

Rilievi geofisici
nel Lago di Scanno

Quaderni di Geofisica

116



Quaderni di Geofisica

Editorial Board

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (INGV - RM1)

Luigi Cucci (INGV - RM1)

Nicola Pagliuca (INGV - RM1)

Umberto Sciacca (INGV - RM1)

Alessandro Settimi (INGV - RM2)

Aldo Winkler (INGV - RM2)

Salvatore Stramondo (INGV - CNT)

Gaetano Zonno (INGV - MI)

Viviana Castelli (INGV - BO)

Marcello Vichi (INGV - BO)

Sara Barsotti (INGV - PI)

Mario Castellano (INGV - NA)

Mauro Di Vito (INGV - NA)

Raffaele Azzaro (INGV - CT)

Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)

Mario Mattia (INGV - CT)

Marcello Liotta (Seconda Università di Napoli, INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 095 7165844

redazionecen@ingv.it

Rilievi geofisici nel Lago di Scanno

Geophysical surveys in the Scanno Lake

Cosmo Carmisciano, Marco Marchetti, Fabio Florindo,
Filippo Muccini, Luca Cocchi

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Geomagnetismo, Aeronomia e Geofisica Ambientale)

Rilievi geofisici nel Lago di Scanno

Il Lago di Scanno, un piccolo bacino idrico di sbarramento nei comuni di Villalago e Scanno, in Abruzzo, è stato oggetto di notevole interesse da parte dei media locali e nazionali a causa del diffondersi di notizie in merito ad alcuni 'strani fenomeni' osservati da frequentatori del luogo. Ad esempio alcuni subacquei hanno osservato anomalie nel funzionamento delle loro bussole durante le immersioni in alcuni punti del lago.

A seguito di quanto accaduto, l'Unità 'Geofisica e Tecnologie Marine' della sede distaccata di Porto Venere (SP) ed il 'Laboratorio di Geofisica Ambientale' di Roma, entrambi dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, hanno organizzato una campagna di indagini geofisiche mirata alla caratterizzazione ambientale del lago e alla verifica dell'eventuale presenza di fenomeni anomali.

In questo lavoro vengono presentati le metodologie geofisiche impiegate in alcuni rilievi eseguiti sul Lago di Scanno e i relativi risultati preliminari.

The Scanno Lake, a small water reservoir in Scanno's area (Abruzzo, Italy) has been subject of interest by local and national media because of the spreading news about some 'strange phenomena' observed by usual visitors of this site and some divers who have observed anomalies in their compass when diving. Afterwards, two branches of the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: the Unit 'Geophysical and Marine Technology' and the 'Laboratory of Environmental Geophysics', organized a geophysical survey to define the environmental characterization of the lake and to check the possible presence of anomalous phenomena. In this paper, we present the methodologies used and their preliminary results.

Introduzione

Nel corso dell'autunno del 2012 il personale della Sezione di Geomagnetismo, Aeronomia e Geofisica Ambientale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha effettuato un rilievo geofisico multiparametrico nel Lago di Scanno, un piccolo bacino idrico di sbarramento nei comuni di Villalago e Scanno, in Abruzzo.

Il lago di Scanno è stato oggetto infatti di notevole interesse da parte dei media locali e nazionali (Il Messaggero, Il Tempo, Il Centro, TG1 RAI, RAINews24, Virgilio.it, rete5.tv, ecc.) a causa del diffondersi di notizie in merito ad alcuni 'strani fenomeni' osservati da frequentatori del luogo.

In particolare, sono state riportate notevoli ed inspiegabili variazioni del livello d'acqua del lago con conseguente moria di pesci, anomalie nel comportamento di bussole magnetiche indossate da subacquei durante le loro immersioni in alcuni punti del lago e, ancora, insolite e strane presenze di oggetti non ben identificati accompagnate da misteriosi bagliori di luce.

A causa del perdurare di queste affermazioni, le autorità del luogo hanno chiesto una collaborazione all'INGV per verificare la presenza o meno di fenomeni scientifici degni di considerazione e meritevoli di attenzione.

Per rispondere a tale richiesta, l'Unità 'Geofisica e Tecnologie Marine' della sede distaccata di Porto Venere (SP) ed il Laboratorio di Geofisica Ambientale di Roma hanno organizzato una campagna di indagini geofisiche mirata alla completa caratterizzazione ambientale del lago. Sono stati eseguiti pertanto una serie di rilievi geofisici impiegando l'imbarcazione dell'INGV denominata 'BigOne'.

In particolare è stato eseguito un rilievo batimetrico con *multibeam*, un rilievo sismico con *sub bottom profiler*, un rilievo morfologico con *side scan sonar* e un rilievo magnetico con un magnetogradiometro marino.

A causa della grande estensione dello specchio lacustre, il *survey* geofisico è stato pianificato e condotto nella porzione Nord del lago, concentrando quindi il lavoro nella zona interessata dalle segnalazioni della presenza di anomalie del campo magnetico, manifestatesi, secondo i racconti, come variazioni improvvise del comportamento di bussole da immersione.

1. Area di indagine e obiettivi del lavoro

Il Lago di Scanno si trova in Abruzzo (figura 1), nell'alta valle del fiume Sagittario che è anche il suo emissario principale. Il bacino (figura 2) si estende tra il comune di Villalago e quello di Scanno. Si trova in un territorio compreso fra due grossi massicci calcarei: il complesso di Montagna Grande ed il gruppo del Monte Genzana - Monte Greco. Originatosi da una frana staccatasi dal Monte Genzana, si trova ad un'altitudine media di 922 metri s.l.m., si estende su una superficie di circa 0,93 km² ed ha una profondità massima di circa 32 m [Almagià 1910; Bianchi Fasani et al. 2004, 2011; D'Alessandro et al. 2003; Miccadei et al. 1993; Nicoletti et al. 1993; Riccardi 1929].

Le prospezioni hanno interessato il settore settentrionale e centrale del lago (figure 3 e 4), con particolare attenzione all'area più prossima ad un piccola boa lasciata per segnalare il luogo dove si sono verificati gli anomali comportamenti delle bussole magnetiche.

Scopo del lavoro è stato quello di rilevare, attraverso la campagna di misurazioni geofisiche, l'andamento batimetrico del fondale, la natura dei sedimenti, l'individuazione di even-

tuali oggetti presenti sul fondo o in esso sepolti nonché verificare la reale esistenza delle anomalie riscontrate dalla popolazione.

