

XLI SPEDIZIONE ITALIANA IN ANTARTIDE (2025-2026)

Relazione finale di Campagna (Leg 2a e 2b)

Prog. PNRA0000063 LINEA A “Multidisciplinary study of enigmatic mounds in the East Antarctica

offshore – MYSTERO” – Bando PNRA2022- D.D. n. 614 del 08-04-2022

Responsabile: G. Castellan, CNR-ISMAR, giorgio.castellan@cnr.it

In Spedizione: R. Geletti, OGS, rgeletti@ogs.it; F. Battaglia, OGS, fbattaglia@ogs.it

ABSTRACT

Nel settore occidentale del Mare di Ross, al largo della Terra Vittoria settentrionale e lungo la piattaforma, la scarpata e la piana continentale di Capo Adare, sono stati individuati numerosi rilievi sottomarini a morfologia subcircolare (mounds), caratterizzati da altezze dell'ordine di alcune decine di metri e diametri di alcune centinaia di metri, distribuiti tra i 350 e i 1200 m di profondità. Nonostante la loro ampia diffusione nell'area, l'origine e il significato ambientale di queste strutture rimangono ancora poco chiari. Il progetto MYSTERO (Multidisciplinary study of enigmatic mounds in the East Antarctica offshore) si propone di chiarire i processi di genesi, i meccanismi di formazione e le condizioni ambientali associate a tali morfologie attraverso un approccio integrato e multidisciplinare. Le attività previste combinano analisi geofisiche e geomorfologiche, studi sedimentologici, caratterizzazione idrologica delle masse d'acqua prossime al fondale e indagini sulle comunità bentoniche, includendo componenti macro-, mega- e microbiche che colonizzano i mounds. Un'attenzione particolare è rivolta alle interazioni tra i processi di costruzione e mantenimento dei rilievi e le principali masse d'acqua che influenzano l'area, in particolare la Circumpolar Deep Water (CDW) e la Ross Sea Bottom Water (RSBW). Tali interazioni sono analizzate in relazione ai processi di ventilazione del fondale, all'apporto di nutrienti, alle dinamiche del ghiaccio marino, al riscaldamento delle acque e alla possibile migrazione di gas e fluidi dai sedimenti verso il fondo marino. Inoltre, lo studio del record sedimentario associato ai mounds potrà fornire informazioni rilevanti per la ricostruzione paleoceanografica e paleoclimatica, contribuendo alla comprensione dell'evoluzione della calotta glaciale e della circolazione oceanica nel settore occidentale del Mare di Ross.

RELAZIONE FINALE

Introduzione

Il progetto coinvolge cinque enti di ricerca italiani – CNR-ISMAR, OGS, CNR-ISP, Stazione Zoologica Anton Dohrn e Università di Napoli – e integra competenze geofisiche, geologiche e biologiche per lo studio di ambienti associati a rilievi sottomarini presenti sulla piattaforma continentale antartica adiacente a Cape Adare (Mare di Ross nord-occidentale).

Il progetto è coordinato dal Principal Investigator Giorgio Castellan (CNR-ISMAR). Le attività scientifiche a bordo della N/R Laura Bassi sono supervisionate da Riccardo Geletti (responsabile dell'Unità di Ricerca OGS) e Francesca Battaglia, con il supporto del team di progetto imbarcato (Tab. 1). La gestione tecnico-logistica della spedizione è affidata al Capo Missione Andrea Cova e al Comandante Franco Sedmak, coadiuvati dal personale tecnico-scientifico e dall'equipaggio di bordo.

Il progetto si articola su due principali aree di studio (Fig. 1): (1) la zona dei rilievi sulla piattaforma continentale al largo di Cape Adare, identificata con la lettera A nella proposta progettuale; (2) l'area prospiciente Cape Hallett, dove rilievi sepolti erano stati precedentemente individuati lungo il profilo sismico IT88-06 (Buseti et al., 2024).

Nome, Cognome	Ente afferente
Francesca Battaglia	OGS
Giuseppe Brancatelli	OGS
Jacopo Brusca	Univ. Napoli
Lorenzo Facchin	OGS
Andrea Gallerani	CNR-ISMAR
Riccardo Geletti	OGS
Taha Lahami	CNR-ISMAR

Tab. 1: Gruppo del progetto MYSTERO a bordo della N/R Laura Bassi.

