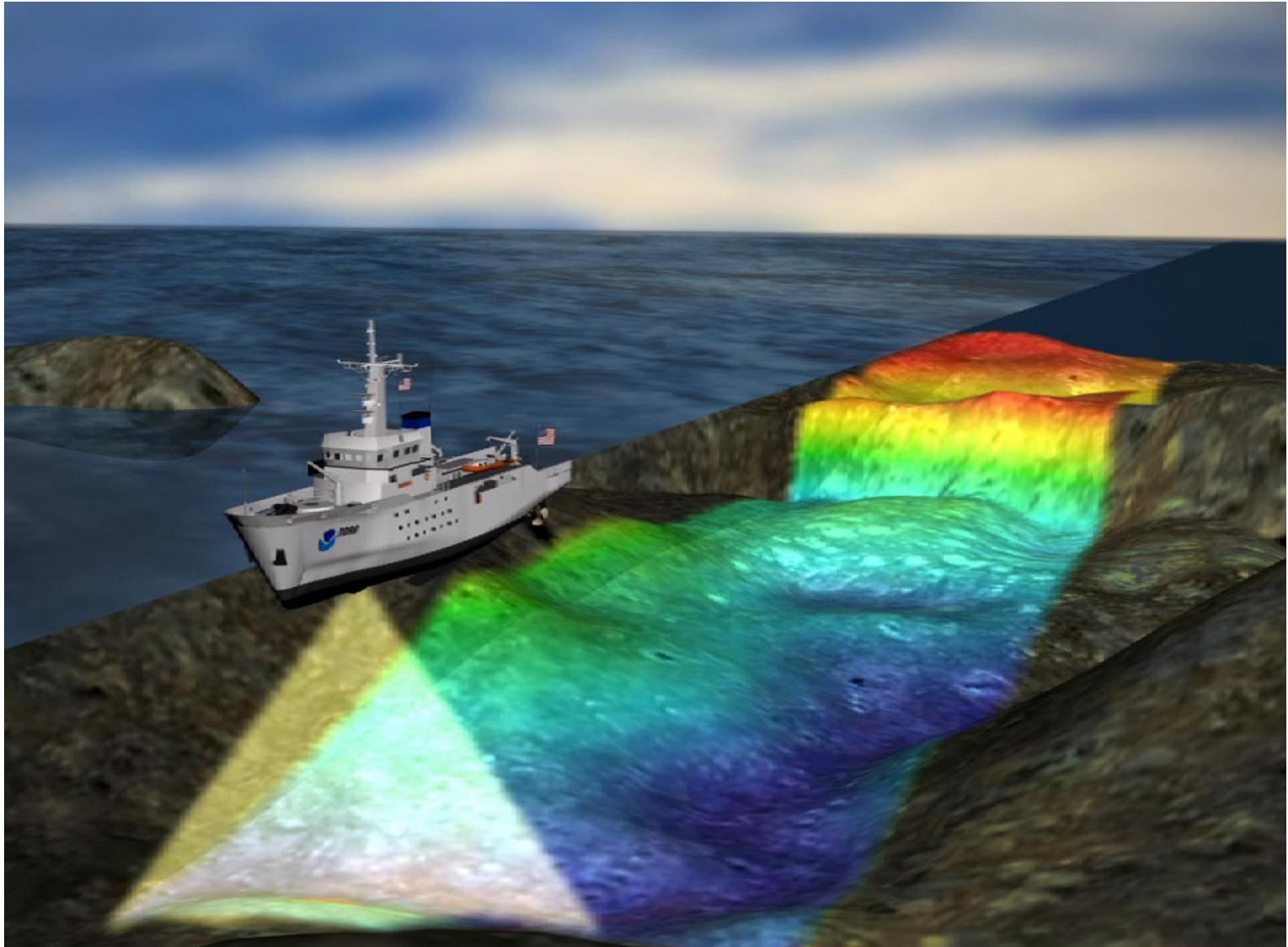
Anche in questo caso, la navigazione viene assistita da un *GPS* di precisione in *modalità RTK*. Inoltre, per garantire l'accuratezza potenziale dello strumento, sono necessari i *sensori di moto* per la compensazione del rollio e beccheggio, nonché di una girobussola di elevata precisione per la correzione della direzione.

Opportune calibrazioni permettono inoltre la correzione dei dati acquisiti.

Multibeam



Multibeam



Multibeam

Questo tipo di acquisizione, oltre a consentire un notevole risparmio di tempo su grandi aree, permette di conoscere con maggior precisione la reale morfologia del fondale.

Multibeam

Solitamente i rilievi prevedono una copertura totale dell'area di indagine che viene effettuata scandagliando lungo transetti paralleli che prevedono una sovrapposizione dei dati delle differenti «*spazzate*».

Per particolari applicazioni il trasduttore MultiBeam può essere montato in *modalità inclinata lateralmente*, così da permettere oltre al rilievo del fondale quello, ad esempio, delle banchine portuali e della scarpata delle opere di difesa dal piede delle medesime fino a quasi la superficie dell'acqua.

Multibeam

Il rilievo a mezzo Multibeam, comportando evidentemente costi maggiori, viene utilizzato quando:

- ❑ si vuole ottenere un notevole *dettaglio del fondale*;
- ❑ la *copertura completa del fondale* è necessaria per calcolare con maggior precisione le variazioni volumetriche del deposito sedimentario.

Multibeam

Un multibeam emette onde sonore perpendicolarmente alla direzione di movimento dell'imbarcazione, in un ventaglio simultaneo di impulsi che si propagano come onde sonore in un *angolo di copertura massimo* di circa *150°*.

In questo modo è possibile ottenere il 100% della copertura del fondo marino effettuando transetti paralleli fra loro.

La *frequenza del impulso* è compresa fra i *100* e i *455 kHz*.

Multibeam

Lo strumento emette onde acustiche attraverso un *numero elevato* (es. da 120 a 240) di *raggi*, o *beams*, acquisendo per ciascuna energizzazione un gran numero di dati trasversali alla rotta seguita dalla nave.