Per raggiungere questi obiettivi, si è deciso di eseguire le seguenti attività:

- rilievo batimetrico mediante ecoscandaglio multifascio - *Multibeam* (MB);
- rilievo sismostratigrafico del fondo marino mediante *Sub Bottom Profiler* (SBP);
- rilievo morfologico di dettaglio mediante *Side Scan Sonar* (SSS);
- rilievo magnetico mediante sistema gradiometrico SeaQuest (MAG).

Il rilievo è stato effettuato con l'ausilio dell'imbarcazione dell'INGV denominata 'BigOne' che è stata appositamente mobilitata dalla darsena della Spezia, dove abitualmente è ormeggiata (figura 5a) all'area di indagine. *BigOne* è una pilotina Saver 22, adeguatamente allestita per rilievi geofisico-oceanografici (figura 5b e 5c). È dotata di un motore fuoribordo *Yamaha* 150 Hp che permette facilità di navigazione anche a basse velocità e un motore di rispetto

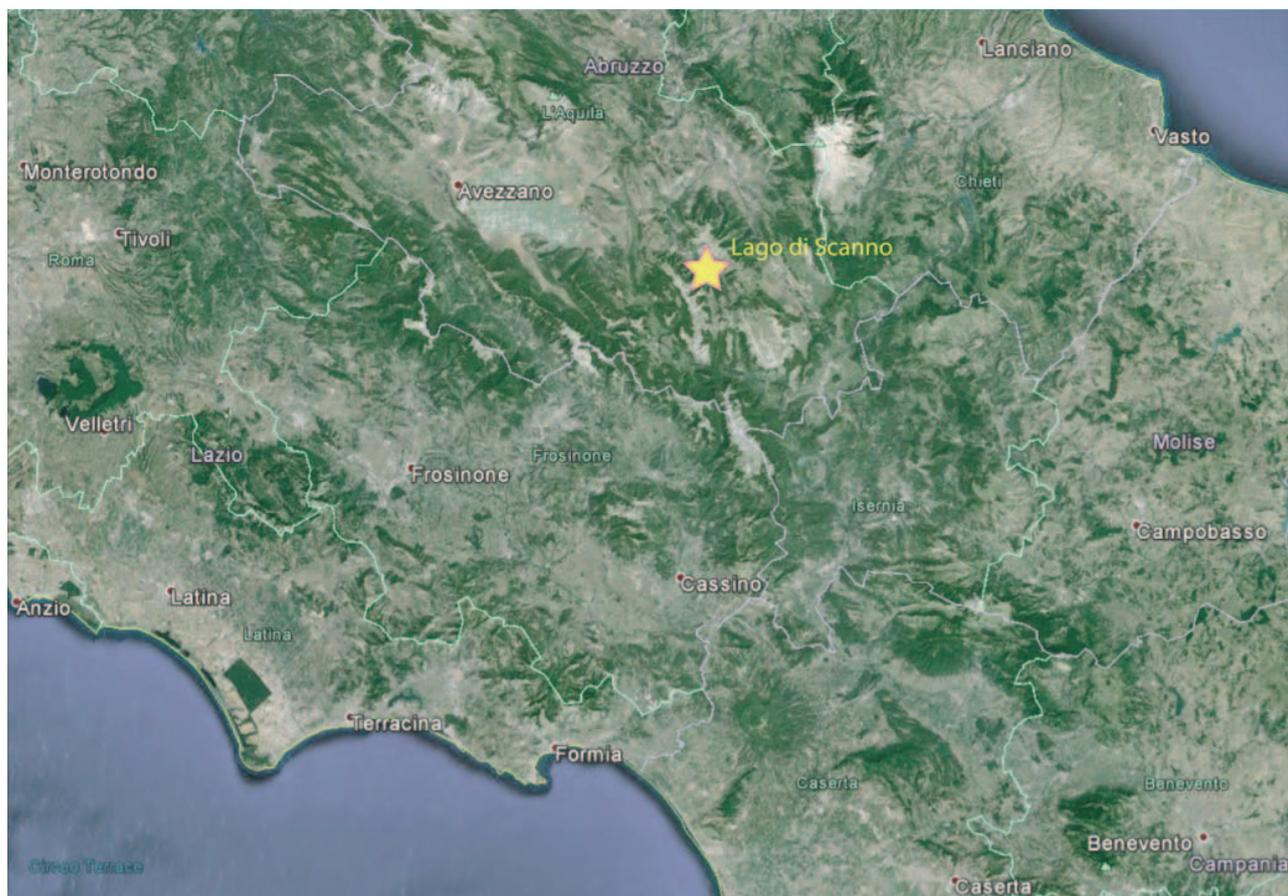


Figura 1 Inquadramento geografico del Lago di Scanno (immagine da *Google Earth*).
Figure 1 Location of Scanno Lake (from *Google Earth*).

Yamaha da 10 Hp per le emergenze. Un gruppo elettrogeno da 5kW, installato a bordo, garantisce l'alimentazione per tutta la strumentazione e i computer. È altresì presente un alloggiamento per la messa in acqua del MB e del magnetogradiometro SeaQuest e un verricello utilizzato per il traino di strumentazione (come SBP e SSS) (figura 5d).
Tutta la strumentazione ed i computer utilizzati sono protet-

ti e garantiti da un sistema UPS. Un DGPS differenziale Omnistar 5220 HP garantisce il corretto posizionamento e sincronismo di tutti i dati acquisiti.
Durante il *survey* tutta la strumentazione utilizzata ha adottato lo stesso standard di posizionamento garantendo totale uniformità dei dati, acquisiti con riferimento al sistema WGS84, proiettati in WGS84-UTM33N e riferiti all'ora UTC+0.



Figura 2 Vista da sud-est del Lago di Scanno.
Figure 2 South-east view of Scanno Lake.



Figura 3a Lago di Scanno, vista della porzione dell'area di indagine.
Figure 3a Scanno Lake. View of the investigated area.



Figura 3b Lago di Scanno, vista della porzione dell'area di ormeggio.
Figure 3b Scanno Lake. View of the mooring area.

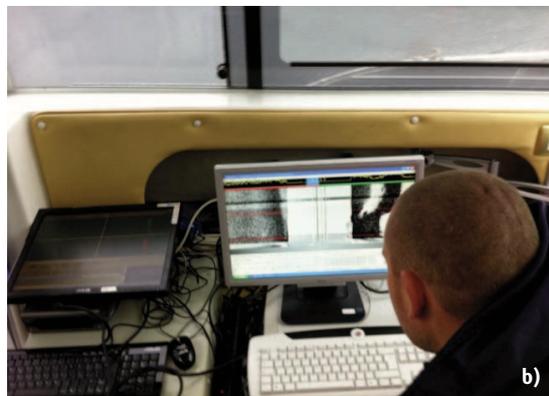


Figura 4 Vista da satellite del Lago di Scanno. Il rettangolo giallo delimita la porzione investigata; la bandierina rossa indica la posizione della boa.