Obiettivi del progetto da realizzarsi nel corso della Campagna

Nel corso della campagna, il progetto si propone di conseguire i seguenti obiettivi scientifici:

1. Acquisire dati geofisici, inclusi profili di sismica multicanale, rilievi multibeam e dati sub-bottom profiler (Topas), al fine di ricostruire la morfologia ad alta risoluzione del margine continentale nell'area dei rilievi sottomarini localizzati lungo il bordo della piattaforma, di fronte a Cape Adare (Fig. 1).
2. Raccogliere una serie di profili sismici multicanale nell'area offshore di Cape Hallett, in corrispondenza dei mounds sepolti, per investigarne l'origine in relazione alle dinamiche di avanzata della linea di ancoraggio glaciale (grounding line) e a possibili processi di migrazione di fluidi nei sedimenti.
3. Caratterizzare le proprietà fisiche delle masse d'acqua e la circolazione attuale mediante un approccio integrato che combina sismica oceanografica, misure CTD, ADCP e profili XBT, con l'obiettivo di identificare eventuali intrusioni di acque oceaniche relativamente calde (Circumpolar Deep Water, CDW) sulla piattaforma e il deflusso di acque dense antartiche lungo la scarpata continentale.
4. Prelevare carote di sedimento per l'analisi degli habitat associati ai mounds e delle aree circostanti.
5. Raccogliere campioni d'acqua sia superficiali sia prossimi al fondale, in corrispondenza dei rilievi e in aree di controllo non influenzate, per l'analisi del contenuto di microrganismi in sospensione.

Attività svolte in campo

La campagna della XLI Spedizione PNRA a bordo della N/R *Laura Bassi* si è articolata in due fasi operative distinte: Leg 2a e Leg 2b.

Durante il Leg 2a, la nave è salpata dal porto di Lyttelton il 2 gennaio 2026, a seguito della risoluzione di un problema tecnico che aveva ritardato di alcuni giorni la partenza dalla Nuova Zelanda. Dopo aver attraversato la cintura dei ghiacci, nelle giornate dell'8 e 9 gennaio 2026 sono state effettuate circa 15 ore di attività di scouting nell'area dei rilievi sottomarini oggetto del progetto MYSTERO. In questa fase sono stati acquisiti complessivamente 178 km di dati Sub Bottom Profiler (TOPAS) e di morfobatimetria multibeam con backscatter, finalizzati alla caratterizzazione del substrato.

Le attività previste nell'ambito del progetto sono state pianificate dal Capo Spedizione, Andrea Cova, e dal Coordinatore Scientifico del Leg 2a, Pasquale Castagno, in accordo con quanto stabilito nel documento di Azione Esecutiva Annuale 2025 (AEA), redatto dalla Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide. Tale documento assegnava al progetto una finestra operativa limitata durante il Leg 2a (a discrezione dei responsabili sopra citati) e ulteriori 7 giorni di attività nel successivo Leg 2b.

Nel corso della prima fase della campagna MYSTERO sono stati acquisiti dati morfo-batimetrici multibeam (MB) con backscatter e dati Sub Bottom Profiler (SBP) TOPAS sui rilievi della piattaforma continentale nell'area di studio. I dati, di buona qualità (Fig. 2), sono stati raccolti in condizioni meteomarine favorevoli, con una velocità di acquisizione di circa 6 nodi.

