



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



FSC
Fondo per lo Sviluppo
e la Coesione

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Dip. Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente

Progetto MARINE HAZARD

***Sviluppo di tecnologie innovative per l'identificazione, monitoraggio,
remediation di sorgenti di contaminazione naturale e antropica
Passaro S¹., Sacchi M¹., Tamburrino S¹., Vallefucio M¹., Caccavale M^{1,2}.,
Contiero M¹., Guarino A¹., Iavarone M¹.***

1ISMAR NAPOLI

2ISMAR NAPOLI, INGV SEZ. OSSERVATORIO VESUVIANO

Deliverable report



Sommario

1.Introduzione al concetto di multibeam swath bathymetry	3
1.1 Strumentazioni “multibeam”	5
1.2 Spazzata e frequenza dei sistemi multibeam.....	6
1.3 Sonda/profilatore di velocità del suono in acqua	6
1.4 Il concetto di “footprint” e la calibrazione del sistema	7
1.5 Elaborazione dei dati.....	8
Rilievi Side Scan Sonar	10
Introduzione	10
Caratteristiche dell'insonificazione.....	10
2. Dati Batimetrici disponibili.....	13
Batimetrie	17
Cartografia.....	19
Carta batimetrica del Mar Tirreno SE.....	19
Carta batimetrica della Catena Vulcanica Palinuro (CVP).	20
Carta batimetrica del frame “A” (Caldere) – Margine occidentale della CVP.....	21
Carta batimetrica del frame “C” (Coni vulcanici) – CVP.....	22
Carta batimetrica del frame “D” (Enotrio Seamount) – CVP.....	23
Carta batimetrica del frame “E” (Ovidio Seamount) – CVP.....	24
Carta batimetrica Alcioni Seamount.	25
Carta batimetrica – Lametini Seamount.....	26
Carta batimetrica- Isole Eolie (Stromboli-Panarea).	27
Carta batimetrica- Isole Eolie (Lipari-Vulcano-Salina).	28
Carta batimetrica- Marsili Seamount.....	29
Carta batimetrica- Palinuro_HR	30
Carta batimetrica- Marsili_HR.....	31
Mosaico Side Scan Sonar (CVP)	32

1. Introduzione al concetto di multibeam swath bathymetry

La tecnica di rilievo acustico multifascio ("multibeam bathymetry" o "swath bathymetry", Fig.1) utilizza l'energia acustica per acquisire misure della profondità del fondale marino e

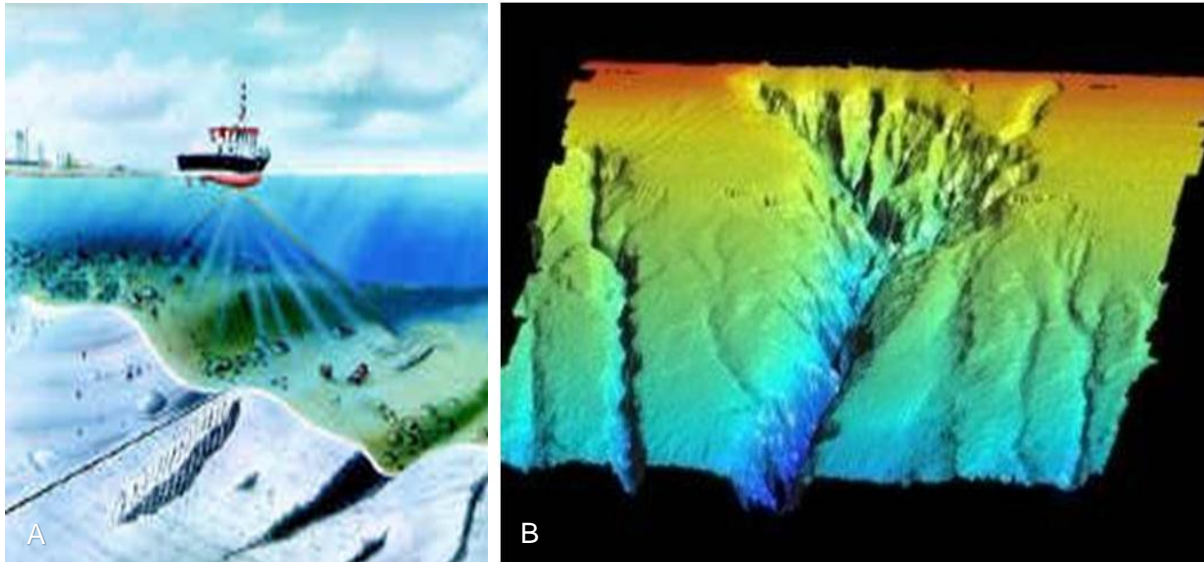


Figura 1: Tecnica di acquisizione multibeam. Il fondale viene insonificato per spazzate, in modo da ottenerne la copertura totale (A, dal sito della compagnia "Seafloor Systems") e i dati organizzati in formato di modello digitale del terreno (DTM, B; dal sito della compagnia "Marine Geosolutions")

rappresenta uno fra i metodi più efficaci di rilievo morfo-batimetrico, in quanto consente, in tempi relativamente brevi, di ottenere una notevolissima quantità di informazioni correttamente georeferenziate sui fondali investigati. Rispetto ai limiti dell'ecoscandaglio a fascio singolo, l'ecoscandaglio multifascio (MBES *multibeam echosounder*) offre sostanzialmente la possibilità di "riconoscere" e posizionare tutti gli arrivi laterali, sia quelli dovuti al moto della nave che quelli legati alla morfologia irregolare del fondo. A tale scopo, il MBES realizza una spazzata (swath) acustica del fondale, la cui estensione è una funzione delle caratteristiche intrinseche dello strumento (numero di beams, ampiezza in gradi della spazzata) e della profondità del fondale investigato. Gli impulsi acustici vengono emessi da un trasduttore (o proiettore) e ricevuti in modo separato ("beams") da una serie di ricevitori (generalmente più di 100) montati generalmente lungo un arco. Per ogni ciclo di misura il proiettore genera un fascio acustico molto ampio (fino a 160°) mentre in ricezione viene formato un numero di fasci acustici uguale a quello dei ricevitori. Ad esempio un MBES con una spazzata di 155° e 101 ricevitori intercetta 101 fasci ognuno ampio 1,5°. L'intersezione di ogni singolo fascio acustico sul fondo determina l'impronta del MBES, detta "footprint", che esprime il grado di risoluzione spaziale che può ottenersi a una certa profondità. L'ampiezza dell'intera spazzata sul fondo è naturalmente proporzionale alla profondità, generalmente di un fattore che va da 4 a 7 volte. Ad esempio un MBES che lavora a 100 m con una spazzata di 130° insonifica una striscia di fondo di circa 420 m, cioè circa 4 volte la profondità. Il metodo di misura della distanza tra il trasduttore ed il fondo si

basa sull'analisi interferometrica che permette di calcolare la profondità in funzione sia dell'ampiezza che della fase dei segnali ricevuti.



Figura 2: Schema operativo di un tipico sistema multibeam

Alla distanza misurata vengono apportate, in tempo reale, anche le correzioni necessarie a compensare il movimento dell'imbarcazione e le variazioni della velocità del suono nell'acqua. La misura della distanza tra i ricettori ed il fondo è affidata all'analisi interferometrica, che permette di valutare l'arrivo dei segnali sulla base della loro fase (oltre che dell'ampiezza). Questo è alla base della tecnologia MBES, in quanto se le riflessioni fossero percepite solo sulla base della loro ampiezza (cosa che avviene per gli ecoscandagli a fascio singolo) pochissima energia acustica verrebbe percepita dai settori laterali. Generalmente i MBES rilevano l'eco a seconda che questo sia percepito meglio in ampiezza o in fase.

1.1 Strumentazioni “multibeam”

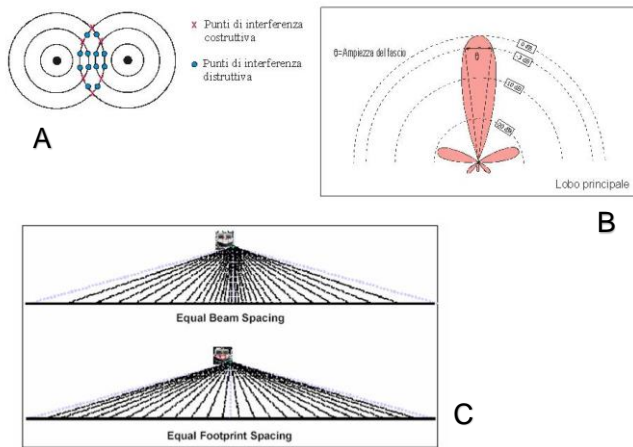


Figura 3: Caratteristiche delle sorgenti: A) zone di interferenza costruttiva e distruttiva nell'emissione di due beam adiacenti; B) Concentrazione dell'energia nel lobo principale (“main lobe”); C) Sistemi di array ad uguale spaziatura angolare (il nadir footprint risulta, in questo caso, progressivamente minore del footprint riguardante i beams esterni) e uguale footprint (l'angolo fra due fasci si riduce lateralmente) Questi ultimi consentono normalmente una modifica “on-board” dell'angolo di apertura della spazzata. (Manuali informativi della Communications Sea Beam Technologies)

Un sistema MBES (Fig. 2) è essenzialmente composto di un trasduttore-ricevitore, una CPU (Computer processing Unit) di interfacciamento utente per l'estrazione del segnale e di un computer dove viene gestita l'acquisizione dei dati. La CPU è a sua volta interfacciata con l'antenna GPS di navigazione (quasi sempre con correzione differenziale DGPS) e con il sensore di assetto. I moderni softwares per l'acquisizione MBES includono la navigazione e permettono il monitoraggio in tempo reale della copertura del fondo e della qualità dei dati, oltre che la modifica di alcuni parametri di acquisizione. Un sistema MBES richiede un insieme di proiettori capace di riprodurre un impulso acustico con caratteristiche ripetibili, precise e controllabili. Vengono utilizzati proiettori formati da elementi ceramici piezo-

elettrici, detti “array di trasduttori”, costituiti da un materiale capace di mutare la sua dimensione (di una quantità piccola e misurabile) nel momento in cui viene sottoposta ad una differenza di potenziale. In questo modo viene generato un fronte sferico uguale in tutte le direzioni, con una perdita di energia dovuta alla divergenza sferica del fronte d'onda ed all'assorbimento del mezzo attraversato (l'acqua) che viene detta complessivamente “*transmission loss*”. Sebbene vengano generate onde ad espansione isotropa, la complessa architettura dell'array di trasduttori, tramite l'insieme di interferenze costruttive e distruttive, genera insonificazioni non isotrope. Il processo che utilizza array di trasduttori e ricevitori per produrre dei fasci viene detto “*beam forming*”. La maggior parte dell'energia si concentra, a seguito delle interferenze fra fasci contigui, nel “*lobo principale*” (“*main lobe*”, Fig. 3) per ogni singolo beam. Questo processo consente di determinare una “*direttività*” in fase di ricezione dell'impulso trasmesso, la cui importanza deriva dalla necessità di associare i tempi di arrivo alle direzioni di provenienza, in quanto fondali a morfologia complesse (ad esempio, in prossimità di una scarpata) possono produrre arrivi laterali precoci rispetto ai beams centrali. Il “*beam steering*” rappresenta il processo di determinazione della direttività, effettuato con l'utilizzo del tempo di ritardo (“*time delay*”) o del ritardo di fase (“*phase delay*”).

1.2 Spazzata e frequenza dei sistemi multibeam

La sorgente insonifica il fondale con una serie di spazzate perpendicolari alla navigazione dell'imbarcazione e registra gli echi di riflessione in direzione parallela all'avanzamento ("Mill's cross"). Viene prodotta una spazzata ("swath") la cui ampiezza dipende dalle caratteristiche strumentali, ma normalmente è diverse volte superiore alla profondità della colonna d'acqua. La frequenza strumentale, invece, incide sulla risoluzione verticale del sistema. Un sistema a frequenza molto elevata garantisce una risoluzione verticale estrema, ma l'insonificazione viene perduta rapidamente con l'aumentare della profondità (a causa dell'aumento dell'assorbimento, che risulta maggiore per frequenze elevate). La scelta dello strumento, quindi, viene determinata in funzione dell'obiettivo della campagna di acquisizione.