Figure 4 Satellite image of Scanno Lake. The yellow rectangle delimits the investigated area. The red flag indicates the position of the buoy.



a)



b)



c)



d)

Figura 5 Il BigOne **a)** Trasporto imbarcazione dalla darsena di La Spezia; **b)** Allestimento per l'acquisizione; **c)** Ormeggio al Lago di Scanno e posizionamento del magnetometro in acqua; **d)** Vista del verricello per traino SSS e magnetometro.

Figure 5 The BigOne **a)** Transport from the La Spezia docks; **b)** Set up for the data acquisition; **c)** Mooring at Scanno Lake and positioning of the magnetometer; **d)** View of the tow winch SSS and magnetometer.

2. Il rilievo batimetrico - Multibeam

Com'è noto, un ecoscandaglio consente la misurazione della profondità del fondale mediante un sistema sonar, ovvero mediante la misurazione dell'intervallo di tempo che intercorre dalla trasmissione di un segnale acustico e la relativa riflessione generata dalla superficie del fondale.

La frequenza del segnale acustico emesso varia a seconda del tipo di ecoscandaglio idrografico impiegato: per fondali di profondità elevati si utilizzano strumenti con frequenze comprese tra 12 e 40 kHz; per rilievi costieri o a medio-bassa profondità sono più indicati strumenti con frequenze comprese tra 100 kHz e 1 MHz. L'incertezza di tali sistemi varia tra 0.08% e 0.25% dell'altezza della colonna d'acqua.

Accanto ai tradizionali ecoscandagli per idrografia a fascio singolo sopra descritti, negli ultimi anni si sono imposti sul mercato gli ecoscandagli a fascio multiplo (*multibeam*). Questi ultimi consentono di rilevare con un singolo passaggio porzioni rilevanti di superficie del fondale la cui larghezza dipende dalla profondità, con precisione centimetrica. Un sistema sonar "*swath sounding*" consente la misurazione della profondità lungo una linea disposta ortogonalmente alla

direzione di movimento dell'imbarcazione sulla quale è stato installato il trasduttore del MB. L'insieme delle linee contenenti la misurazione di profondità (*swath*) lungo una determinata rotta forma una porzione di fondale rilevato a forma di nastro. Il termine interferometrico è generalmente utilizzato per descrivere tutti i sistemi che utilizzano sistemi "*swath-sounding*" che usano la fase per misurare l'angolo di un fronte d'onda riflesso da un oggetto. Tutti i sistemi interferometrici utilizzano una

geometria dei trasduttori simile: due o più allineamenti (*array*) orizzontali di sensori uno vicino all'altro. Ogni *array* è equivalente a un normale *array* per *side scan sonar* ossia produce un fascio acustico stretto nella direzione azimutale e largo nella direzione dell'elevazione.

Il rilievo batimetrico del fondale lacustre del Lago di Scanno è stato condotto utilizzando un *multi-beam* RESON modello SEABAT 8125 (figura 6) con frequenza centrale di 455 kHz con *beam angle across* 0.5° e *along* 1°. Il SEABAT 8125 è composto da un trasduttore (figura 7) collegato ad una unità



Figura 6 Ecoscandaglio multifascio RESON SEABAT 8125.
Figure 6 RESON SeaBat 8125 multibeam.

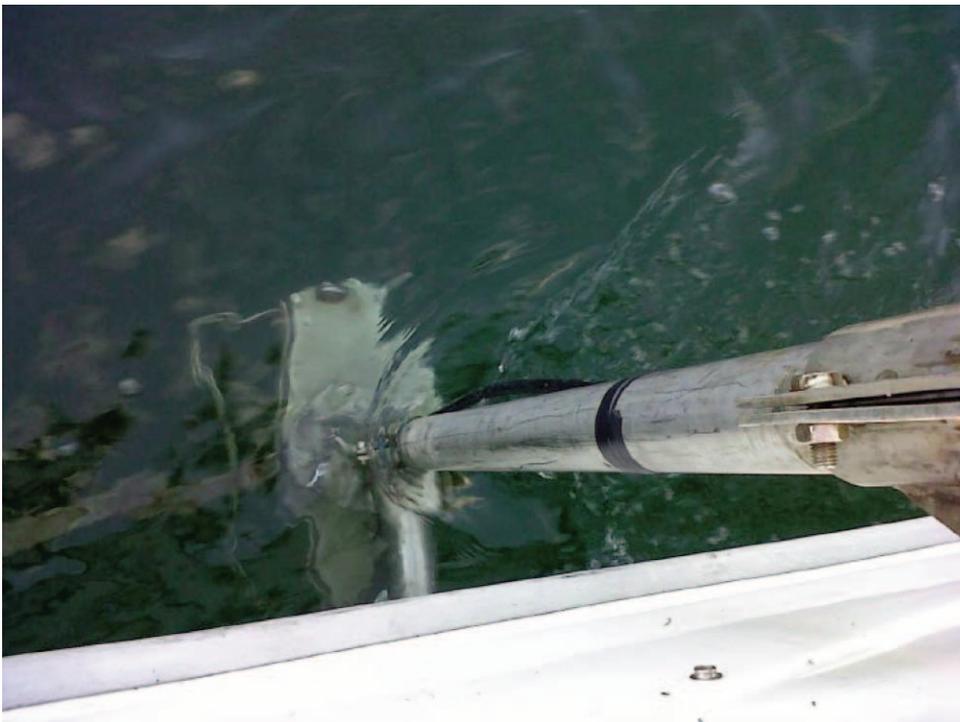


Figura 7 Trasduttore dell'ecoscandaglio RESON SEABAT 8125 durante una fase dei rilievi.
Figure 7 Transducer of RESON SeaBat 8125 multibeam during the surveys.

di controllo (CPU) mediante cavi di lunghezza calibrata dal costruttore e da un sistema di acquisizione e controllo dei dati gestito in questo specifico caso di utilizzo dal software HYPACK/HYSWEEP 2009. Al sistema di acquisizione dati, oltre al MB, sono interfacciati la girobussola digitale, l'unità di compensazione del movimento *Motion Reference Unit* (MRU) integrati nello strumento APPLANIX POS-MV (figura 8). Il sistema di acquisizione ha la necessità di essere calibrato valutando la locale velocità del suono in acqua. Il dato di velocità è stato acquisito utilizzando una sonda Mini SVP (*sound velocity profiler*) Valeport (figura 9) che consente di registrare profili di velocità e temperatura lungo la colonna d'acqua. La registrazione avviene ad intervalli regolari ed i dati acquisiti vengono poi trasferiti al software di *processing* che ne tiene conto per calcolare correttamente il *range* relativo ad ogni eco.