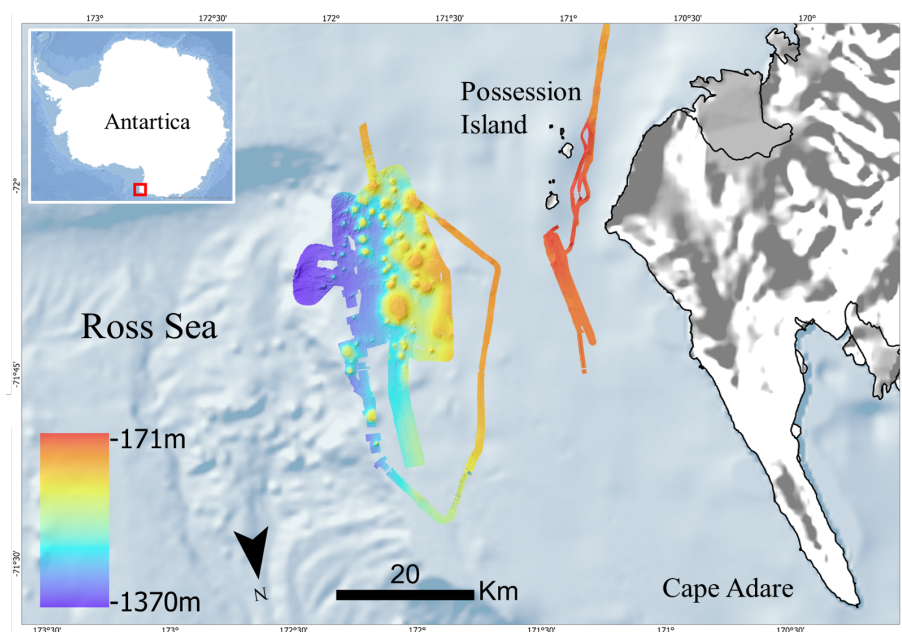


Figura 1: mostra la mappa dell'area investigata (1), con l'estensione della copertura dei dati di batimetria multibeam acquisiti nel corso della campagna.

Durante il Leg 2b, i ritardi legati alla partenza dalla base Mario Zucchelli, dovuti a condizioni meteomarine avverse, hanno comportato una riduzione del tempo nave disponibile. Il Capo Missione, in accordo con il Coordinatore Scientifico del Leg 2b (dott.ssa R. G. Lucchi), ha pertanto rimodulato le attività, riducendo ulteriormente il tempo assegnato ai progetti MYSTERO e DIONE rispettivamente da 7 a 4 giorni e da 10 a 7 giorni. Di conseguenza, il piano operativo è stato riorganizzato prevedendo 2 giorni dedicati all'acquisizione sismica e 2 giorni al campionamento.

In considerazione delle limitazioni temporali, si è deciso di eliminare completamente l'acquisizione sismica prevista nell'area dei rilievi sepolti (area B), concentrando gli sforzi sulla zona del margine continentale in corrispondenza del campo di mounds offshore di Cape Adare (Fig. 1).

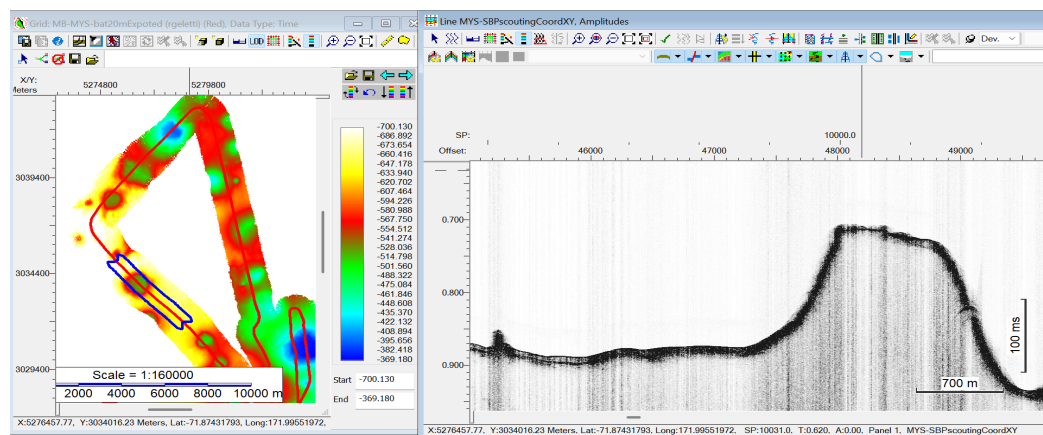


Fig. 2: a sinistra rilievo MB lungo una rotta esplorativa sui mound e a destra immagine di parte di profilo SBP su un rilievo su cui è stata fatta nel leg 2b la calata multicore e benna. Per l'interpretazione dei dati sia di quelli di batimetria MB che dei profili SBP si è utilizzato il software Kingdom.