1.3 Sonda/profilatore di velocità del suono in acqua

Durante il rilievo viene eseguita a intervalli circa regolari la misura della velocità del suono tramite una sonda (o "profilatore") CTD che rileva le caratteristiche termo-aline lungo la colonna d'acqua (conducibilità e quindi salinità e temperatura, profondità; es. in Fig. 4). Variazioni anche piccole nella velocità del suono inducono infatti errori anche di decine di metri sul valore della profondità, e l'errore sarà ovviamente maggiore quanto più elevato sarà il valore della profondità. La sonda/SVP (sound velocity profiler) viene calata in acqua circa ogni 6-8 ore



Figura 4: Sonda/Profilatore di velocità MINISVP (Valeport)

durante le acquisizioni multibeam per correggere il percorso dei fasci di insonificazione in funzione della reale velocità lungo la colonna d'acqua. Tale velocità è funzione anche di temperatura e salinità locali e varia, quindi, sia per aree di acquisizione diverse, sia durante il giorno per una specifica zona.

1.4 Il concetto di “footprint” e la calibrazione del sistema

L'area dell'elemento di fondale insonificata da ogni singolo beam dipende dalla profondità del fondo e dall'ampiezza acustica dei beams stessi e, quindi, dalla geometria del trasduttore. Nel caso di un trasduttore piatto l'ampiezza acustica trasversale di ogni beam non è costante, ma aumenta con l'aumentare dell'angolo di inclinazione rispetto alla verticale. Tale valore, che viene detto “footprint”, può essere calcolato con le seguenti formule:

footprint angolare (Nadir)=tg (numero di beam/ampiezza del fascio)

footprint areale (Nadir)=Profondità* footprint angolare

La misura di profondità acquisita da un beam rispecchia la media dell'area insonificata, per cui non può essere ritenuta strettamente puntuale. Il footprint, sostanzialmente, rappresenta per questo motivo una misura della potenziale risoluzione strumentale orizzontale ad una determinata profondità (Fig. 5). Per l'elevato gradi di precisione richiesto del sistema diventa critica la fase di calibrazione, che viene eseguita dal software di acquisizione mediante un modulo per il calcolo dei parametri di compensazione necessari al corretto funzionamento del multibeam. La calibrazione viene eseguita effettuando delle linee di acquisizione specifiche, con un confronto ricorsivo di tipo prova-errore sui profili acquisiti che consente di valutare i corretti parametri iniziali di “yaw”, “pitch”, “roll” ed “heave” dell'imbarcazione, e di correggere il posizionamento georeferenziato di ogni singolo beam (Fig. 6).

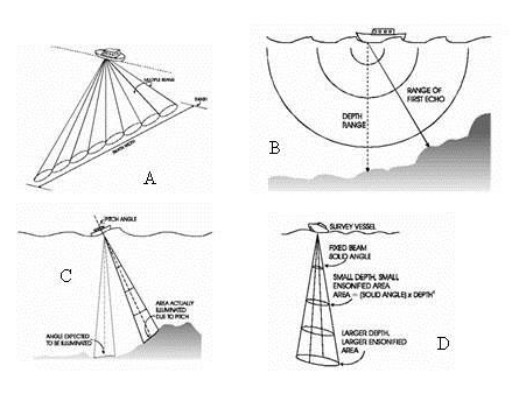


Figura 5: Caratteristiche dell'acquisizione: A) Spazzata di acquisizione; B) Ritorno dell'eco da direzioni non verticali (è per questo motivo che si necessita della direzionalità dell'ascolto); C) Importanza del sensore di assetto: l'insonificazione avviene con direzione dipendente dall'angolo di inclinazione dell'imbarcazione; D) Footprint: a parità di angolo si registra un aumento all'aumentare della profondità.

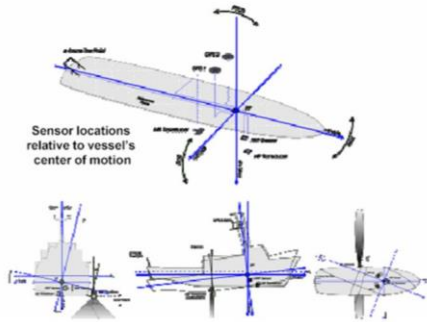


Figura 6: Schema dell'assetto dell'imbarcazione. In basso sono rappresentati (da sinistra verso destra) le tre componenti: "roll", "pitch" e "yaw". L'"heave" è la componente di oscillazione verticale

Sono previste:

1. La misura degli offset della strumentazione in relazione allo scafo (offset orizzontali e verticali dell'antenna GPS rispetto ad un sistema di coordinate scelto, etc.)
2. Una calibrazione della strumentazione e del sistema di acquisizione per roll, pitch, yaw, tempo di ritardo e velocità del suono, operata svolgendo percorsi di navigazione specificatamente consigliati dalla guida del PDS2000.

1.5 Elaborazione dei dati

Lo scopo finale dell'elaborazione dei dati multibeam è quello di raggiungere la più onesta e quanto più accurata possibile rappresentazione del fondale marino sotto forma di modello digitale del terreno (DTM). La dimensione della cella elementare che caratterizza il DTM finale deve necessariamente essere coerente con i limiti dell'accuratezza, spaziale e verticale, imposti dalle caratteristiche strumentali, nonché dai parametri di acquisizione.

Il flusso logico delle operazioni da eseguire per l'elaborazione di un dataset batimetrico è il seguente:

1. Correzione delle navigazioni (salti del GPS)
2. Correzione del profilo di velocità
3. Applicazione di una correzione di marea
4. estrazione delle terne xyz, relative al posizionamento ed alla profondità;
5. georeferenziazione in un sistema geodetico unitario;
6. Organizzazione dei dati in una matrice (modello digitale del terreno o DTM), nella quale ogni cella assume il valore della media delle misure che cadono all'interno della cella stessa; la dimensione della cella viene scelta in funzione del footprint
7. generazione di una mappa a curve di livello e del rilievo ombreggiato, oltre a carte tematiche (ad es., carta delle pendenze) tutte con relativo allestimento cartografico (Proiezione, Scala, editing grafico).

Come già definito in precedenza, la risoluzione verticale dipende solo dalla frequenza della strumentazione e dalla velocità del suono nella colonna d'acqua, mentre quella orizzontale dipende dalle caratteristiche strumentali e dalla profondità. Tipiche fonti di errore possono essere:



- un'errata calibrazione strumentale
- un errore nel posizionamento dell'imbarcazione (salti di GPS o salti della correzione differenziale)
- mancata (oppure incompleta) correzione dell'assetto dell'imbarcazione (Pitch, roll, yaw, heave)
- problemi legati alla marea ed al profilo di velocità del suono
- problemi connessi all'insonificazione in senso stretto.

Di seguito viene riportato uno schema riassuntivo del tipo di errore, delle possibili cause e delle soluzioni che possono essere applicate per rimuovere o ridurre gli effetti (da de Alteriis et al., 2003, modificato).

Tipo di errore	Effetti sull'acquisizione e sul DTM	Possibili accorgimenti
Errata calibrazione dei sensori (di moto e di offset)	Spazzate "tiltate" rispetto alle reali inclinazioni	Ripetizione della calibrazione ed applicazione dei nuovi parametri a tutti i records
Errato posizionamento	"Salti" nella ricezione, bassa qualità o salti nella correzione differenziale del segnale GPS	Editing della navigazione con software specifici
mancata o incompleta correzione dell'assetto dell'imbarcazione (Pitch, roll, yaw, heave)	Distorsione della contiguità delle spazzate. Oscillazioni perpendicolari al "vessel track" (percorso seguito dalla nave)	Aumento delle dimensioni di cella del Grid oltre quelli suggeriti dal footprint
Insonificazione acustica (bassa energia di ritorno)	Dislivelli fra spazzate contigue	Rimozione delle misure errate ("spikes") con l'utilizzo di softwares specifici
Errori connessi al profilo di velocità del suono nella colonna d'acqua (CTD)	Problemi di "spikes" in particolare nella parte distale della spazzata Possibili forme curve nelle spazzate (concave o convesse)	Plyback dei dati ed applicazione di nuove CTD
Marea	Dislivelli verticali, in particolare su spazzate vicine in senso spaziale ma acquisite in momenti differenti	Correzione del disturbo mareale effettuato con l'utilizzo di softwares specifici
Spikes random occasionali (Ostacoli sul "beam pattern", cattiva qualità generale del beam in acquisizione)	Falsi picchi sul DTM	Eliminazione effettuata con l'utilizzo di softwares specifici

Tabella 1: Prospetto schematico degli errori potenziali su Modello Digitale del Terreno (DTM)



Rilievi Side Scan Sonar

Introduzione

Il Side Scan Sonar (SSS) viene utilizzato per la determinazione delle caratteristiche morfoacustiche dei fondali: Rappresenta un'applicazione differenziata del tradizionale principio dell'ecoscandaglio utilizzato per i sondaggi acustici batimetrici verticali, che viene adattato all'impiego per i sondaggi acustici con scansione areale. Il parametro misurato con i sistemi SSS è il *backscatter*, ovvero la riflessione delle onde dovuta alle caratteristiche di rugosità intrinseche dei materiali.

Caratteristiche dell'insonificazione

La principale caratteristica del sonar a scansione laterale risiede nel trasduttore che, essendo di lunghezza multipla (tipicamente 30 volte o più) della lunghezza d'onda, possiede una larghezza di fascio emittente particolarmente ristretto sul piano orizzontale e conseguentemente, fornisce anche una buona risoluzione di direzionalità. L'ecoscandaglio a scansione laterale fornisce un'immagine acustica in pianta del fondale marino ad elevata risoluzione e opera tipicamente tramite l'emissione di impulsi acustici ad una frequenza dell'ordine di 100 - 500 kHz e con una potenza di circa 100W. L'unità di acquisizione ed il sensore sono connessi tramite un cavo ombelicale; il sensore emette onde acustiche che si espandono fino ad intercettare un'area del fondale in genere compresa fra i 100 ed i 400 metri. Ogni impulso acustico emesso dal trasduttore genera una *spazzata* che parte e ritorna come eco di riflessione per poi essere tradotta in immagine, nella quale ogni pixel assume una gradazione in toni di grigio proporzionale all'ampiezza del segnale di backscatter di ritorno.

L'immagine morfo-acustica del fondale (sonogramma) esprime le variazioni di intensità del backscatter, in termini di toni di grigio, associate a variazioni morfologiche, della tessitura/composizione dei sedimenti e alla presenza di affioramenti rocciosi (Fig. 7).

Il sistema emette un ventaglio di onde acustiche orientato trasversalmente alla direzione di navigazione e registra le onde provenienti dal fondale (backscatter); in questo caso le onde ricevute vengono generate sul fondale da fenomeni di diffrazione che si manifestano quando la lunghezza d'onda del segnale incidente è confrontabile con le discontinuità del fondale (rugosità); le elevate frequenze che caratterizzano il sistema assicurano l'assenza di penetrazione e l'elevata risoluzione dei dati.

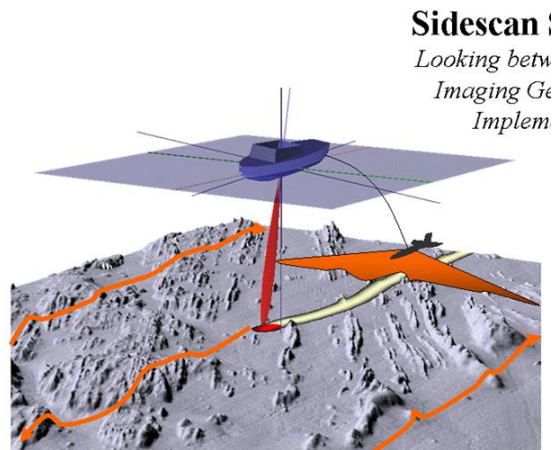


Figura 7: Geometria di un'acquisizione SSS.

Acquisizione dei dati

Esistono diversi tipi di Side Scan Sonar che, in funzione delle frequenze utilizzate, hanno diversa risoluzione e copertura laterale. I sensori possono essere montati a chiglia o essere trascinati, montati in un sensore a forma di siluro (*tow fish*), ad una determinata altezza dal fondo. Nel primo caso avremo una singola spazzata laterale (Fig. 8), nel secondo invece i trasduttori vengono montati in modo tale da investigare porzioni laterali di fondo-mare su entrambi i lati rispetto alla direzione di navigazione (Fig. 8). Il vantaggio dello strumento solidale all'imbarcazione consiste in mosaicature di eccellente qualità in termini di sovrapposizione delle singole spazzate, in quanto la posizione dell'ecoscandaglio è valutabile con un'accuratezza di gran lunga maggiore rispetto alle installazioni con *tow fish*. Tuttavia la configurazione a palo risente del movimento dell'imbarcazione (rollio e beccheggio), problema risolvibile con il sensore trainato per il quale però è difficile ottenere posizione e orientazione precisa e conseguentemente risulta impreciso il posizionamento degli oggetti sul fondale.