In questo modo si ottiene una copertura totale del fondale; per una profondità inferiore ai 100 m l'ampiezza della copertura è mediamente pari a 2-3 volte la profondità.

Multibeam

Per l'utilizzo corretto dello strumento è necessario interfacciarlo con la strumentazione di bordo e calibrarlo rispetto alle condizioni ambientali, utilizzando:

- un *sensore di movimento* , per bilanciare gli effetti del rollio, del beccheggio e delle variazioni di quota dell'imbarcazione (pitch, roll, heave);

Multibeam

- un *giroscopio* che definisce l'orientamento dell'imbarcazione;
- un *sonda multiparametrica* che permetta la calibrazione dello strumento rispetto alla *velocità delle onde acustiche nell'acqua*;
- un *mareografo ad alta precisione* che permetta di calibrare la misura della profondità rispetto alla variazione del livello del mare.

Multibeam

Una *piastra “sonar”* emette verso il fondo un impulso a frequenze acustiche o ultra-acustiche, molto stretto nel verso di avanzamento, e molto largo lateralmente.

L'analisi degli *echi di ritorno* (ampiezze e/o fasi) sui fronti della piastra “sonar”, che è organizzata in singoli trasduttori o bande di trasduttori, e la *misura dei tempi dalla emissione dell'impulso*, forniscono i dati per la assegnazione delle corrette coordinate spaziali ad ogni punto sul fondale illuminato dal fascio.

Multibeam

I tempi di percorso vengono convertiti in distanze conoscendo la velocità di propagazione del suono in acqua, tenendo conto anche degli eventuali effetti di “raybending” dovuti al percorso del segnale in strati d’acqua a diversa velocità di propagazione.

Per questa ragione *è indispensabile avere una buona misura* di tale parametro su tutta la colonna d’acqua.

Multibeam

Una volta che per ogni singolo fascio sono stati assegnati *angolo* e *tempo di ritorno*, un sistema di elaborazione in tempo reale o in “post processing”, che conosce la posizione del trasduttore ad ogni istante, è in grado di calcolare per ogni punto sul terreno illuminato dal fascio le rispettive *coordinate spaziali*.

Multibeam

Trattandosi di una *piattaforma in movimento in acqua*, e quindi soggetta a *variazioni di posizione nel tempo*, i sistemi sono accoppiati a unità di riferimento (“*Motion Reference Unit*”, MRU) in grado di fornire istante per istante le inclinazioni dalla propria verticale e le accelerazioni del mezzo..

Multibeam

Una *girobussola* viene impiegata per dare la *misura dell'angolo rispetto al Nord*.

Tali dati sono riportati nel sistema di riferimento del trasduttore, e le posizioni dei segnali di ritorno sono assegnate convertendo in distanze i tempi, e correggendo gli angoli delle misure fornite dalla MRU.

Multibeam

Questi dati (*XYZ*) devono essere ulteriormente **filtrati e corretti** (generalmente per la eliminazione di *dati spuri* o inattendibili, per la *marea*, per *errori di posizionamento*, per *errori nel calcolo della velocità del suono in acqua*, ecc.).

Una volta corretti, essi sono utilizzati per la costruzione di “*Digital Terrain Models*” (*DTM*), tramite, ad esempio, la loro interpolazione su superfici a griglia regolare.

Multibeam per rilievo alveo fluviale

Ad esempio, un rilievo batimetrico nel fiume Po è stato effettuato con il sistema a scansione laterale interferometrico ISIS 100 SUBMETRIX che ha permesso l'acquisizione di dati su una *strisciata* di alveo di *larghezza variabile da 25 a 75 metri per lato*.

Multibeam per rilievo alveo fluviale

Questo sistema è in grado di fornire una elevatissima copertura di misure del fondo (da 1000 a 20000 punti per strisciata).

Durante il rilievo del Po, lo strumento ha fornito 10000 punti per ogni strisciata, essendo il trasduttore orientato a 30°.

Come stabilire la velocità del suono nell'acqua: metodo **Bar-check**

Per stabilire la velocità del suono in acqua, si può procedere con il metodo *Bar-check*, già descritto nella lezione precedente (slide 14).

Multibeam - Approfondimenti

La tecnologia multibeam si basa sull'emissione di un *fascio di onde acustiche*, caratterizzate da un'elevata frequenza (da decine a centinaia di kHz), molto ampio nel piano trasversale alla rotta (*angolo* di ampiezza solitamente *tra 60° e 120°*) e stretto nel piano ad essa parallelo (*da 0.5° a 6°*).

Le onde diffratte dal fondo marino sono registrate da un *trasduttore ortogonale* (apertura 0.5°-2°) *all'emettitore* dopo un tempo che dipende dalla distanza percorsa e dalla velocità del suono nella colonna d'acqua.

Multibeam - Approfondimenti

I fondali sono quindi insonificati in maniera omogenea, ottenendo una semina di *punti quotati (soundings)* con *risoluzione* decrescente (*footprint size*) all'aumentare delle profondità.

.

Multibeam - Approfondimenti

L'impiego dell'ecoscandaglio multifascio prevede una complessa architettura del sistema d'acquisizione, costituita da:

- 1) un sistema di posizionamento GPS con correzione differenziale (DGPS, RTK e/o PPK),
- 2) un sensore inerziale per la definizione dei parametri di assetto dell'imbarcazione (roll, pitch e heave),
- 3) una girobussola per l'orientamento del sistema (yaw),

Multibeam - Approfondimenti

- 4) due trasduttori per l'emissione e la ricezione degli impulsi acustici,
- 5) un sistema software e hardware per la gestione ed il controllo dell'acquisizione dei dati,
- 6) una sonda di velocità del suono per il calcolo del profilo di velocità lungo la colonna d'acqua per il ri-tracciamento (ray tracing) delle onde acustiche,
- 7) una stazione mareografica in sito per le correzioni delle escursioni di marea.