Sismica multicanale

Tra il 4 e il 5 febbraio sono stati acquisiti complessivamente 190 km di profili sismici multicanale sui rilievi sottomarini dell'area MYSTERO, utilizzando i parametri di acquisizione riportati in Tabella 2.

A bordo è stata eseguita una prima elaborazione preliminare dei dati, finalizzata alla verifica della qualità del segnale sismico, che ha fornito un riscontro positivo. Lo stack relativo alla prima sezione, IT26-MYS01, è mostrato in Figura 3.

SOURCE		STREAMER		RECORDING	
Model	GI-GUN Sercel	Model	SERCEL	Model	SEAL 428 Sercel
Array	2 x 210 cu.in.	Length	1500 m	Samp. rate	0.5 ms
Gun mode	105I +45 true GI	Channel No.	120	Rec. length	8 sec (slope)
		channel spacing	12.5 m		
Source Volume	150+150 cu.in. (Total volume 300 cu.in.)			Recording Mode:	Recording starts at trigger
Shot Interval	ogni 37.5 m (per velocità 4 nodi circa 18.75 sec)			LC filters	None
Depth	4 m	Depth	4 m +/- 0.5 m	HC filters	Antialias

Tab. 2: Parametri di acquisizione della sismica a riflessione multicanale.

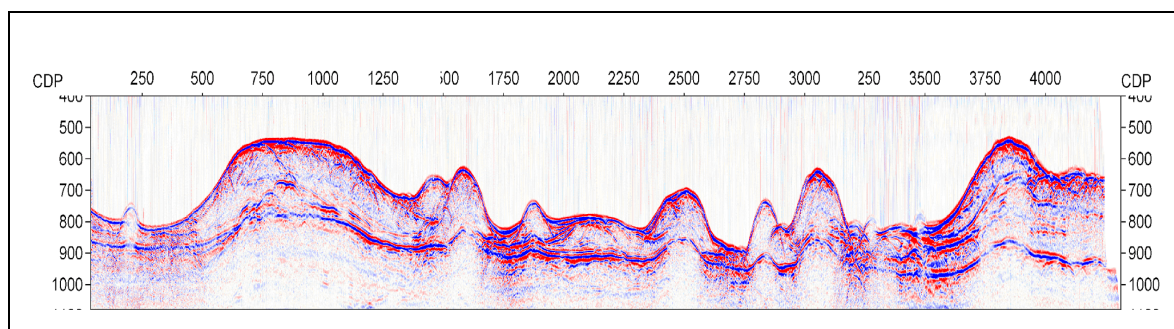


Fig. 3: immagine della sezione stack del profilo IT26-MYS01 dove sono ben visibili i rilievi obiettivo del progetto. Ogni CDP è spaziato di 6.25 metri (per il calcolo della scala orizzontale).

Risultati principali e conseguimento degli obiettivi prefissati

Nel corso della XLI spedizione italiana del PNRA, a bordo della N/R *Laura Bassi*, oltre ai 190 km di profili di sismica multicanale, sono stati acquisiti oltre 2000 km² di dati batimetrici multibeam, circa 1000 km di profili sub-bottom, campioni di sedimento, profili CTD, campioni d'acqua prossima al fondale e campioni biologici.

I risultati preliminari mettono in evidenza una morfologia articolata dei mounds, accompagnata da una significativa variabilità delle facies acustiche interne. Le sommità dei rilievi risultano colonizzate da comunità bentoniche diversificate, tra cui stilasteridi, briozoi, spugne, echinodermi e altra fauna associata, suggerendo che tali strutture costituiscano veri e propri hotspot di biodiversità.

Nel complesso, questi risultati aprono nuove prospettive sul ruolo ecologico e geochimico dei mounds nel contesto del sistema in evoluzione del Mare di Ross e forniscono le basi per future indagini metagenomiche sulle comunità microbiche, in relazione agli attuali scenari di cambiamento climatico.