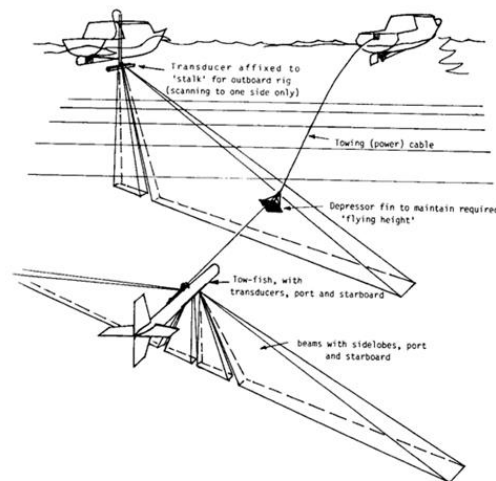


Figura 8: Differenza tra SSS montati a chiglia e trainati (*tow fish*)

I mosaici SSS classici presentano una zona di vuoto centrale (Fig. 9) dovuta proprio all'inclinazione dei sensori e, tramite i primi arrivi ricevuti, possiamo calcolare l'altezza dal fondo e di conseguenza la profondità. Le strumentazioni SSS possono essere anche montati su altri strumenti di indagine tipo ROV (Remotely Operated Vehicle) o AUV (Autonomous Underwater Vehicle): i ROV sono sconsigliabili in quanto presentano una difficoltà nel mantenere la rotta e sono soggetti a movimenti tipo rollio e beccheggio; le AUV invece non risentono del movimento superficiale e sono quindi ideali allo scopo.

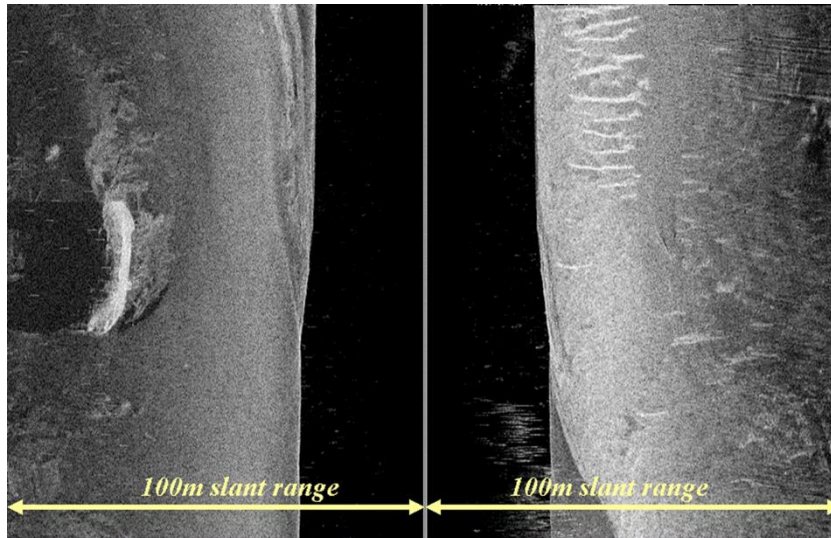


Figura 9: Immagine SSS con la banda di vuoto centrale dovuta all'altezza del *tow fish* dal fondo.

L'estensione della spazzata dipende dalle caratteristiche strumentali (ampiezza del fascio di emissione, frequenza, etc.) e dall'elevazione dello strumento rispetto al fondale; nei sistemi a traino l'altezza viene regolata tramite un verricello in tempo reale dal tecnico di acquisizione. In genere un'altezza pari ad una decina di metri sui fondali bassi e di qualche decina di metri sui fondali maggiori è sufficiente a garantire sicurezza del sensore e qualità risolutiva dei sonogrammi.

2. Dati Batimetrici disponibili

Il dataset batimetrico completo risulta dall'unione di 4 datasets acquisiti durante le campagne oceanografiche Aeolian_07, Aeolian_2010, SAFE_2015, SAFE_2016.

I dati della campagna oceanografica **Aeolian_07** consentono di ottenere una copertura degli edifici del Seamount Palinuro e del Seamount Marsili ad una risoluzione del DTM di 25 m (Fig. 10).

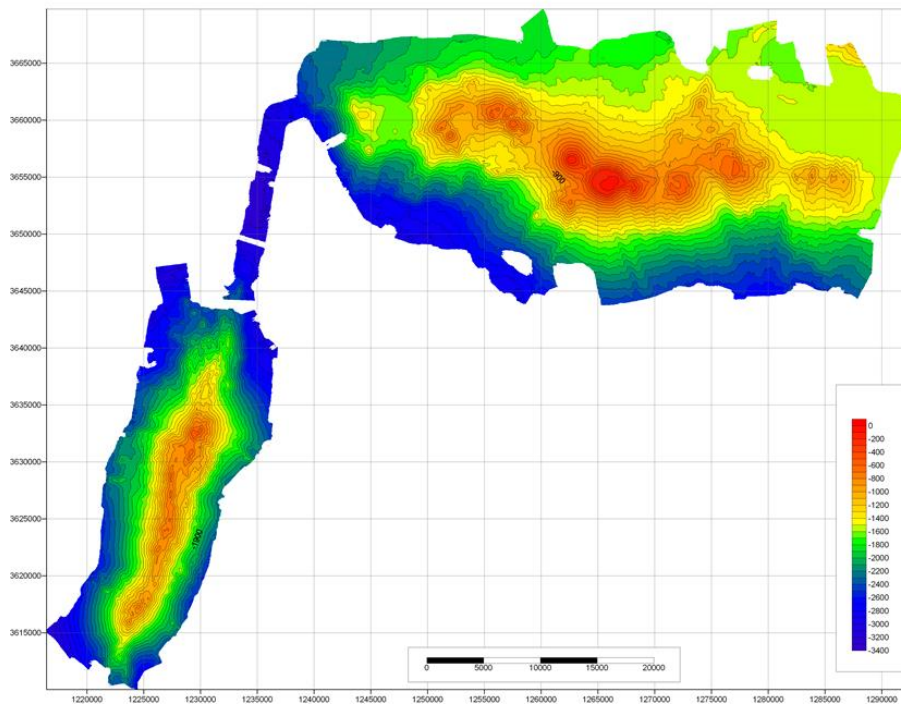


Fig. 10 Copertura batimetrica dei seamount Marsili e Palinuro (Aeolian_2007)

I rilievi della campagna oceanografica Aeolian 2010 hanno consentito di ottenere una risoluzione molto elevata della parte apicale dei seamount Marsili e Palinuro, ad un passo di cella pari a 5 m fino a 1000 m di profondità (Fig. 11).

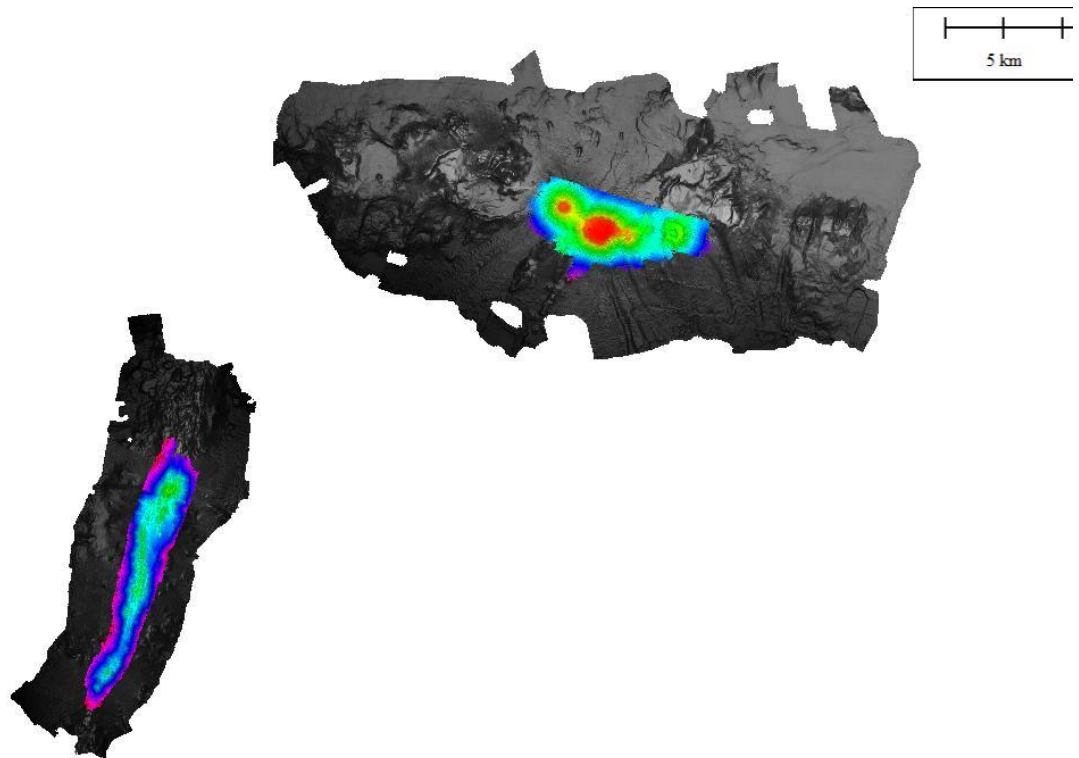


Figura 11 Copertura ad alta risoluzione della parte apicale dei seamounts Marsili e Palinuro ottenuta durante la campagna oceanografica Aeolian_2010 (aree con scala a colori; i dati Aeolian_2007 sono rappresentati in toni di grigio)

I dati resi disponibili dalle campagne oceanografiche SAFE_2015 e SAFE_2016 hanno permesso l'estensione del dato sulla Catena Vulcanica Palinuro verso Est, includendo i seamount Glabro, Enotrio ed Ovidio, consentendo la rappresentazione dell'intera Catena Vulcanica Palinuro (Fig. 12).

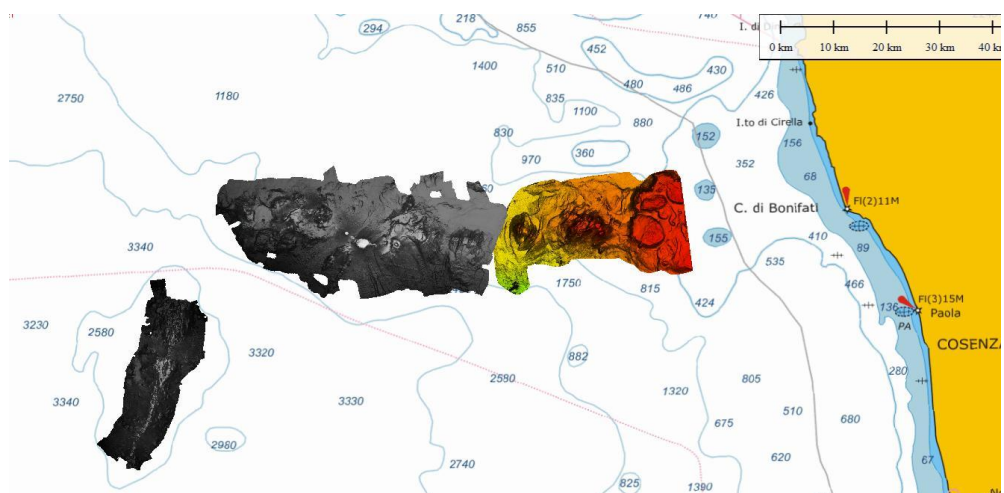


Fig. 12 Copertura batimetrica dei dati SAFE_2015 e SAFE_2016

Il Dataset Emodnet, infine, assicura una copertura completa dell'area del Tirreno sud-orientale con un passo di cella del Modello Digital del Terreno pari a 50 m (Fig. 13). Sono, inoltre, disponibili le batimetrie di



molti alti relativi al fondo mare, acquisiti durante la campagna oceanografica Aeolian 2007 (Fig. 14).