MULTIBEAM

Processing



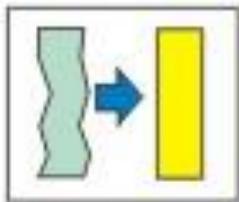
Post-processing



Risoluzione DEM {
altaM 0 - 100 m profondità
media: 100 - 500 m prof.
bassa: 500 - 2000 m prof.

eliminazione rumore

Filtri geometrici e statistici



Editing

Mosaicatura

Interpolazione

Mappa batimorfologica

Multibeam - Approfondimenti

Attraverso l'elaborazione dei punti quotati si ottengono *Modelli di Elevazione del terreno (DEM)*, rappresentabili sotto forma di superfici 3D, rilievi ombreggiati e isobate.

In funzione delle tecniche di posizionamento, delle profondità d'investigazione, delle frequenze impiegate dai sensori di emissione e ricezione, nonché degli standard di elaborazione utilizzati e dalla metodologie di acquisizione (calibrazione dei sensori ecometrici, determinazione degli offset strumentali, stato del mare, ecc..), si otterranno *modelli digitali del terreno a bassa, media ed alta risoluzione*.

Multibeam - Approfondimenti

In generale la risoluzione dei DEM decresce all'aumentare del battente d'acqua (distanza sorgente fondo mare) e alla conseguente diminuzione della frequenza del segnale acustico emesso, problema in parte risolto abbassando la sorgente a poche decine di metri dal fondo con *sistemi autonomi profondi (AUV - Autonomous Underwater Vehicle)*.

Multibeam - Approfondimenti

Nei sistemi multibeam più recenti, è possibile registrare anche l'ampiezza dei segnali ricevuti (*backscatter o riflettività del fondo*), che fornisce importanti informazioni sulla distribuzione superficiale dei sedimenti ivi presenti (sedimenti fini, medi e grossolani).

Il trattamento dei punti quotati e delle riflettività dei fondali comportano complesse fasi di elaborazione realizzate con software commerciali e non.

Il posizionamento del natante

Uno degli aspetti più critici nei rilievi batimetrici e geofisici (marini, lacustri, fluviali) consiste nelle *tecniche di posizionamento dei natanti*, che in questi ultimi hanno subito un notevole sviluppo nell'ambito delle indagini marino-costiere.

Comunemente nelle indagini batimetriche/geofisiche a mare sono state utilizzate correzioni differenziali con precisioni stimate a pochi metri (misure di codice).

Il posizionamento del natante

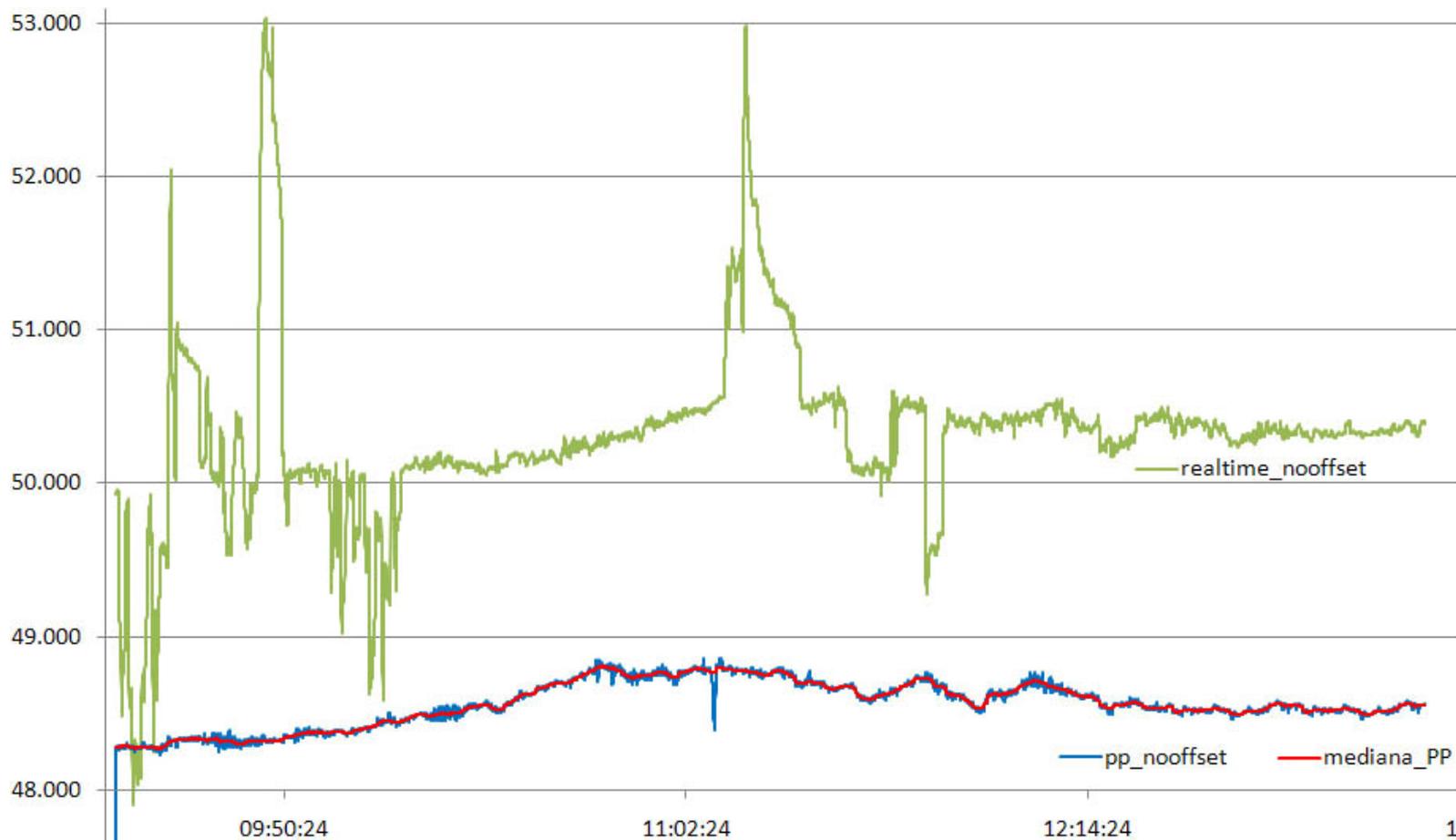
Negli ultimi anni però lo sviluppo di sensori ecometrici ad *elevata capacità risolutiva* ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$) ha reso necessario l'impiego di *precisioni sempre maggiori*, comunemente impiegate nella geodesia terrestre.