Impatto ambientale

1. Rifiuti prodotti e tipologia: XBT lanciati da bordo nave
2. Ingressi ASPA, ASMA: permessi richiesti in precedenza per attività di sismica a riflessione
3. Campionamento organismi viventi
4. Altri campionamenti: benna e multicore

Conclusioni

Durante la missione XLI del PNRA, condotta a bordo della R/V *Laura Bassi* tra gennaio e febbraio 2026, nell'ambito del progetto MYSTERO sono stati acquisiti 190 km di linee sismiche multicanale, oltre 1000 km di profili sub-bottom e 2000 km² di dati multibeam. La campagna ha inoltre previsto il prelievo di campioni sedimentari mediante 1 multicorer e 2 benne, il dispiegamento di 5 profili CTD e numerosi campionamenti d'acqua. I campioni d'acqua sono stati raccolti in modalità *underway* tramite pompa peristaltica collegata allo scafo, consentendo acquisizioni continue lungo la rotta e in prossimità del fondale, utili per analisi biochimiche e studio delle comunità microbiche.

Nonostante il successo delle attività, la quantità di dati raccolti è risultata significativamente inferiore rispetto a quanto previsto dal progetto approvato dal CSNA e dall'AEA. Per questo motivo, sarà richiesta un'estensione del tempo nave per l'anno 2026/27, durante il quale è prevista la seconda fase del progetto MYSTERO, comprendente ulteriori linee sismiche, rilievi EK80 per l'analisi dei fenomeni di gas seeping, ulteriori carotaggi e l'impiego del ROV già programmato.

Supporto logistico ricevuto

Il supporto logistico per la campagna MYSTERO è stato garantito principalmente attraverso la ricezione dei voli da/per la Nuova Zelanda, forniti da ENEA, che hanno consentito il trasferimento del personale della spedizione. Tutto il materiale scientifico necessario per le attività di campo era già presente a bordo della R/V *Laura Bassi*, evitando la necessità di trasporti aggiuntivi durante la campagna.

Problemi incontrati e suggerimenti per le prossime campagne

La campagna MYSTERO, condotta a bordo della R/V *Laura Bassi* durante la XLI spedizione PNRA tra gennaio e febbraio 2026, ha subito significative riduzioni operative, che hanno comportato un'acquisizione dati ben al di sotto di quanto programmato dal progetto approvato dal CSNA e dall'AEA. I dati raccolti rappresentano quindi solo una minima parte di quanto previsto, rendendo indispensabile una maggiore disponibilità di tempo nave per completare gli obiettivi scientifici. All'inizio della campagna, l'8 gennaio 2026, è stato acquisito un dataset

preliminare di multibeam (MBES) in contemporanea con il Sub Bottom Profiler (TOPAS) a scopo di scouting, alla velocità di 6 nodi. I dati risultano affetti da interferenze dovute alle trasmissioni simultanee dei due strumenti e da una ridotta risoluzione lungo la traccia, a causa della temporanea indisponibilità dell'unità di sincronizzazione MBES-TOPAS (K-Sync PU) per problemi hardware. Il corretto funzionamento della K-Sync è stato ripristinato solo al termine del Leg 2a, causando la perdita di dati di qualità ottimale durante la prima fase operativa. Successivamente, ritardi logistici dovuti al maltempo e alla partenza posticipata dalla base Mario Zucchelli hanno obbligato il Capo Missione e il Coordinatore Scientifico a ridurre i giorni operativi del Leg 2b da 7 a 4. Ciò ha comportato la riprogrammazione dell'acquisizione sismica e del campionamento di acqua e sedimenti su due giorni ciascuno. L'acquisizione sismica, svolta dal 4 al 5 febbraio 2026, è stata più volte interrotta dai Marine Mammal Observers (MMO) per la presenza di cetacei nella zona di esclusione e ha subito ulteriori limitazioni a causa di condizioni meteo avverse. L'utilizzo dell'elica azimutale di prua per mantenere una velocità costante di 4 nodi ha generato disturbi significativi nei segnali MBES e TOPAS (Fig.4), compromettendo gravemente la risoluzione dei dati. Durante il primo campionamento sui mound, il box-corer (BC) non è stato utilizzabile a causa delle dimensioni e degli spazi disponibili per la messa a mare, evidenziando un errore di pianificazione e verifica preventiva dello strumento a bordo. Il prelievo dei sedimenti è stato quindi limitato all'utilizzo del multicorer e di una piccola benna, riducendo drasticamente la qualità e la quantità dei dati sedimentologici. Ulteriori carotaggi programmati sono stati sospesi per 5 ore a causa di un guasto al generatore della nave e successivamente interrotti definitivamente per il peggioramento delle condizioni meteomarine. Per proseguire la campagna, le operazioni sono state spostate in un'area dove era possibile effettuare un'indagine esplorativa geofisica (MBES, TOPAS ed EK80) e, eventualmente, campionamenti limitati vicino alla costa di Cape Adare. Tuttavia, a causa di un errore di settaggio dello strumento EK80, i dati "raw" sono stati registrati solo nei primi 100 m della colonna d'acqua, impedendo il monitoraggio dei fenomeni di gas seeping a profondità di 250–300 m, come previsto dal progetto. Questo rappresenta un problema grave: ore di acquisizione sono risultate inutilizzabili per l'elaborazione e per pubblicazioni future, compromettendo la possibilità di raggiungere gli obiettivi scientifici previsti. Solo alcuni profili, acquisiti con frequenze e procedure specifiche (incluso l'involuppo del segnale, che limita l'analisi della fase e della forma d'onda), sono stati salvati in formato SEG Y e risultano parzialmente utilizzabili. Questo sottolinea come errori operativi, guasti tecnici e condizioni ambientali avverse abbiano fortemente limitato la produzione scientifica della campagna.