La pianificazione delle linee è stata eseguita in modo da coprire interamente l'area di studio con una sovrapposizione parziale tra le linee adiacenti per ottenere una copertura adeguata. Alcune linee, in particolare quelle poste al centro del lago dove la profondità è maggiore, sono state ripetute più volte per ottenere una maggiore densità di dati.

Prima di iniziare il rilievo sono state completate le operazioni di calibrazione a bordo dell'imbarcazione mediante ripetuti passaggi sulla stessa area. Inoltre è stato acquisito un primo profilo di velocità del suono nell'acqua.

Durante l'acquisizione di dati MB, l'operatore ha regolato i parametri fondamentali dello strumento (filtri di profondità, potenza del segnale trasmesso, guadagno del segnale ricevuto, lunghezza dell'impulso, ecc.) in modo da ottenere dati batimetrici di elevata qualità. Questi sono stati acquisiti con una densità idonea per ottenere un *grid* con una cella di dimensioni 0.5m x 0.5m.

Durante il rilievo, l'imbarcazione ha eseguito traiettorie il più possibile rettilinee con velocità costante (circa 3 nodi) e senza brusche variazioni di direzione che causano variazioni repentine nell'assetto del sistema compromettendo la qualità dei dati. La strumentazione MB è stata installata su palo predisposto a murata dell'imbarcazione. Per ottenere un esatto posizionamento, è stato inserito nel software di navigazione l'offset tra l'antenna del DGPS e l'asse verticale del trasduttore. Inoltre, il sistema MB ha sfruttato il sensore di direzione (*heading sensor*) ed il sensore di movimento (la suddetta MRU) per correggere i dati ricevuti dal MB e relativi agli angoli di *pitch*, *roll*, *yaw*, e di movimento verticale.

La visualizzazione dei dati batimetrici (figura 10) passa attraverso l'elaborazione mediante il software HYPACK2009 che è articolato nelle seguenti fasi:

1. Elaborazione dei dati di navigazione: lo scopo è il controllo e l'eventuale rimozione di errori provenienti dal sistema di posizionamento.
2. Elaborazione dei dati batimetrici: il software mostra la sequenza di *swath* registrate dal *multibeam*. Come accennato sopra una "swath" consiste in un insieme di punti batimetrici che possono essere controllati o rimossi, uno ad uno, attraverso l'applicazione di filtri reiterativi opportunamente regolati. Il numero dei punti che compongono una *swath* dipende dal numero di *beam* di cui è dotato lo strumento utilizzato. In questo caso, il RESON 8125 è composto da 240 *beam* che garantiscono una copertura angolare massima di 120°.
3. Creazione della griglia: la griglia consiste in un numero di celle caratterizzate da attributi numerici come il dato di profondità, il numero di valori che ricadono nella cella, la deviazione standard e il valore massimo e minimo di profondità nella cella. Le celle rappresentate sono quelle ritenute valide dalle precedenti fasi dell'elaborazione sopra descritte. Il risultato finale è stato esportato nel formato ASCII XYZ.



Figura 8 Il sistema APPLANIX POS-MV.
Figure 8 APPLANIX POS-MV system.



Figura 9 Sonda di velocità del suono VALEPORT MINISVP.
Figure 9 VALEPORT MINISVP sound velocity probe.

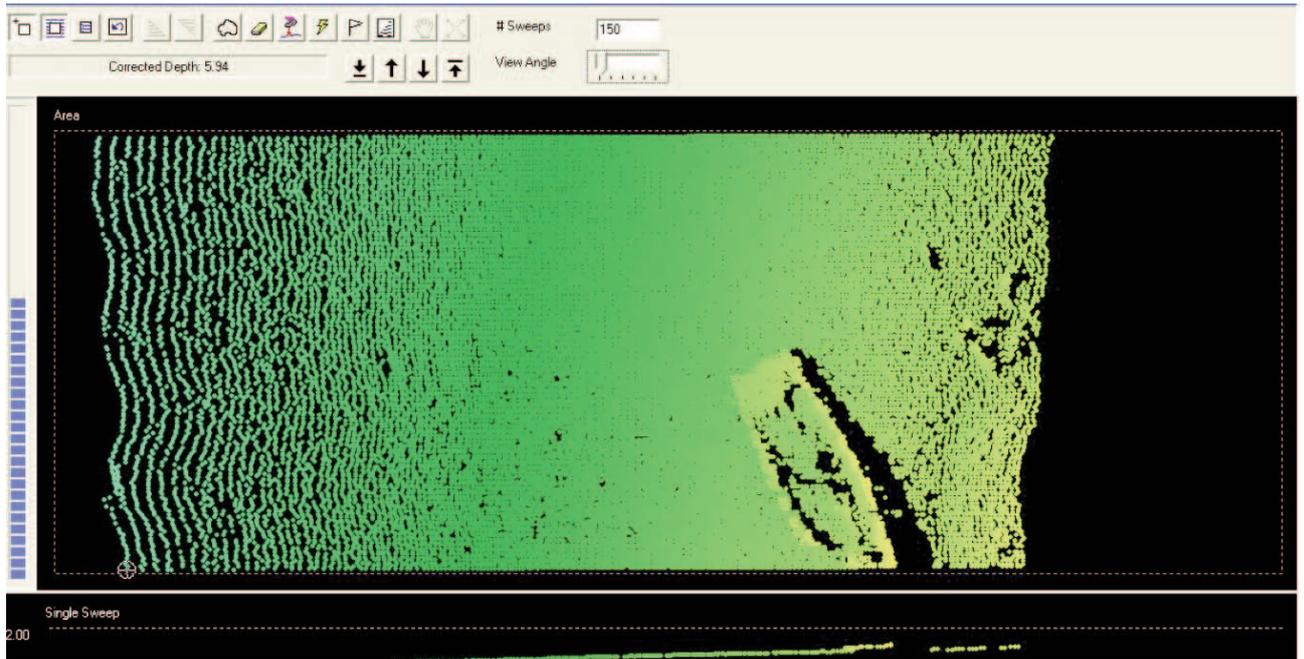


Figura 10 Anomalie batimetriche-visualizzazione dell'anomalia MB6.
Figure 10 Bathymetric anomalies - MB6 anomaly.