Attualmente una delle più utilizzate tecniche di posizionamento di alta precisione dei natanti in ambito marino-costiero risulta essere la *modalità RTK (misure di fase)* che consente di aggiungere *precisioni* dell'ordine *centimetrico/decimetrico sul piano orizzontale e verticale*.

Il posizionamento del natante

Tali correzioni possono essere trasmesse per mezzo di modem GSM, stazioni radio UHF o mediante protocollo NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol).

Tuttavia l'utilizzo di suddette correzioni ha evidenziato come in molti casi si possano verificare problemi legati alla trasmissione dei segnali con conseguente perdita della precisione e conseguente aumento dei tempi nelle fasi dell'acquisizione.



Comparazione delle quote ellissoidiche in modalità RTK (verde) e post elaborate (blu) durante un rilievo morfo-batimetrico. I dati post elaborati sono stati successivamente trattati con mediana mobile a 2 minuti e utilizzati per la correzione mareografica.

Il posizionamento del natante

La *precisione ottenibile* tramite posizionamento GPS, indipendentemente dalle metodologie e tecniche di rilievo adottate, è *fortemente condizionata dal numero di satelliti tracciati e dalla qualità dei segnali ricevuti*.

Un basso numero di satelliti visibili, o interruzioni nella ricezione dei segnali (cycle-slips), portano ad una diminuzione di precisione nel posizionamento.

Il posizionamento del natante

Questi problemi possono essere riscontrati in fase di rilievo, specialmente:

- nelle *zone con visibilità di cielo limitata* spesso presenti *in prossimità di coste alte* (isole vulcaniche, falesie ecc.);
- in *aree fluviali* per la presenza di *argini, alberi e ponti*.

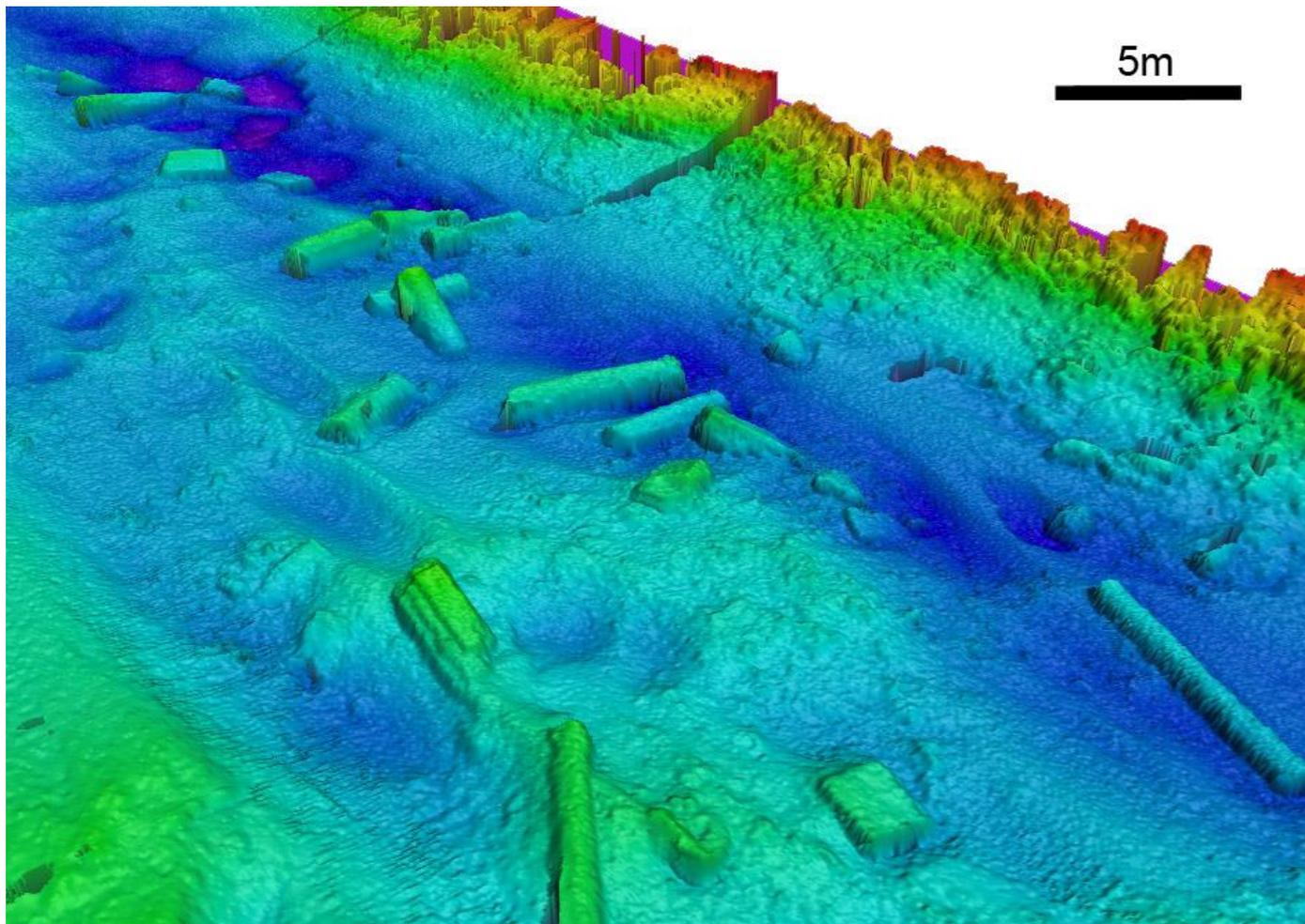
L'attraversamento di tali aree da parte dell'imbarcazione causa una interruzione nella ricezione dei segnali dei satelliti tracciabili.