Suggerimenti operativi per future campagne

Per ridurre l'impatto di criticità simili, si raccomanda di concentrare la parte logistica della campagna in un unico leg, separato dalla fase di acquisizione dati scientifici, e di organizzare i progetti in aree contigue o limitrofe. Questo consentirebbe di intercambiare il tempo nave tra i diversi progetti in base alle condizioni meteomarine e alla presenza di ghiaccio nelle diverse zone. Inoltre, durante i trailers estivi della nave Laura Bassi, si consiglia di testare tutti gli strumenti che saranno impiegati nella campagna successiva, in modo da garantirne la piena funzionalità e prevenire errori operativi critici.

Conclusione critica

Le numerose limitazioni operative, i guasti tecnici e gli errori di settaggio hanno compromesso in modo significativo la qualità e la quantità dei dati acquisiti, impedendo il raggiungimento degli obiettivi scientifici previsti. Per garantire il completamento del progetto MYSTERO – inclusi ulteriori profili sismici, osservazioni EK80 per gas seeping, carotaggi e campionamenti sedimentari completi – è imprescindibile una maggiorazione del tempo nave per la campagna 2026/27, con una programmazione ottimizzata delle attività logistiche e scientifiche e un controllo preventivo rigoroso della funzionalità degli strumenti.

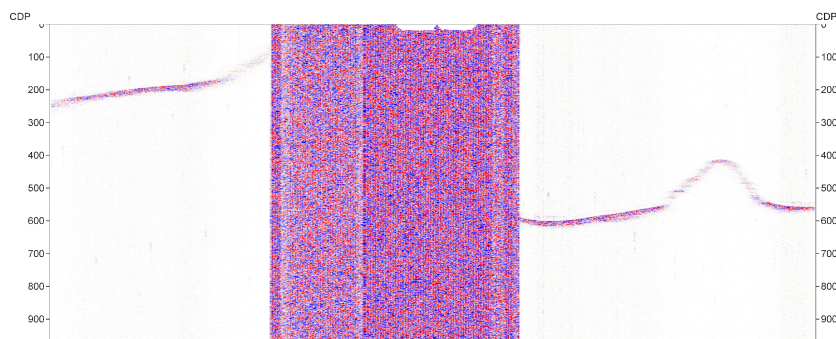


Fig. 4: Nell'immagine è evidenziato il rumore registrato dal sistema TOPAS, attribuibile all'utilizzo dell'elica azimutale, posizionata a prua in prossimità dei trasduttori del TOPAS, del multibeam (MB) e dell'EK80, i quali subiscono lo stesso disturbo tale da rendere quasi inutilizzabili i dati.

Ringraziamenti

Si ringrazia il comandante Sedmak, i membri dell'equipaggio, i logistici, i tecnici e i ricercatori imbarcati sul RV Laura Bassi che si sono prodigati nell'esecuzione delle diverse attività previste dal progetto.