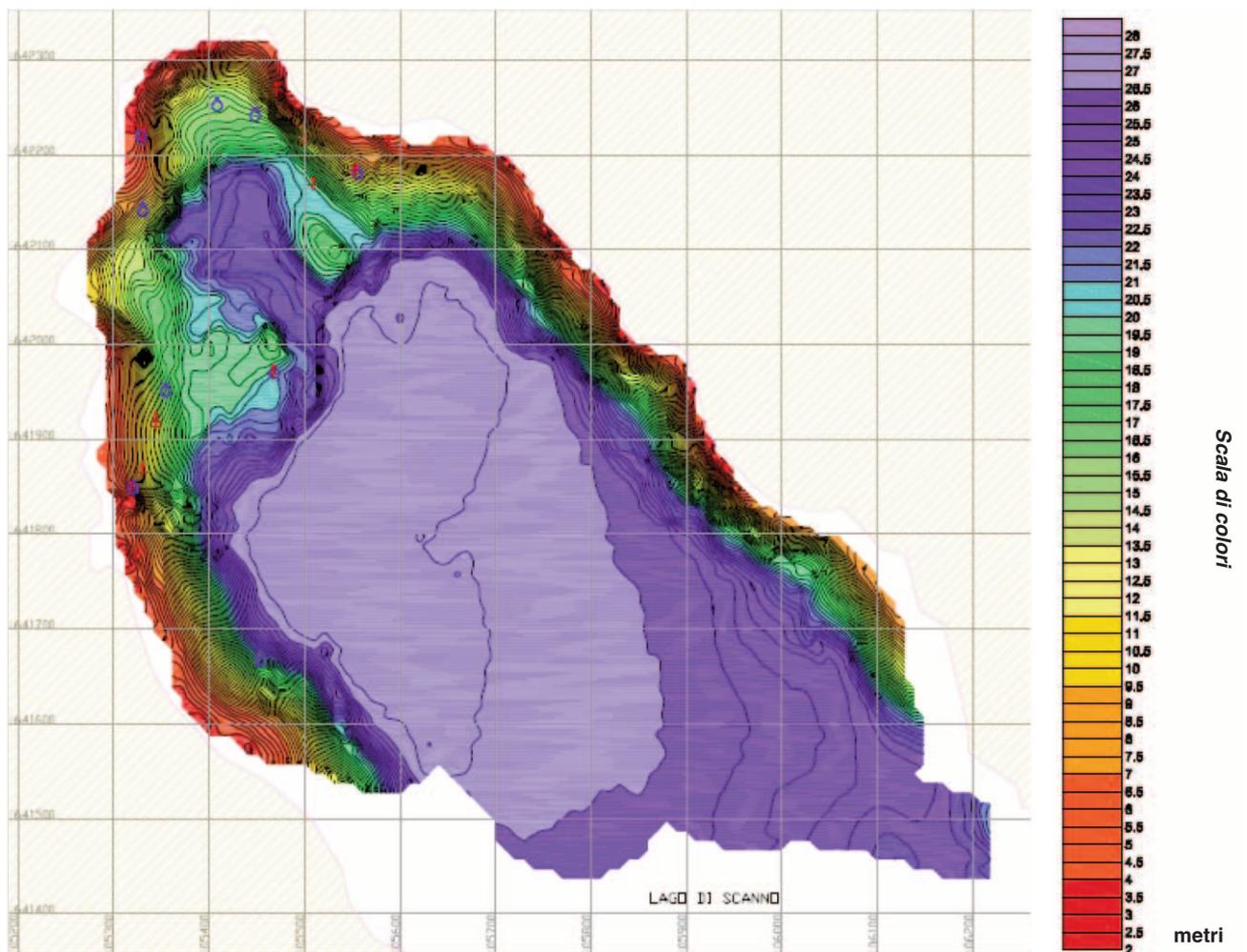


Figura 11 Carta della batimetria-rappresentazione con linee isobate (0,5 m) e scala di colori.
Figure 11 Scanno Lake bathymetric map with colour scale and 0,5 metre isobaths.

4. I dati acquisiti oltre a restituire un dato batimetrico sono stati utilizzati alla massima risoluzione e visualizzati mediante nuvola di punti (applicazione *Cloud Point* di Hypack 2009) per un'analisi dettagliata del fondale alla ricerca di possibili *target* presenti.
5. Creazione delle mappe e carteggio: i dati nel formato XYZ sono stati importati nel programma Surfer 8.0 per generare la visualizzazione con le isobate e la superficie del fondale. Il risultato finale è rappresentato dalla carta della batimetria (figura 11) e dalla lista della anomalie (Tabella 1 dell'Appendice).

Dall'analisi dei dati batimetrici sono state individuate 15 anomalie. Di queste, due sono riconducibili a piccole imbarcazioni sul fondo del lago. Queste 2 anomalie sono state identificate con le sigle MB6 (figura 10) e MB7. Per le altre risulta essere difficile l'associazione con oggetti o manufatti.

3. Il rilievo sismico - Sub Bottom Profiler

In questo sistema di indagine viene immagazzinata energia in un trasmettitore e quindi rilasciata sulla sorgente acustica a una frequenza di ripetizione accuratamente controllata, dando luogo ad una sequenza di impulsi acustici che vengono trasmessi in direzione del fondale.

Tali segnali vengono riflessi da ogni discontinuità di impedenza acustica ovvero dalle varie superfici di separazione di strati aventi caratteristiche differenti. Le riflessioni sono captate da un elemento acustico ricevente, che converte le onde di pressione in un segnale elettrico; questo viene visualizzato sullo schermo di un PC (opportunamente sincronizzato

col sistema di posizionamento principale) previa elaborazione digitale del segnale con apposito software.

Il *sub bottom profiler* (SBP) consente di effettuare una stratigrafia dei fondali marini permettendo di identificarne la sequenza litologica presente. Il principio di funzionamento si basa sulla diversa velocità di propagazione del suono all'interno dei sedimenti; maggiore è la velocità e più marcata risulterà la relativa risposta acustica. La penetrazione e la riflessione del segnale acustico dipendono sia dalle proprietà fisiche del materiale attraversato che dalla potenza e dalla frequenza portante del segnale sorgente. Queste peculiarità rendono il SBP l'indagine ideale per identificare e caratterizzare gli strati di sedimenti o di roccia sotto il fondale e la sua applicazione principale è quella di creare l'*imaging* degli strati sedimentari e degli eventuali oggetti in essi sepolti [Gasperini et al. 2012; Polonia et al. 2008].