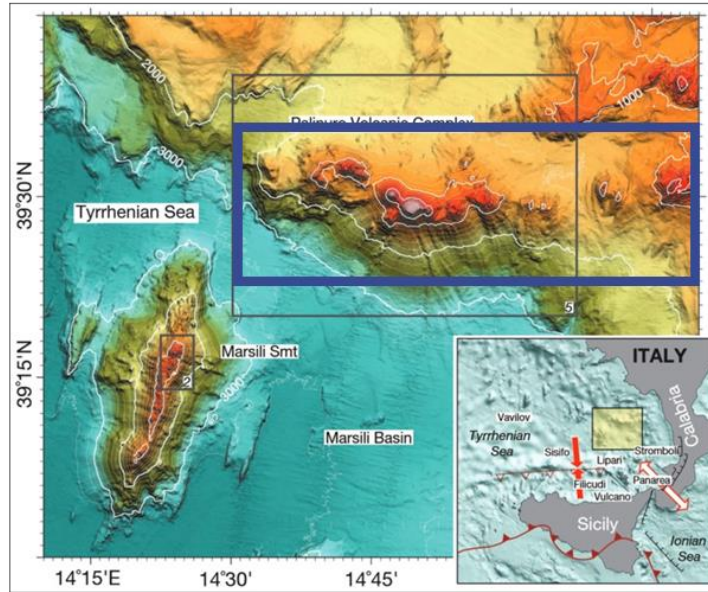


Fig. 13 Batimetria dei seamounts Palino e Marsili da dati EMODNET

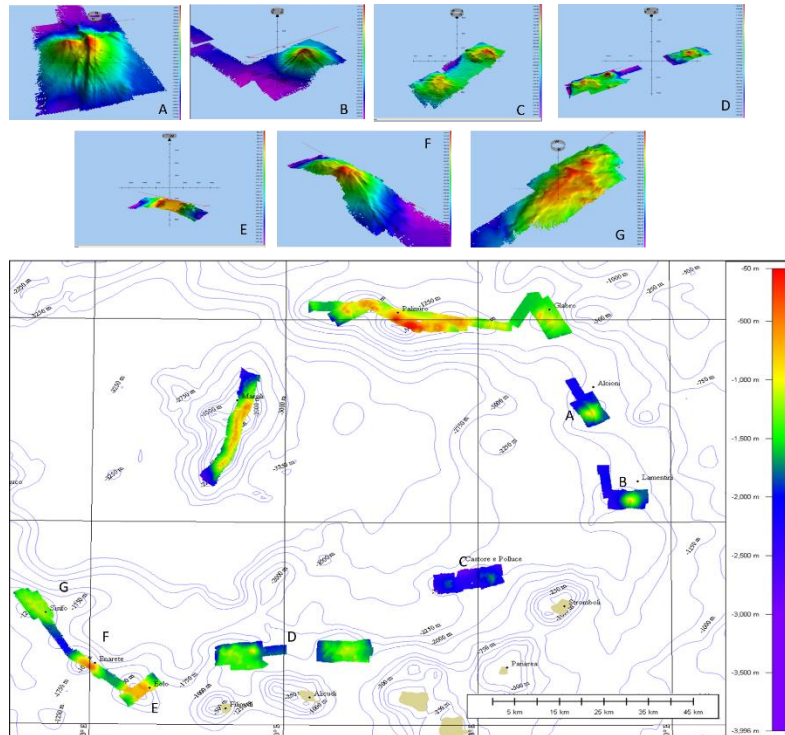


Fig. 14: Datasets disponibili su alti relativi del fondo mare (Mar Tirreno) acquisiti durante la Campagna Oceanografica Aeolian_07. A) Alicioni; B) Lametini; C) Castore e Polluce; D) Alicudi e Filicudi; E) Eolo; F) Enarete; G) Sisifo.



La seguente tabella (Tab. 2) riassume i DTM disponibili (per la sola Catena Vulcanica Palinuro)

Campagna	Area (km ²)	Grid cell Size attuale	Grid cell Size ottenibile	Min	Max	Median
SAFE_2015	633.28	25	10/15	-166.25	-2157.89	-966.81
SAFE_2016						
Aeolian_07	991.1	25	20	-3019.73	-84.38	-1594.07
Aeolian_2010	145,2	5	2.5	-1535.27	-82.93	-757.33
EMODNET	660	≈100	50	-3277.48	-89.73	-1681.38

Tab. 2: Statistiche dei rilievi batimetrici disponibili sul seamount Palinuro

Batimetrie

Vengono qui riportati i risultati delle elaborazioni sui dati batimetrici alla massima risoluzione disponibile.

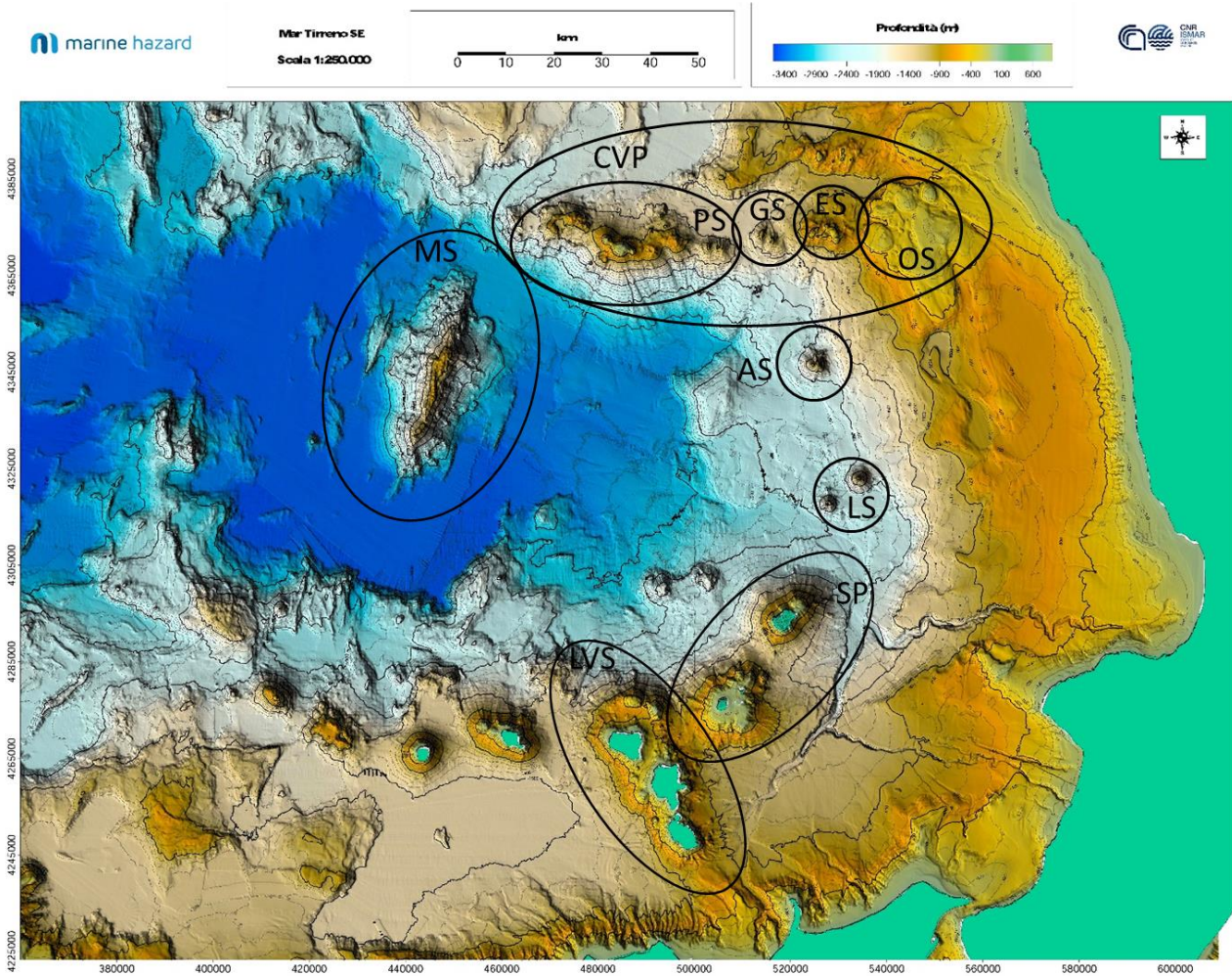


Fig. 15: Aree dei rilievi e delle cartografie disponibili

La disposizione spaziale dei DTM disponibili da progetto è riportata in Fig.15 . In dettaglio, sono stati processati e resi disponibili i DTM alla massima risoluzione del Palinuro Seamount (PS) e, più in generale, della Catena Vulcanica Palinuro (CVP), che annovera (oltre, ovviamente, al PS) anche gli alti relativi del fondo mare denominati Glabro Seamount (GS), Enotrio Seamount (ES) e Ovidio Seamount (OS). A causa della sua importanza predominante nell'ambito del progetto Marine Hazaed, la CVP viene presentata in cartografia anche con cinque carte di dettaglio (denominati frame A-E), allo scopo di favorire le ispezioni morfologiche e studi di maggior dettaglio. Di raccordo alla catena dell'arco Eoliano (verso sud rispetto alla CVP) troviamo prima l'Alcioni Seamount (AS) e i Lametini Seamount (LS), per poi approdare su Stromboli e Panarea (SP) e l'allineamento delle Isole Eoliane Lipari, Vulcano e Salina. In posizione centrale rispetto al Bacino SE Tirrenico troviamo invece il Marsili Seamount (MS). Sia per il PS che per MS sono disponibili due



rilievi di dettaglio della parte apicale (come riportato in Fig. 11) con passo di cella a 5 m fino alla profondità di 1000 m circa sotto il livello del mare. Per questi rilievi è anche disponibile il rilievo Side Scan Sonar.

Le caratteristiche dei Modelli Digitali del Terreno sono elencate in Tab. 3.

I dati batimetrici sono disponibili online (non elaborati) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=2e447fb447e84d46af5af8d4ec0b72a4>

(Password: Marinehazard)

I dati elaborati al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=e31310b2446748708e56ad3bdbe0b66c>

(Password: Marinehazard)

I prodotti cartografici digitali (formato *.pdf A0) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

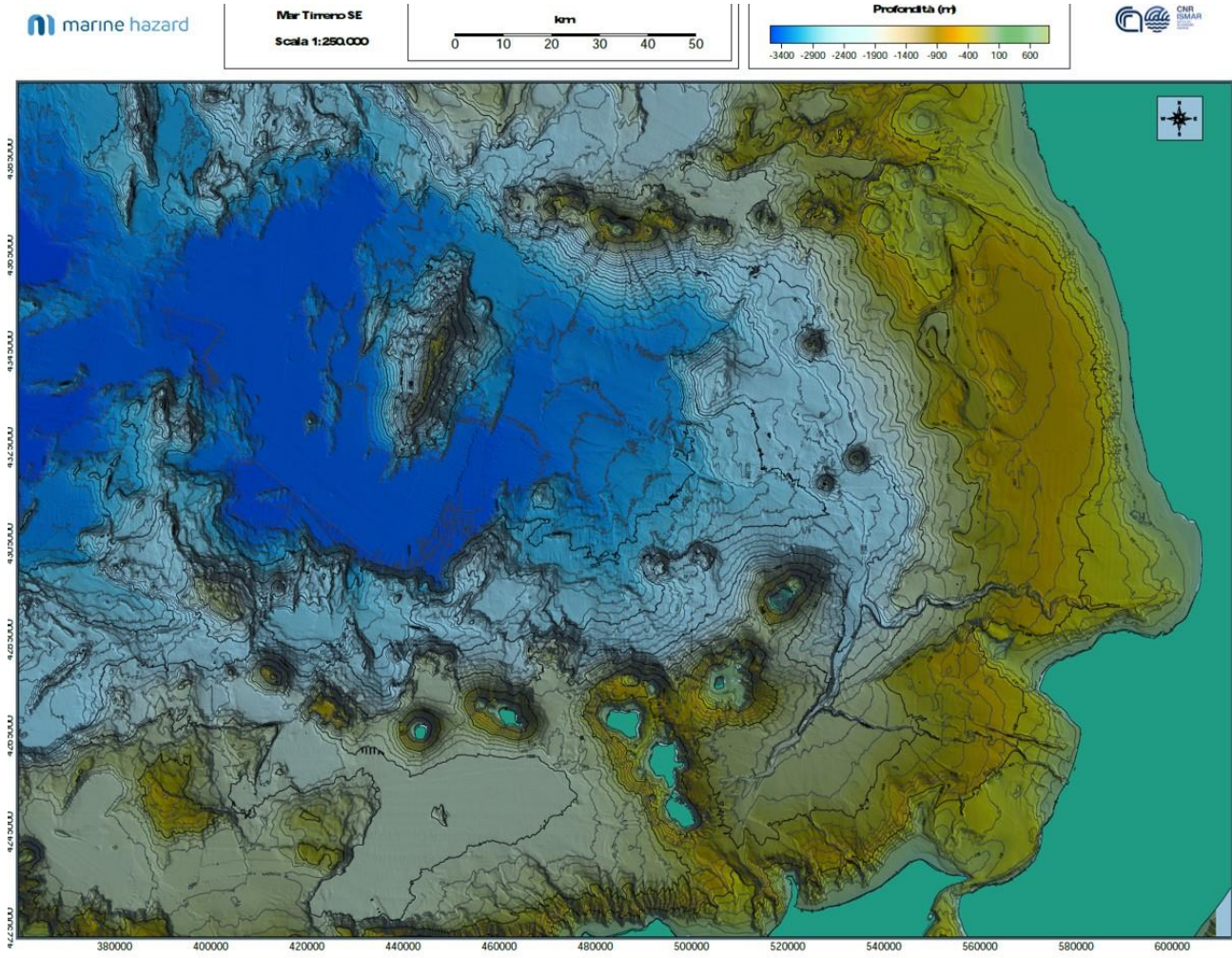
(Password: Marinehazard)