Tale problema è stato in parte superato mediante GNSS e tecniche di post-processing attraverso l'utilizzo di software dedicati (ad esempio: Leica LGO, Trimble GTO).

Multibeam per l'archeologia

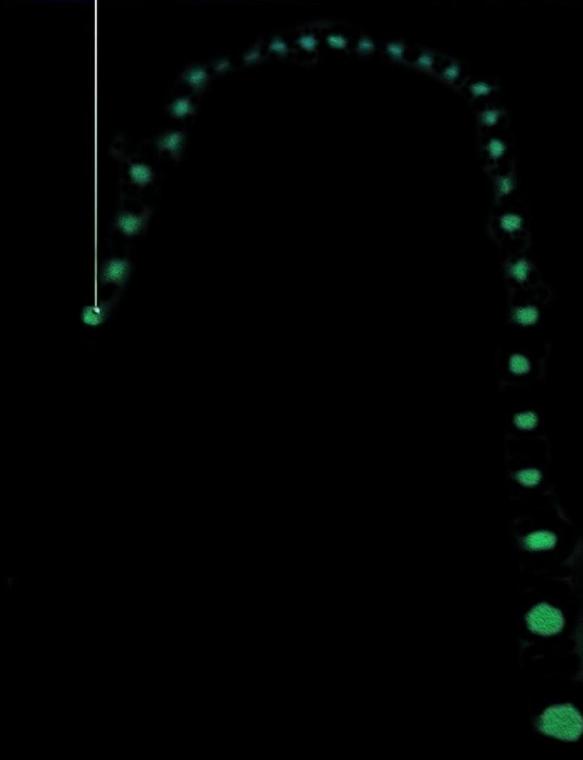
La tecnologia multibeam ad alta risoluzione ha recentemente avuto una grande espansione nel campo delle *ricerche archeologiche in ambito marino, lacustre e fluviale*.

Infatti essa consente di ottenere in acque poco profonde un'*elevatissima risoluzione e densità dei punti quotati (centinaia di punti per metro quadro)*, che possono essere utilizzati per una ricostruzione dettagliata delle morfologie sommerse e delle strutture antropiche ivi presenti.



Colonne e blocchi individuati sul fondo fiume Tevere all'altezza dell'Isola Sacra. La colonna ubicata in basso a destra ha un'estensione di circa 7 m (DEM con risoluzione a 5 cm e copertura ottenuta da tre strisciate).