L'informazione si presenta sotto forma di profilo digitale ed il metodo si avvale della correlazione di successive riflessioni e tale tipo di rappresentazione ne rende più facile l'interpretazione. Il tipo di sorgente da selezionare dipende dalla particolare applicazione: in linea generale più bassa è la frequenza del segnale emesso e più alta sarà la penetrazione accompagnata però da una minore risoluzione.

Nel caso in esame, essendo richiesta una penetrazione sufficiente a rilevare i primi strati sottostanti il fondale, è stata utilizzato un SBP EDGETECH modello 3100 (figura 12) con frequenza compresa tra 4 e 24 kHz e dotato di tecnologia "*full spectrum chirp*" che consente di ottenere immagine sismo-acustiche ad alta risoluzione dei primi metri di fondale. Lo strumento si compone di un apparato da trainare in superficie, di un cavo ombelicale e di una *top side* a cui è collegato il ricevitore DGPS. Il software di acquisizione perme-



Figura 12 SBP- EDGETECH 3100-4-24.
Figure 12 SBP- EDGETECH 3100-4-24.



Figura 13 Una fase del rilievo con SBP.
Figure 13 One stage of the acquisition of SBP data.

tte di registrare i dati, georeferenziarli e restituirli in formato standard SEG-Y. Il rilievo sismico con SBP (figura 13) è stato condotto percorrendo delle linee tra loro parallele ed equidistanti 20 metri.

Il risultato del rilievo SBP ha permesso di insonorizzare e restituire la stratigrafia sismica di elevata qualità di una porzione di fondale di spessore medio di 5-6 metri utilizzando bande di frequenza comprese tra 4 e 24 kHz con una lunghezza dell'impulso pari a 10 ms. Il dato così ottenuto è stato convertito dal formato Edgetch JSF nel formato standard SEG- Y per le successive elaborazioni:

- equalizzazione del segnale e soppressione del rumore;
- controllo dei dati e annotazione delle eventuali anomalie.

L'analisi qualitativa dei singoli profili SBP ha permesso di evidenziare 2 anomalie sepolte (tabella 1 dell'Appendice e figure 14 e 15). Queste presentano forma puntuale e non sono riscontrabili nelle linee adiacenti. L'origine di tali anomalie potrebbe essere dovuta alla presenza di parti aggregate di sedimento, massi o piccoli oggetti (antropici e non) non meglio identificati.

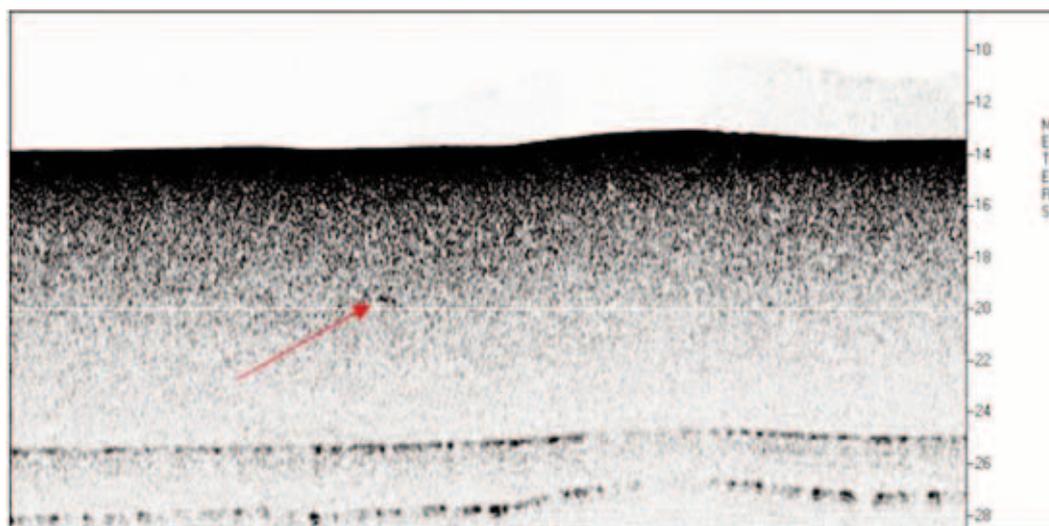


Figura 14 Rilievo SBP. Anomalia SB1.
Figure 14 SBP survey. SB1 anomaly.

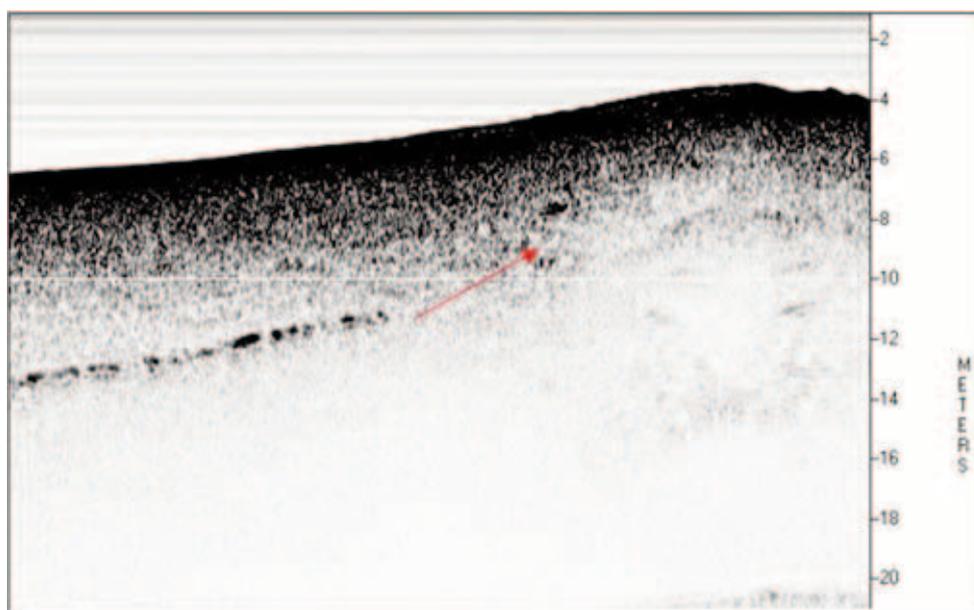


Figura 15 Rilievo SBP. Anomalia SB2.
Figure 15 SBP survey. SB2 anomaly.