DTM	Area	Grid cell	Min	Max
Tirreno SE	45.000 km ²	50 m	-3581m	911 m
Catena Vulcanica Palinuro	3665 km ²	20 m	-3300 m	-84 m
Frame A	267 km ²	20 m	-3140m	-501 m
Frame B	294 km ²	20 m	-2450 m	-84 m
Frame C	244 km ²	20 m	-2360 m	-824 m
Frame D	224 km ²	20 m	-1881 m	-241 m
Frame E	579 km ²	20 m	-1168m	-126 m
Alcioni smt.	418 km ²	26 m	-2488 m	-907 m
Lametini Smt.	307 km ²	20 m	-2898 m	-831 m
Stromboli-Panarea	2000 km ²	10 m	-2968 m	912 m
Vulcano-Lipari-Salina	1486 km ²	10 m	-2166 m	417 m
Marsili	3059 km ²	20 m	-3525 m	-510 m
Palinuro HR	78 km ²	2.5 m	-1535 m	-83 m
Marsili HR	75 km ²	5 m	-1670 m	-491 m

Tab. 3: Statistiche dei rilievi batimetrici disponibili e dei prodotti cartografici



Cartografia



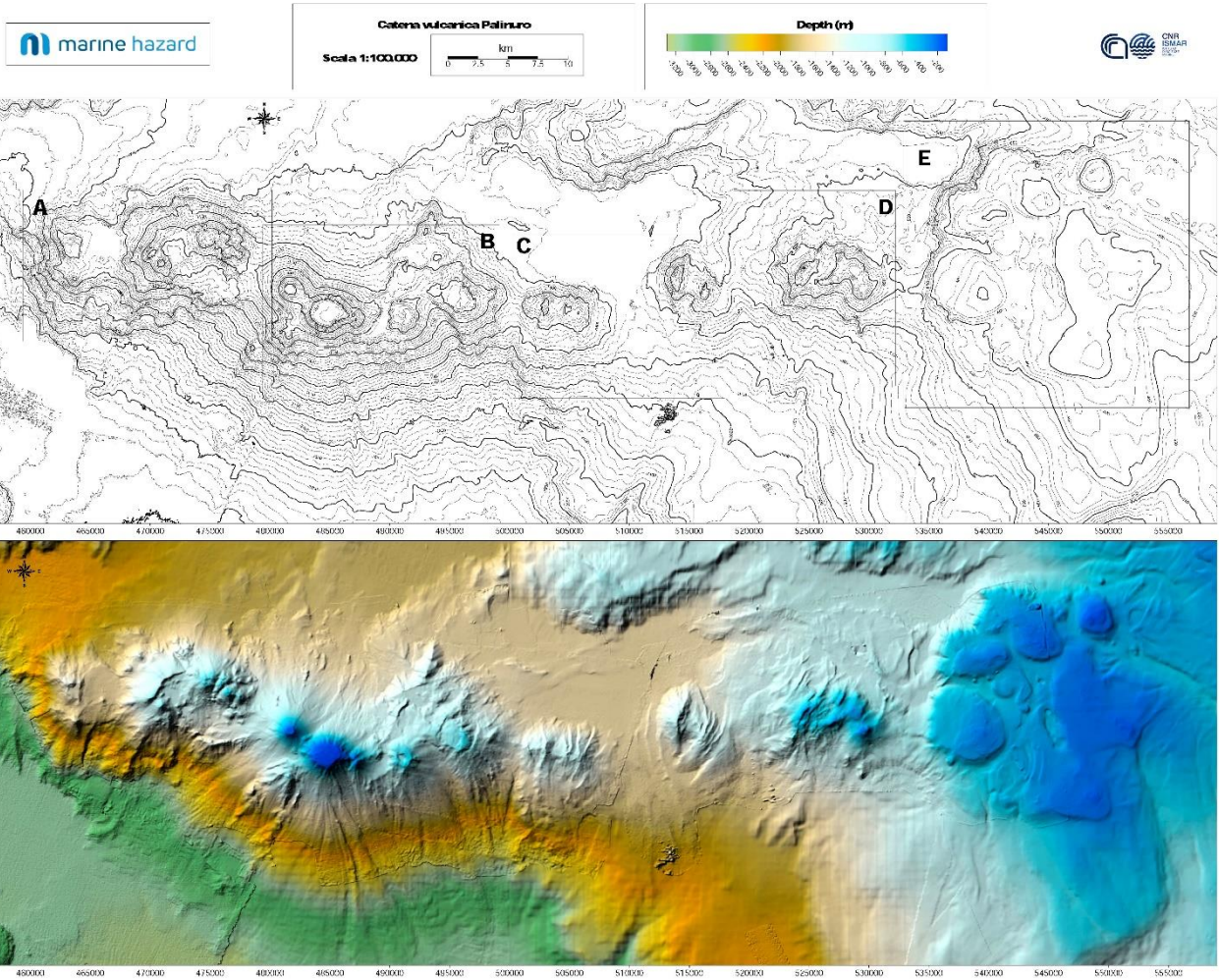
Carta batimetrica del Mar Tirreno SE

Bacino del Marsili-Catena Vulcanica Palinuro-Isole Eolie

Disponibile in formato A0 (Scala 1:250.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)

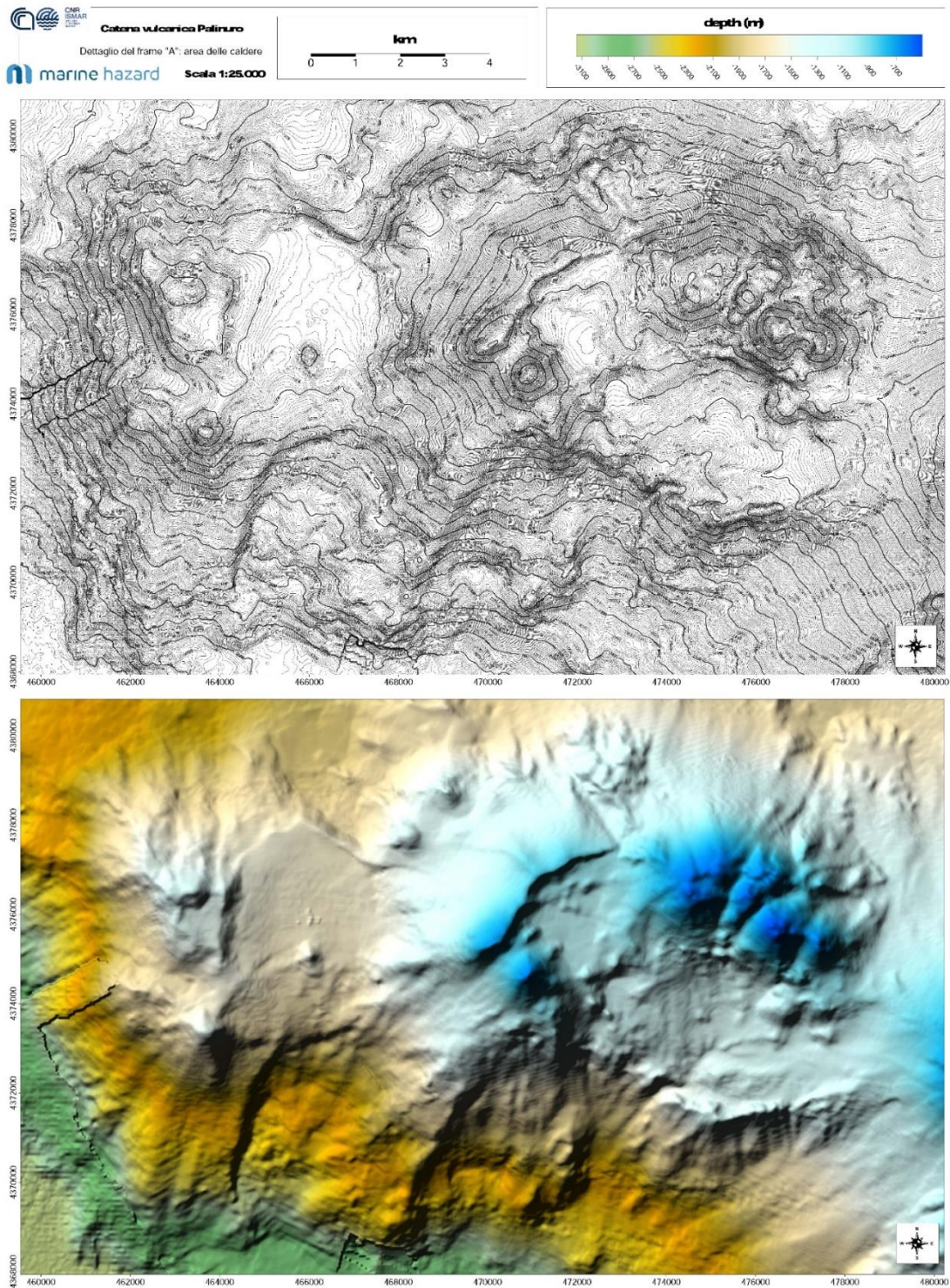


Carta batimetrica della Catena Vulcanica Palinuro (CVP).