Lead line



Single beam

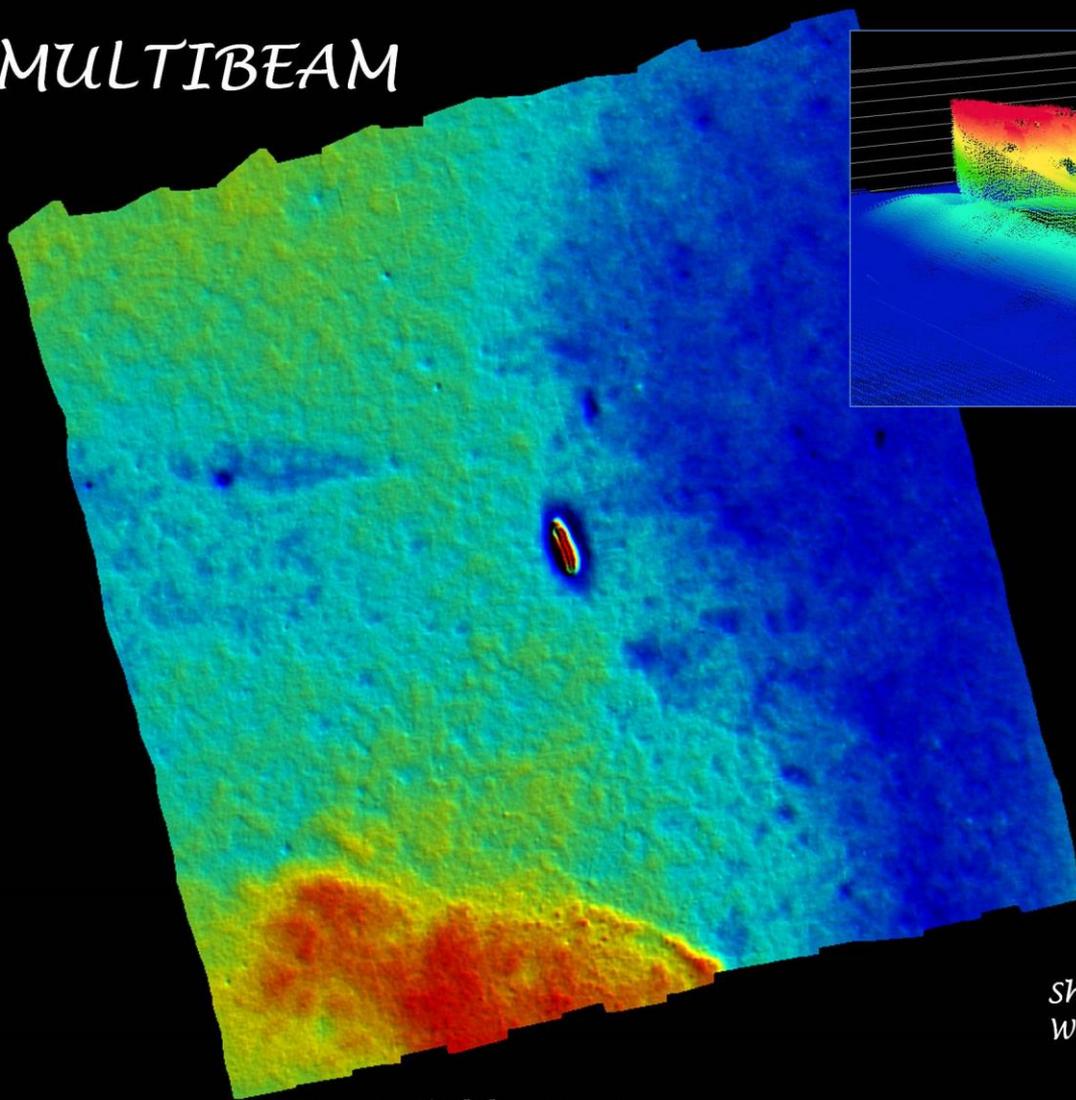


Multibeam

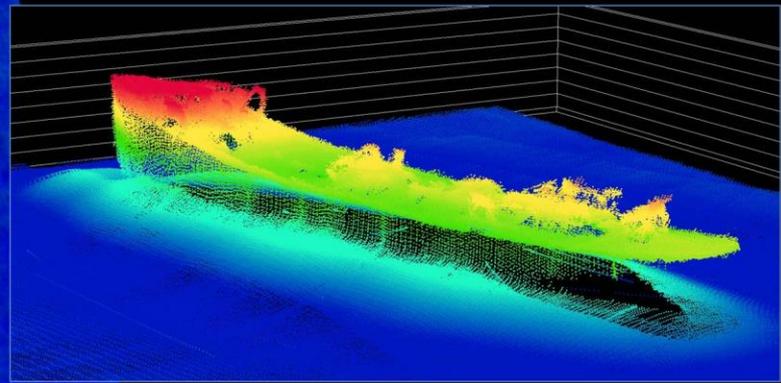


Confronto tra possibili tecnologie di rilievo batimetrico

MULTIBEAM



R2Sonic 2024 Multibeam Sonar



Reson 7125 Multibeam Sonar

*Shallow Survey 2012 Common Dataset
Wellington Harbor - South Seas Wreck*



Multibeam

http://oceansjsu.com/105d/exped_mapping/10.html

Side Scan Sonar

Il Side Scan Sonar genera un'immagine acustica del fondale, che è interpretata in base alla forma ed all'intensità degli echi e delle ombre acustiche.

Consente di riconoscere le diverse tipologie di sedimento o biocenosi* (comuni) e la presenza di eventuali anomalie (es. relitti).

(*) Biocenosi=comunità delle specie di un ecosistema

Side Scan Sonar

Rispetto alle video-riprese subacquee, ha il vantaggio di coprire aree molto estese in un tempo limitato.

Un *sistema di posizionamento e navigazione* permette di seguire delle rotte prestabilite e di ricostruire la posizione dei bersagli individuati.

La tecnica del “*mosaicking*” permette di unire i dati acquisiti in un’unica mappa digitale georeferenziata da cui si ottengono poi le carte tematiche (es. biocenosi).

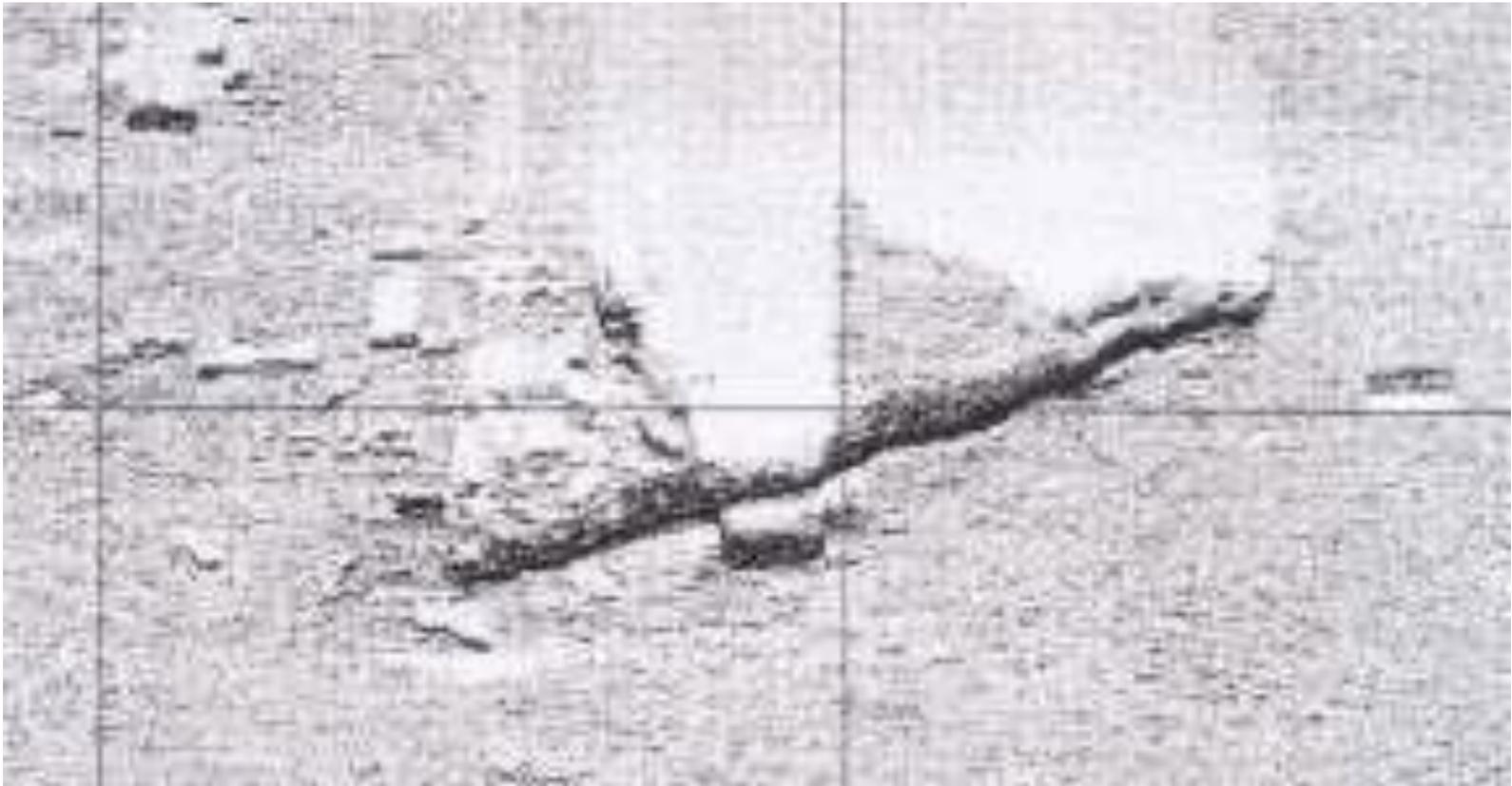


Immagine Side Scan Sonar: il relitto del sommergibile Velella, ritrovato da COLMAR il 13 Maggio 2003 a 8,9 miglia da punta Licosa e a circa 138 metri di profondità