4. Il rilievo morfologico – Side Scan Sonar

Il rilievo morfologico è stato effettuato con l'ausilio di un *Side Scan Sonar* a doppia frequenza prodotto dalla GEOACOUSTICS LTD (figura 16). Esso consiste fondamentalmente in un telaio di forma idrodinamica (*towfish*) su cui sono montati i trasduttori acustici e che si collega all'imbarcazione mediante un cavo di traino che funge anche da canale di trasmissione dati all'elettronica di superficie.

Il principio di funzionamento dello strumento consiste nell'emettere brevi impulsi sonori alla frequenza specificata attraverso i trasduttori montati lateralmente sul *towfish*. Grazie alla alta direzionalità dei trasduttori stessi, l'emissione dell'impulso e la sua successiva ricezione sono confinate all'interno di uno stretto fascio, posizionato a cavallo di un piano perpendicolare all'asse longitudinale del *towfish* ed orientato verso il fondale. L'emissione di un breve impulso è seguita da un intervallo di ricezione degli echi provenienti dal fondale.

Le frequenze nominali degli impulsi emessi dai trasduttori, non utilizzabili contemporaneamente, sono rispettivamente di 100 kHz e 500 kHz. Poiché la finalità principale del rilievo è stato l'individuazione di anomalie ed oggetti presenti sul fondale, si è scelto di utilizzare la frequenza più alta (500 kHz) che consente una migliore risoluzione delle immagini acquisite (valori tipici: risoluzione trasversale: 2 cm, risoluzione longitudinale: 20 cm).

Il *range* reale rilevabile dipende anche dall'altezza dello strumento rispetto al fondale. Data l'inclinazione verso il basso del fascio emesso, si registrano echi di buona qualità per

bersagli che si trovino lateralmente fino ad una distanza pari a circa 10 volte la distanza dal fondo del *towfish*. Nel nostro caso, quest'ultimo è stato mantenuto ad una altezza compresa tra circa 8 metri e 10 metri dal fondale.

Il SSS permette di individuare anche caratteristiche morfologiche dei fondali quali massi affioranti, discontinuità morfologiche (alti o bassi strutturali) e variazioni significative della litologia. L'immagine fornita è divisa in due bande corrispondenti al lato sinistro e destro del fondale rispetto al percorso della sorgente trainata. In essa i riflettori più intensi danno luogo ad un segno più scuro, mentre le zone chiare corrispondono ad una eco molto debole o nullo; le immagini vengono quindi interpretate in base alla forma ed intensità degli echi e delle ombre acustiche. I dati acquisiti in forma analogica da ogni canale vengono poi memorizzati in forma digitale tramite il software di acquisizione SwanPro.

Per il posizionamento dell'imbarcazione è stato utilizzato un ricevitore DGPS mentre la posizione del trasduttore del SSS è stata misurata e registrata grazie all'*offset* dato dalla lunghezza del cavo filato dietro l'imbarcazione; l'immagine è stata corretta tenendo conto della velocità dell'imbarcazione e dei parametri della colonna d'acqua. I dati sono stati acquisiti nel formato standard XTF.

Durante l'acquisizione, lo strumento trainato è stato tenuto ad un'altezza di circa 10 metri dal fondale del lago; i *range* indagati sono stati i 50 e 100 metri (coperture) su ambo i lati dello strumento (l'impostazione del *range* a 50 metri permette di ottenere un'immagine più dettagliata rispetto a quella ottenuta lavorando con un *range* di 100 metri a causa del rapporto *pixel*/metro).



Figura 16 Il Side Scan Sonar Geoacoustics.
Figure 16 Side Scan Sonar Geoacoustics.

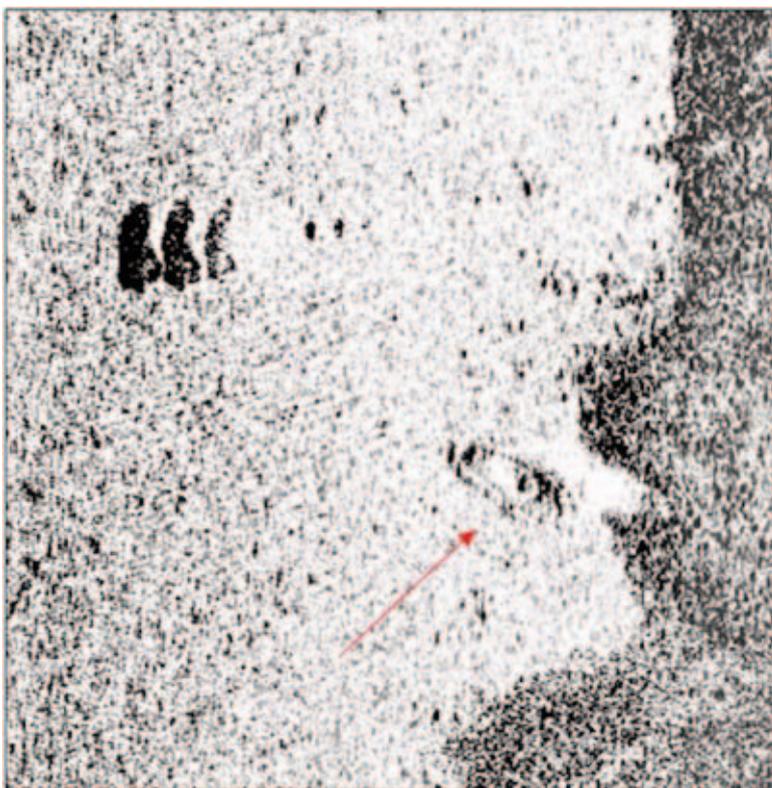


Figura 17 Rilievo SSS. Anomalia SS6. La forma deducibile dall'immagine acustica è ascrivibile ad una piccola imbarcazione.

Figure 17 SSS survey, anomaly SS6. The shape discernible in the acoustic image can be ascribed to a small vessel.