Disponibile in formato A0 (Scala 1:100.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)

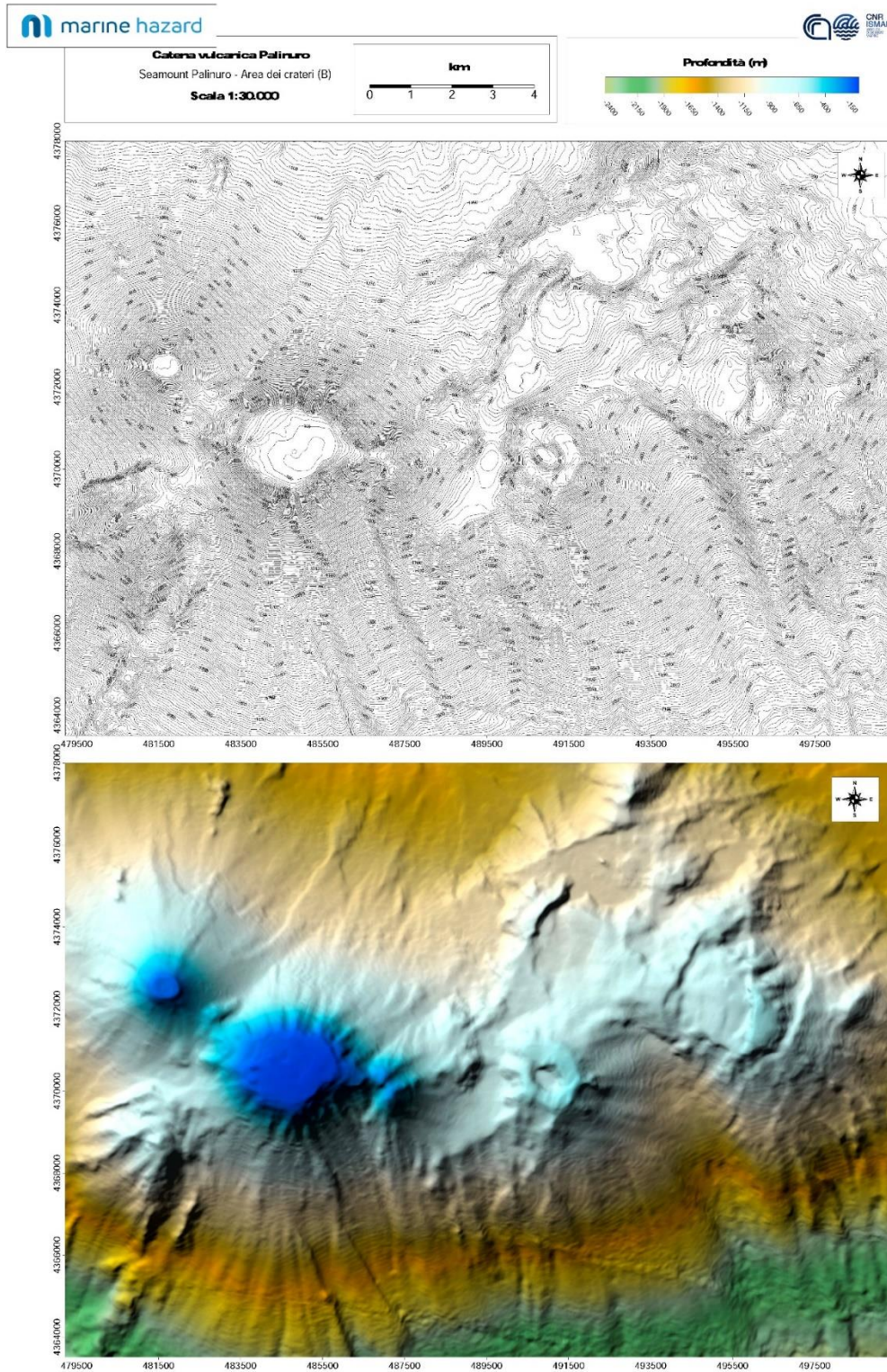


Carta batimetrica del frame "A" (Caldere) – Margine occidentale della CVP.

Disponibile in formato A0 (Scala 1:25.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)

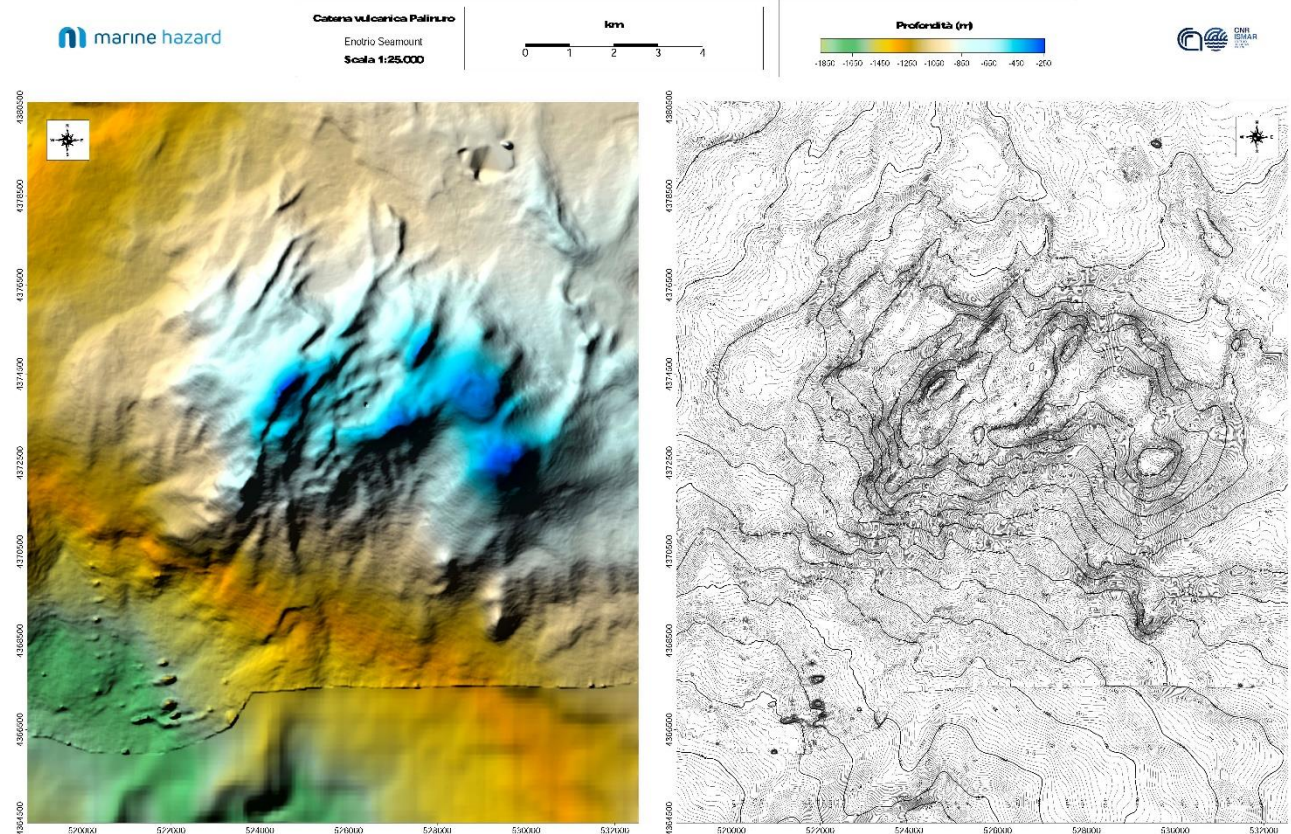


Carta batimetrica del frame "C" (Coni vulcanici) – CVP.

Disponibile in formato A0 (Scala 1:30.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)



Carta batimetrica del frame "D" (Enotrio Seamount) – CVP.

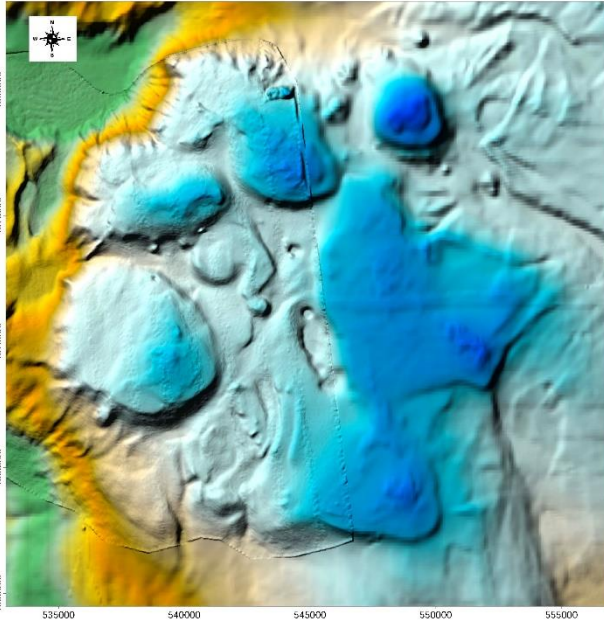
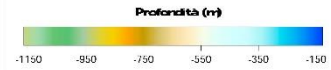
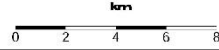
Disponibile in formato A0 (Scala 1:25.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)



Catena vulcanica Palinuro
Ovidio Seamount
Scala 1:50.000



Carta batimetrica del frame "E" (Ovidio Seamount) – CVP.

Disponibile in formato A0 (Scala 1:50.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

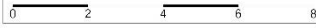
(Password: Marinehazard)



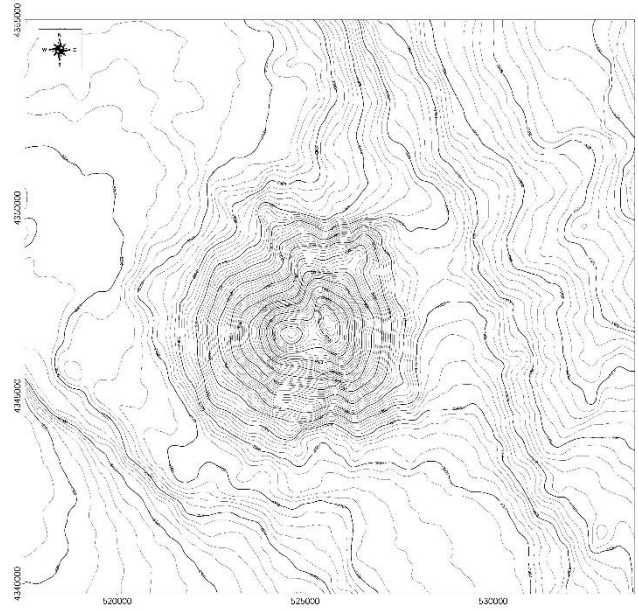
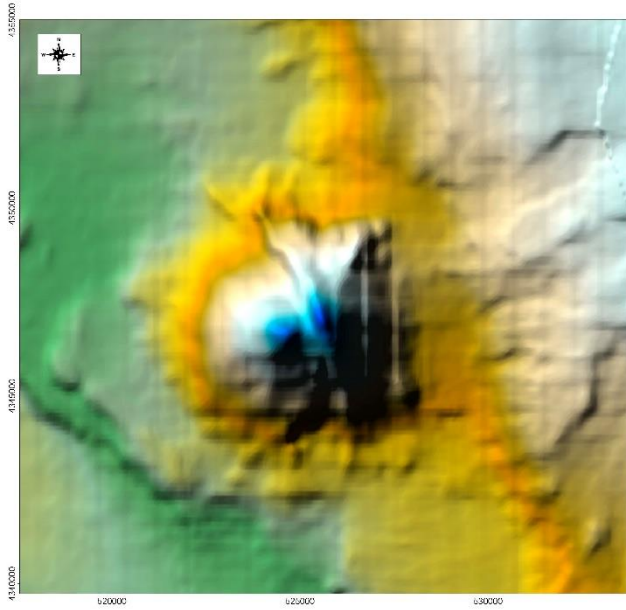
marine hazard

Mar Tirreno SE
Alcioni Seamount
Scala 1:30.000

km



Profondità (m)

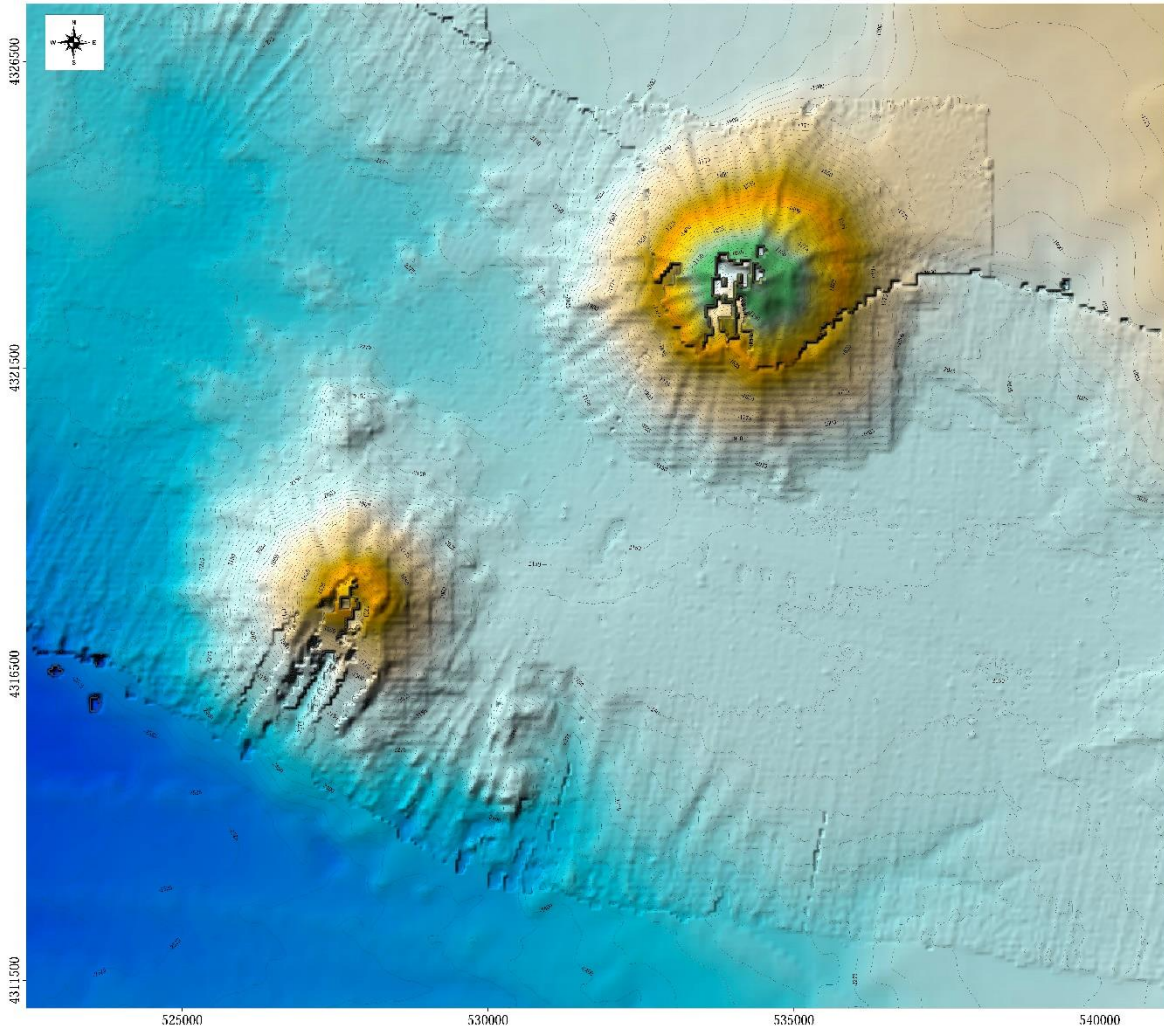


Carta batimetrica Alcioni Seamount.