Side Scan Sonar

Il Side Scan Sonar, tramite *due trasduttori sistemati ai lati di un “pesce” trainato dall'imbarcazione*, consente di ottenere l'immagine del fondo su di una registrazione grafica o digitale.

Grazie alla forma, dimensioni e posizionamento dei trasduttori del Side Scan Sonar, si ottiene un *fascio acustico a forma di ventaglio* giacente nel piano verticale e perpendicolare alla direzione del movimento del mezzo trainante.

Col procedere del battello, le successive trasmissioni danno luogo ad una copertura continua del fondo analoga ad una fotografia aerea a volo radente.

SSS – Strumentazione e vettori trasportatori



SSS – Strumentazione e vettore trasportatore



Side Scan Sonar

Il Side Scan Sonar permette di individuare anche *piccole caratteristiche morfologiche dei fondali*, quali massi affioranti, discontinuità nella morfologia dei fondali o la presenza di oggetti sul fondale.

Inoltre permette di identificare la flora del fondo marino e, in questo ambito, la *mappatura della Posidonia Oceanica* è una delle pratiche ora più richieste, in quanto la presenza di questo organismo è considerata come un marcatore della buona qualità delle acque e fonte di sostentamento per molte specie del Mediterraneo.

Side Scan Sonar

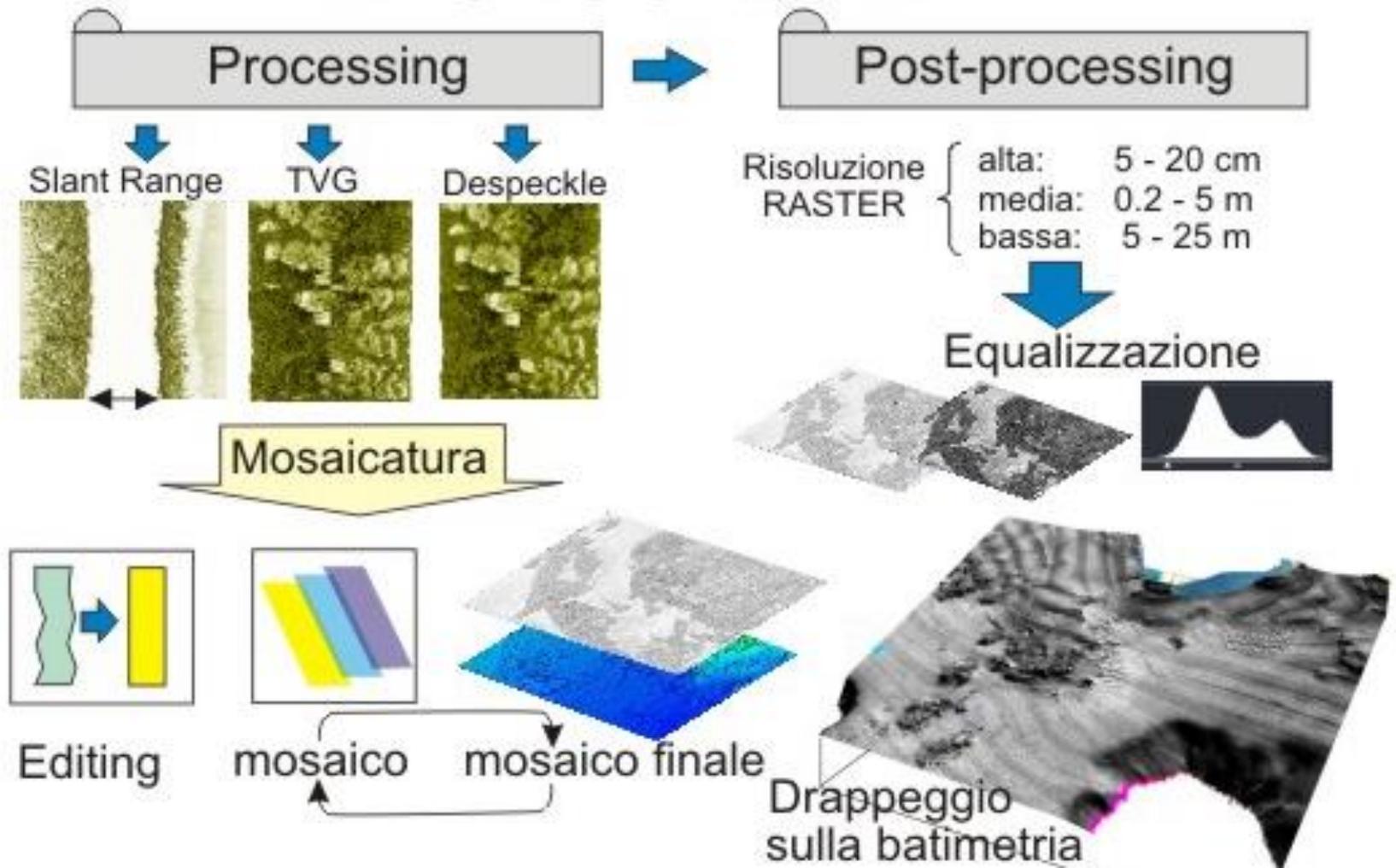
L'immagine fornita è *divisa in due parti* corrispondenti al lato sinistro e destro del fondale rispetto al percorso della sorgente trainata.