Disponibile in formato A0 (Scala 1:30.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)



Carta batimetrica – Lametini Seamount

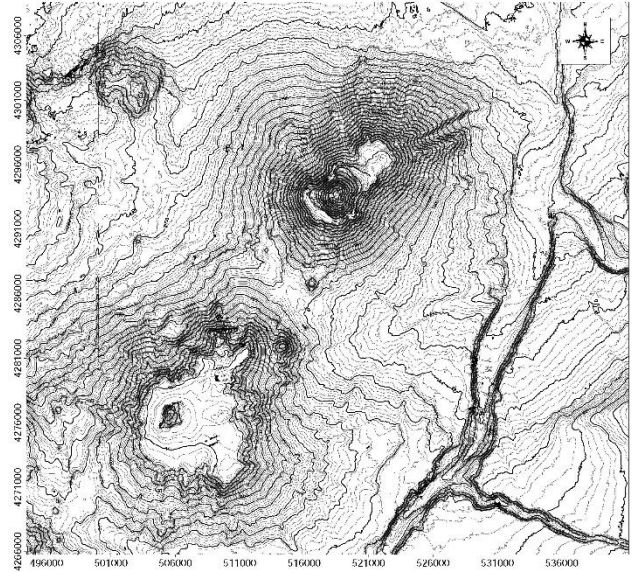
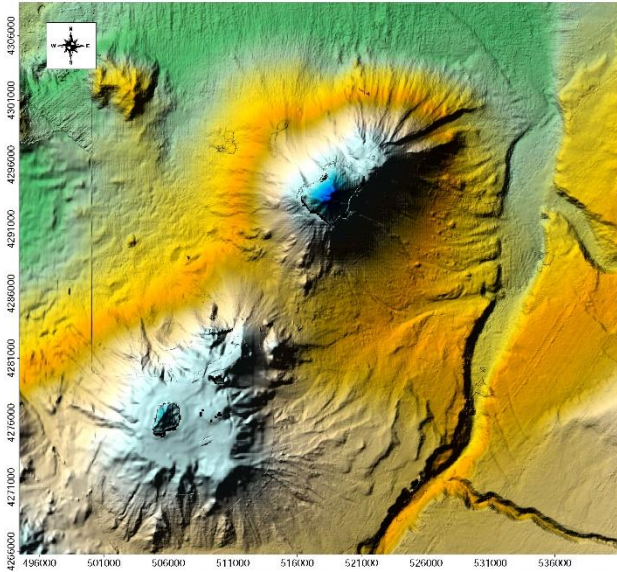
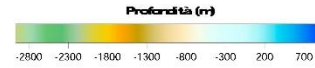
Disponibile in formato A0 (Scala 1:25.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)



Arco Eoliano
Isole di Stromboli e Panarea
Scala 1:100.000

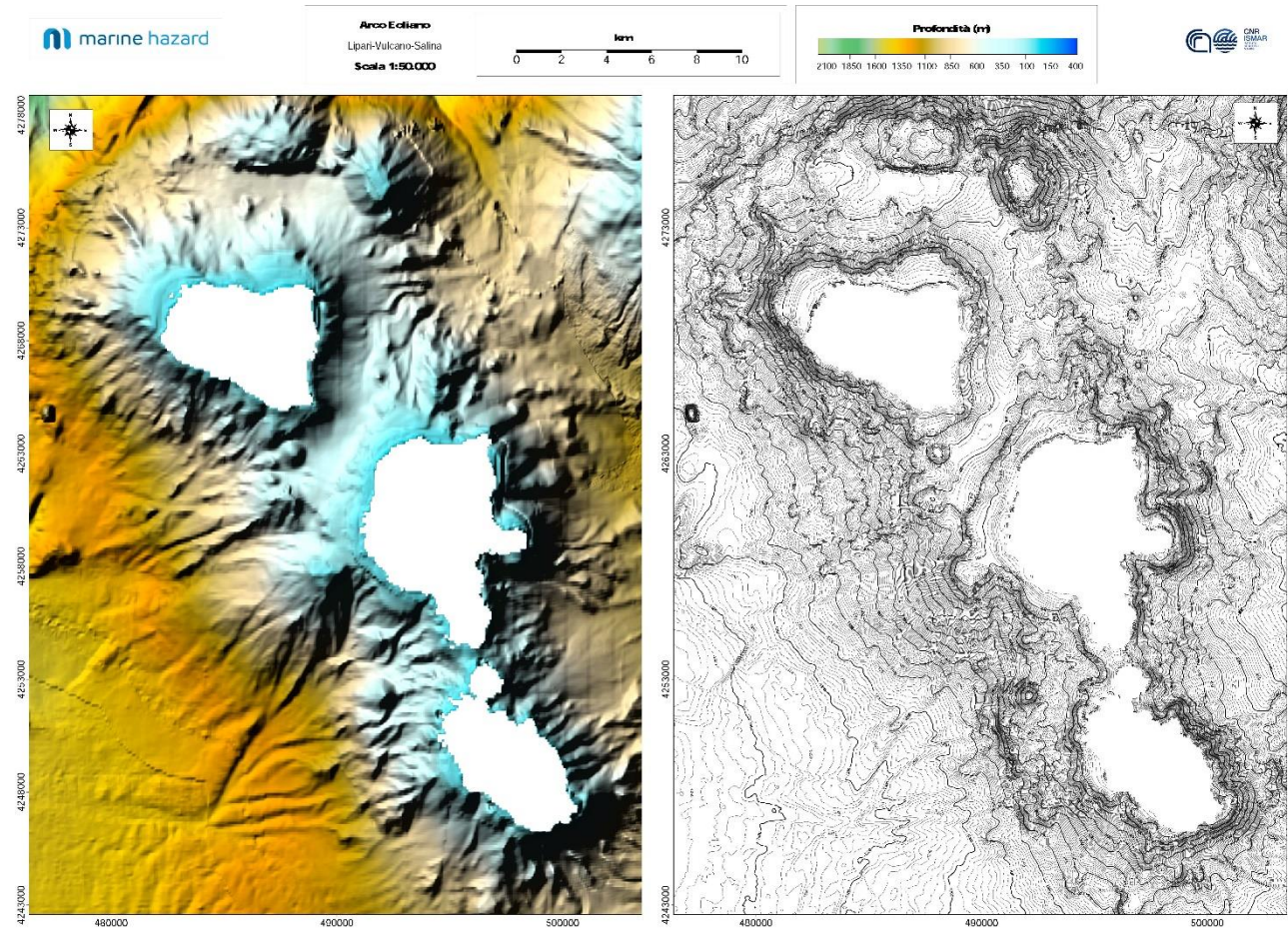


Carta batimetrica- Isole Eolie (Stromboli-Panarea).

Disponibile in formato A0 (Scala 1:100.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)

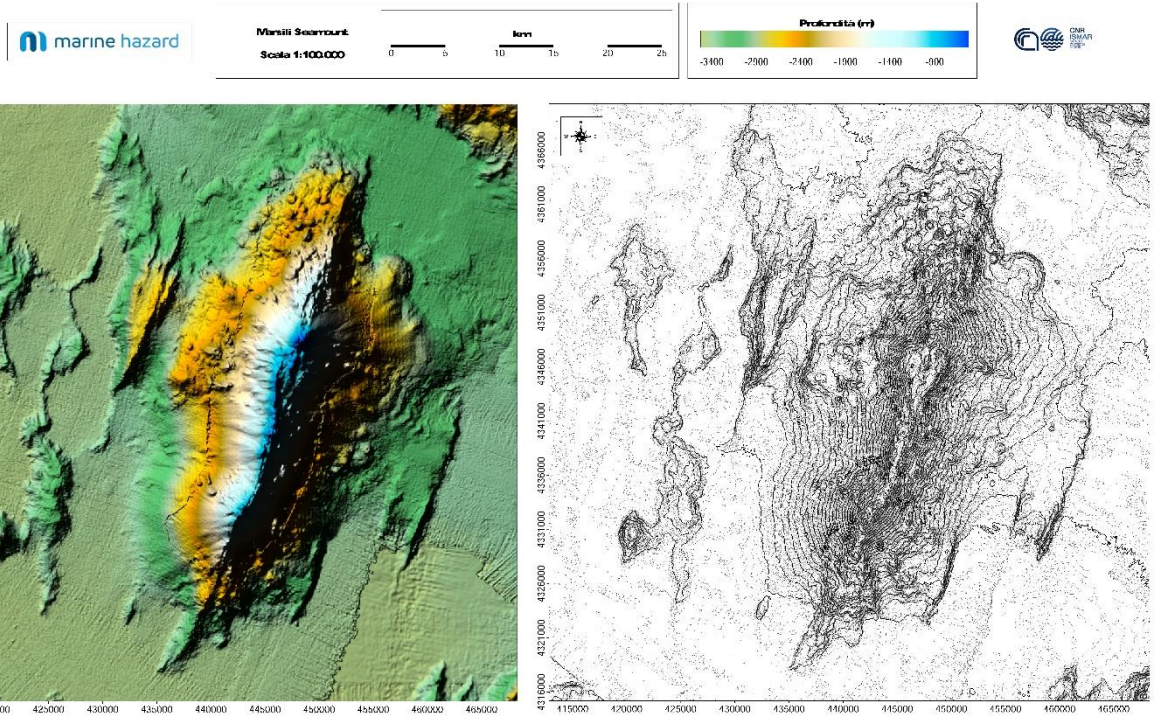


Carta batimetrica- Isole Eolie (Lipari-Vulcano-Salina).

Disponibile in formato A0 (Scala 1:100.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)

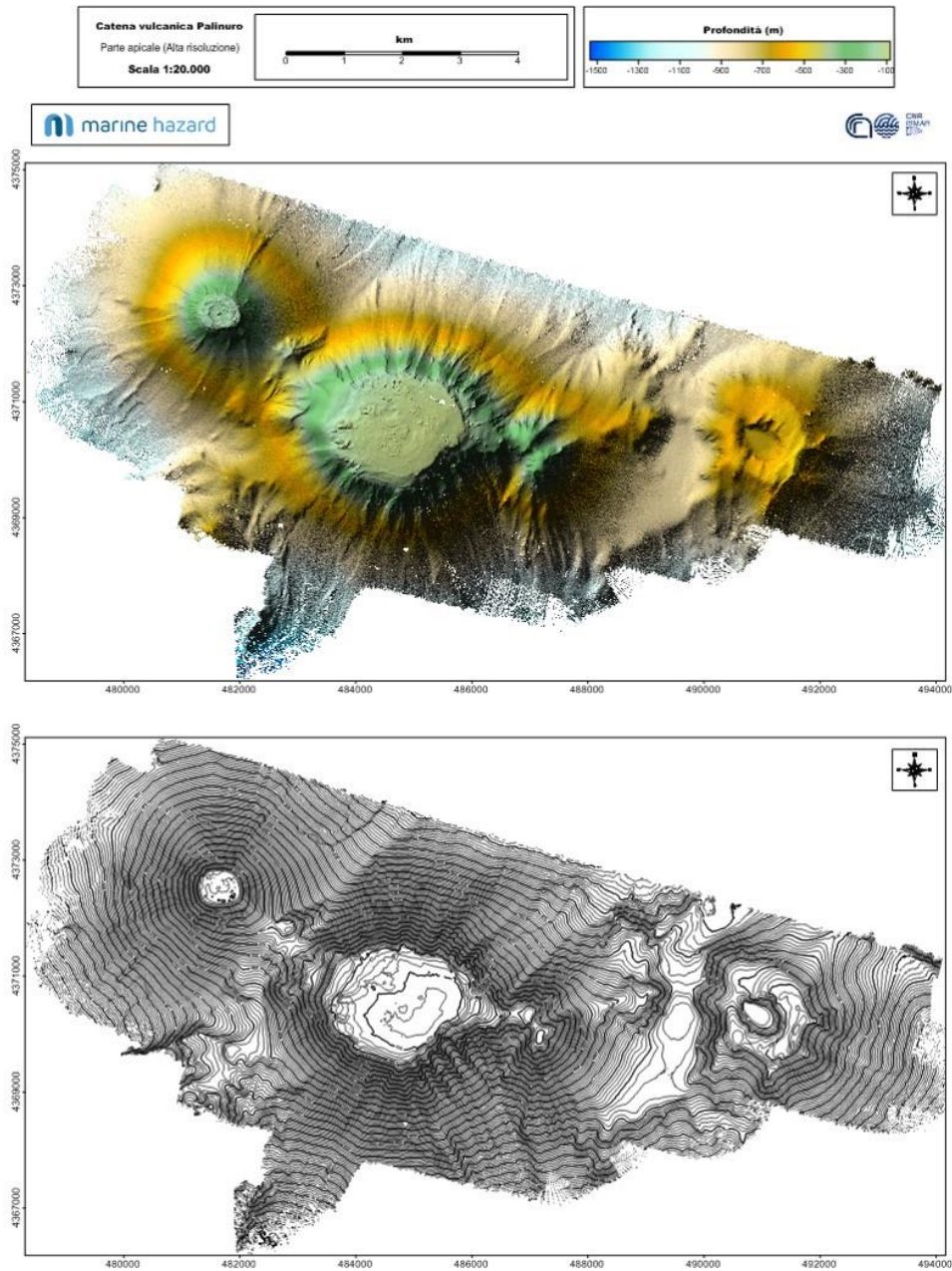


Carta batimetrica- Marsili Seamount.

Disponibile in formato A0 (Scala 1:100.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)



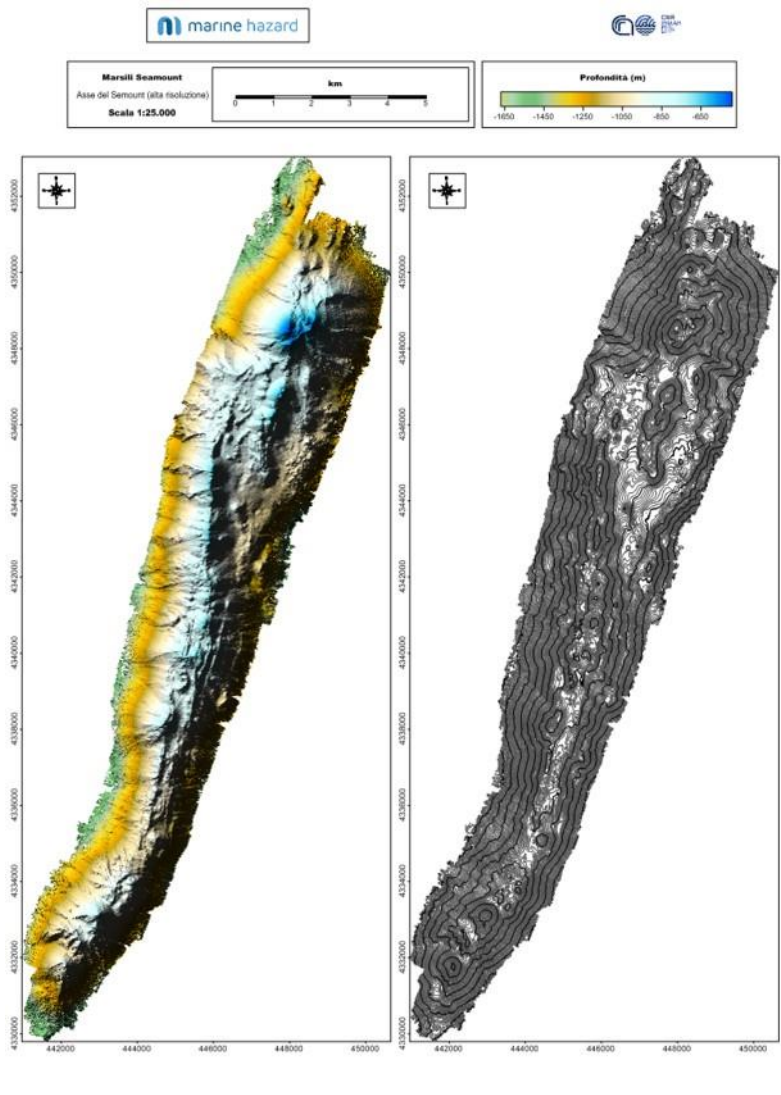
Carta batimetrica- Palinuro_HR

Parte apicale del Palinuro Seamount (alta risoluzione)

Disponibile in formato A0 (Scala 1:20.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)



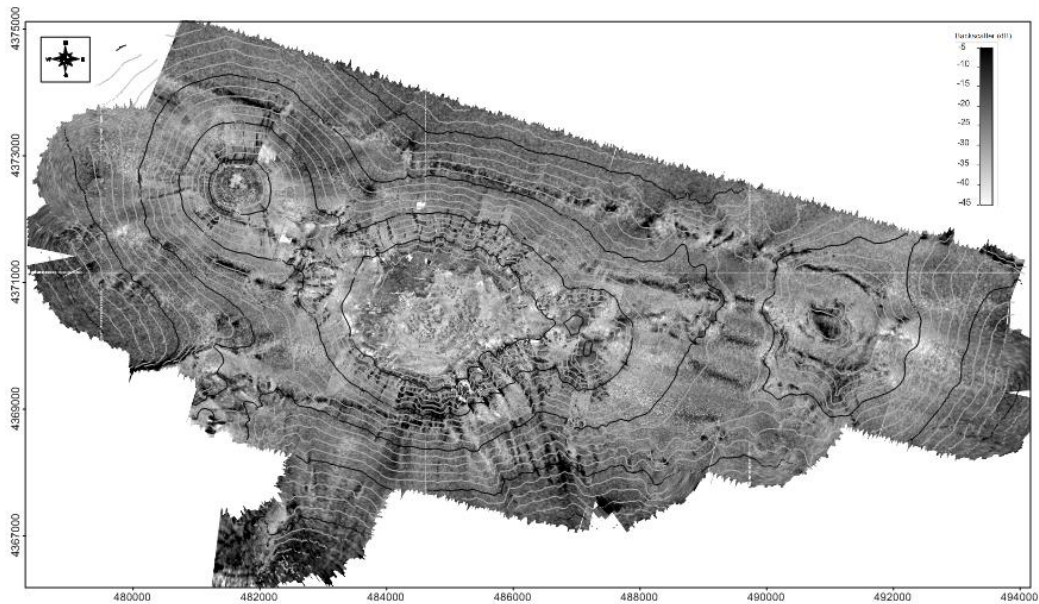
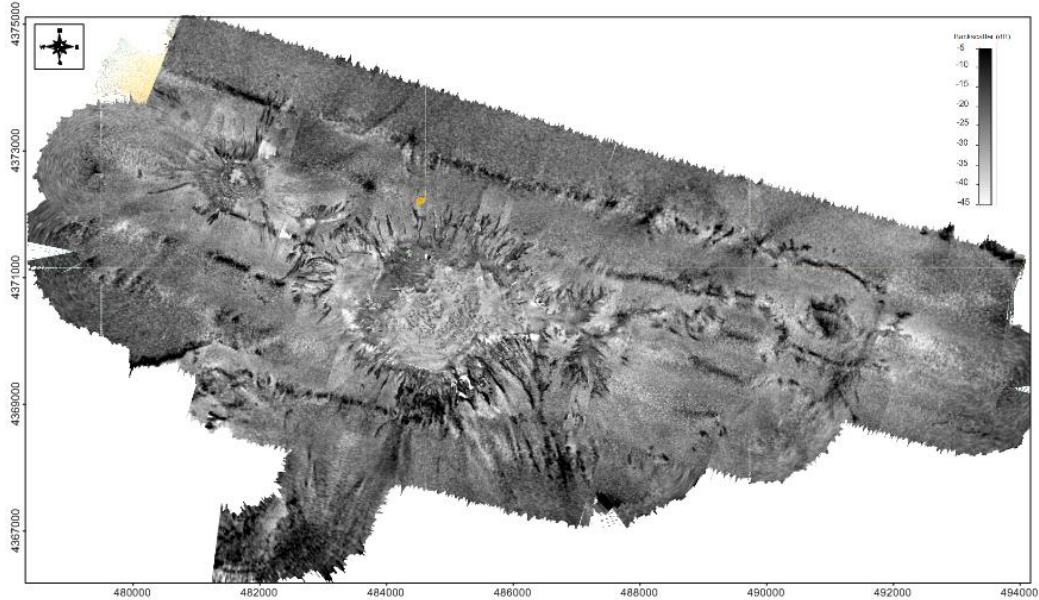
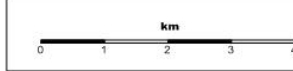
Carta batimetrica- Marsili_HR

Asse centrale del Marsili Seamount (HR)

Disponibile in formato A0 (Scala 1:25.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)



Mosaico Side Scan Sonar (CVP)

Parte apicale della CVP.

Disponibile in formato A0 (Scala 1:20.000) al seguente link:

<https://140.164.26.17/share.cgi?ssid=954f58c2b149433695aac07c4b55a40e>

(Password: Marinehazard)



Bibliografia essenziale

Cocchi L., Passaro S., Caratori Tontini F., Ventura F., 2017. Volcanism in slab tear faults is larger than in island-arcs and back-arcs. *Nature Communications* 8, Article number: 1451 (2017), doi:10.1038/s41467-017-01626-w.

de Alteriis G., Passaro S. Tonielli R., 2003. New, high resolution swath bathymetry of Goringe Bank, Eastern Atlantic". *Marine Geophysical Researches*, 24, 223-244. DOI: 10.1007/s11001-004-5884-2.

Innangi S., Passaro S., Tonielli R., Ventura G., Tamburrino S., 2016. Seafloor mapping by using high-resolution multibeam backscatter: a case study from the Palinuro Seamount (Eastern Tyrrhenian Sea)". *Journal of Map*, 12(5), 736-746. DOI: 10.1080/17445647.2015.1071719

Ligi, M., Cocchi, L., Bortoluzzi, G., D'Oriano, F., Muccini, F., Tontini, F.C., De Ronde, C.E.J., Carmisciano, C., 2014. Mapping of seafloor hydrothermally altered rocks using geophysical methods: Marsili and Palinuro seamounts, southern Tyrrhenian Sea. *Econ. Geol.* 109, 2103–2117.

Milano G., Passaro S., Sprovieri M., 2012. Present-day knowledge on the Palinuro Seamount (Southeastern Tyrrhenian Sea). *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 53(4), 403-416. DOI: 10.4430/bgta0042

Passaro S., Milano G. D'isanto C. Ruggieri S. Tonielli R. Bruno P. Sprovieri M. Marsella E., 2010. DTM-Based morphometry of the Palinuro seamount (Italy, Eastern Tyrrhenian Sea): geomorphological and volcanological implication; *Geomorphology*, 115, 1-2, 129-140. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.09.041.

Passaro S., Milano G., Sprovieri M., Ruggieri, S., Marsella E., 2011. Quaternary still-stand landforms and relations with flank instability events of the Palinuro Bank (south-eastern Tyrrhenian Sea) *Quaternary International*, 232, 1-2, 228-237. DOI: 10.1016/j.quaint.2010.08.006.