In essa i riflettori più forti danno luogo ad un segno più scuro, mentre le zone chiare corrispondono a una eco molto debole o nulla.

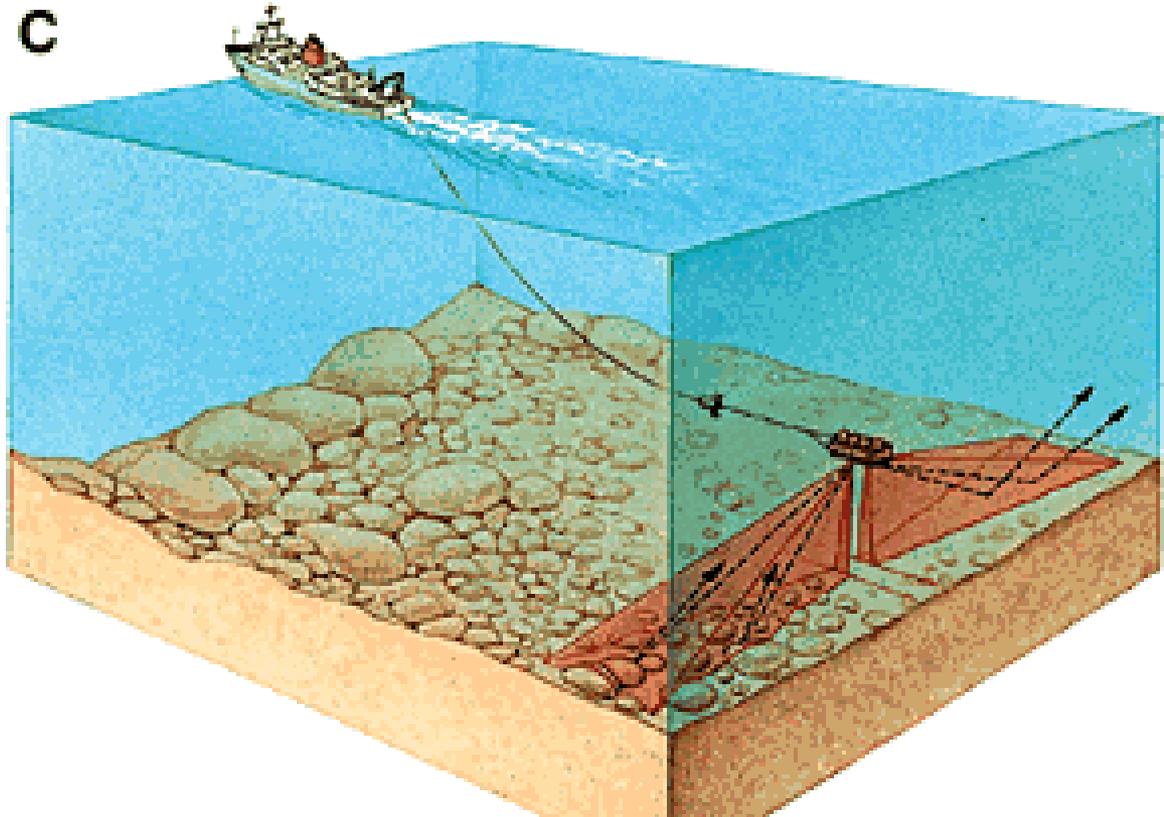
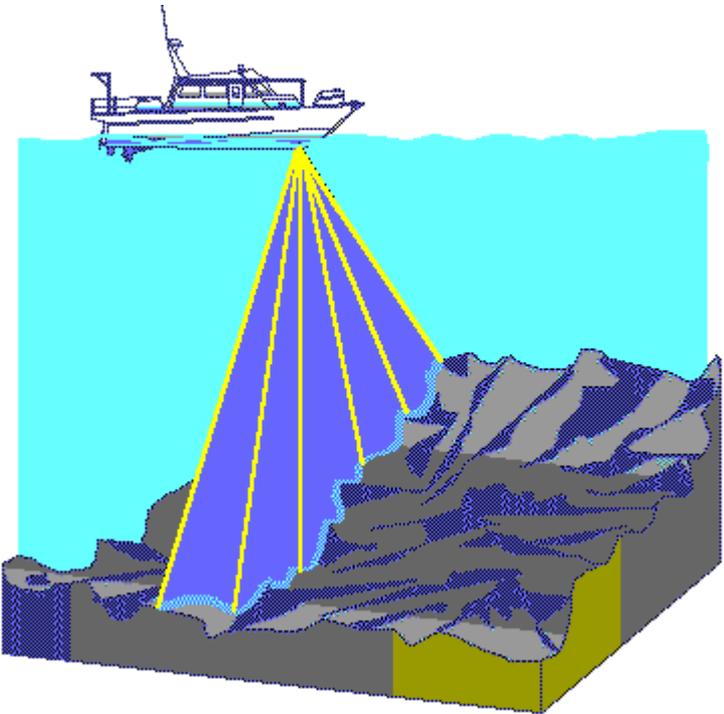
Le *immagini* vengono *interpretate* in base alla *forma ed intensità degli echi e delle ombre acustiche*.

Elaborazione dati SSS

BACKSCATTER



Confronto multibeam-SSS





Altro esempio di vettore trasportatore di SSS

Side Scan Sonar

In definitiva:

Multibeam: fornisce distanze in base alla eco del segnale di ritorno.

Sidescan sonar: produce immagini in base all'intensità del segnale di ritorno.

Side Scan Sonar

Il *sistema multibeam* è solitamente *installato* su una *piattaforma di rilevamento* (che sia una nave, AUV, Autonomous Underwater Vehicle o ROV, Remotely Operated Vehicle).

Sidescan sonar è *a traino*, ovvero montato su un vettore trasportatore detto pesce di traino.

La profondità del pesce di traino può essere regolata sopra il fondale marino, in considerazione della larghezza della fascia da acquisire.

*Dynamic Transducer
Draft Correction*