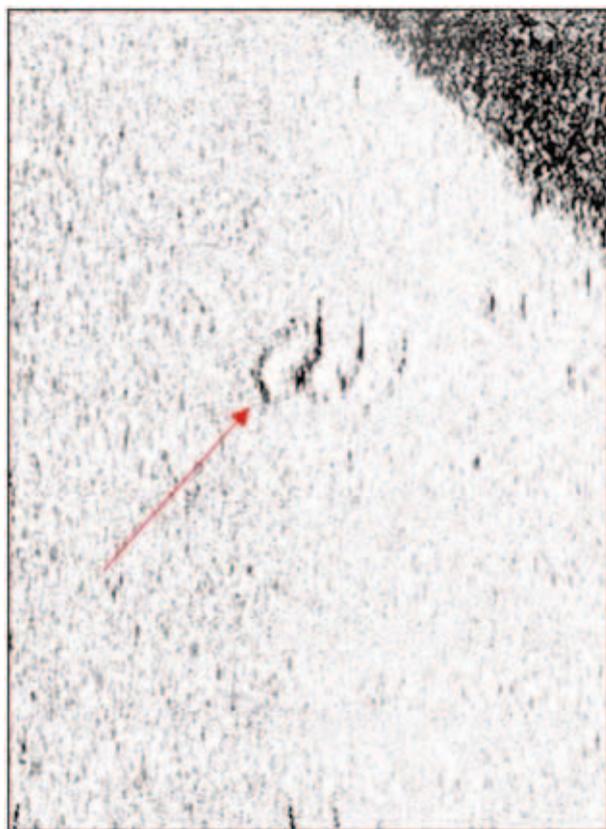


Figura 18 Rilievo SSS. Anomalia SS4 la cui forma è riconducibile ad una piccola imbarcazione.

Figure 18 SSS survey, anomaly SS4. The shape is attributable to a small vessel.

Il rilievo è stato pianificato in modo da ottenere una completa copertura dell'area con una totale sovrapposizione delle linee adiacenti. Questo ha consentito di escludere, durante l'interpretazione dei sonogrammi, la presenza di falsi echi che ad una prima passata, senza la conferma di una successiva, potrebbero essere identificati come 'falsi target'. L'interpretazione dei sonogrammi e il relativo mosaico ha fornito informazioni sui target individuati (dimensioni e posizione). Al fine di rendere estremamente preciso il rilievo SSS, è stata utilizzata una piattaforma *Inertially-Aided Real-Time Kinematic* (IARTK) denominata APPLANIX POS-MV (figura 8) munita di sensore GAMS (*GPS Azimuth Measurement Subsystem*). Questo sensore di direzione è basato sull'acquisizione simultanea del dato GPS fornito da un *array* costituito da due antenne Trimble a doppia frequenza (L1/L2) poste su una *base-line* perpendicolare o coincidente con la linea di fede dell'imbarcazione. Il sensore GAMS è parte integrante del sistema inerziale Applanix POS-MV che fornisce, oltre al dato direzione, anche il dato di posizione GPS e i dati di *pitch*, *roll* e *heave* grazie ad un sensore integrato IMU. La procedura di calibrazione si basa sul far eseguire all'imbarcazione alcune linee secondo un percorso ad 'otto'. Durante la calibrazione, i dati di posizione e del sensore IMU vengono registrati dal modulo "GAMS *calibration*" del *software* di controllo e configurazione del sistema POS-MV. I dati acquisiti mediante SSS sono stati elaborati e mosaicati mediante l'applicativo Hypack 2009. La risoluzione del mosaico è di 0.5 m x 0.5 m.

L'analisi dei dati sonar evidenzia una fascia di massi lungo il perimetro Nord del lago ai cui piedi è presente un'area di sedimento grossolano. Spostandosi verso il centro del lago si trova una vasta area caratterizzata da sedimento a matrice fine, al cui interno è presente una zona di *slumping*. In questa zona si nota un accumulo di materiale, probabilmente franato dalla scarpata sovrastante a causa dell'elevata pendenza. L'analisi dei dati SSS ha permesso di individuare 14 anomalie di cui 2 (SS4 e SS6) sono riconducibili chiaramente a relitti di imbarcazioni di piccole dimensioni (figure 17 e 18). Per le altre è più difficile l'associazione con oggetti o manufatti.

5. Il rilievo magnetico - SeaQuest

L'acquisizione magnetica è stata realizzata utilizzando un magneto-gradiometro SeaQuest della Marine Magnetics (figura 19). Questo strumento è costituito da 3 sensori indipendenti, denominati rispettivamente P (*Port*), S (*Starboard*) e V (*Bottom*). I magnetometri del gradiometro, resi solidali mediante una struttura in PVC, sono 3 sensori identici ad effetto *Overhauser*. La configurazione complessiva è quella di un triangolo rovesciato, con i 3 sensori ai vertici del triangolo stesso. La telemetria e l'alimentazione sono fornite ai 3 sensori mediante una 'bottiglia telemetrica'. Lo strumento viene trainato dalla poppa della barca per mezzo di un cavo elettro-meccanico; la distanza tra gradiometro e barca è tale da minimizzare tutti gli effetti magnetici indotti sui 3 sensori dall'apparato propulsivo e dalla strumentazione di bordo. Nel caso specifico, il gradiometro è stato trainato a 25 metri dalla poppa della barca.

Per garantire il miglior assetto possibile in navigazione, oltre che per ovvii motivi di sicurezza, la struttura del gradiometro monta nella sua parte superiore un sistema di galleggiamento che mantiene in superficie e a quota costante lo strumento, garantendo la massima stabilità in fase di traino. I dati vengono trasmessi in tempo reale ad un PC di acquisizione a bordo (figura 20) per un controllo qualitativo durante la fase di acquisizione dati.

La finalità di questa acquisizione, condotta mediante apparato magneto-gradiometrico, è stata quella di caratterizzare da un punto di vista magnetico l'area di interesse e, più nel dettaglio, individuare possibili oggetti ferromagnetici presenti sul fondale o sommersi nella coltre sedimentaria ascrivibili ad oggetti di natura antropica [Cocchi et al. 2010; Embriaco et al. 2009].

Il metodo di prospezione magnetica è in generale sensibile alle condizioni di navigazione. I sensori del SeaQuest sono

caratterizzati da una elevata risoluzione e non risentono di particolari problemi di orientamento. Tuttavia variazioni improvvise della direzione di navigazione e di velocità dell'imbarcazione che traina i sensori possono indurre disturbi sulle misure. Una rotazione di 180° della direzione di acquisizione comporta un avvicinamento dei magnetometri al vettore marino e lo stesso effetto può essere provocato da una repentina decelerazione. Pertanto i dati acquisiti durante tutte le accostate e i vari cambi di direzione del vettore marino (navigazione in direzione obliqua rispetto alla direzione preferenziale) sono stati rimossi dal database.

Il valore di Campo Magnetico Terrestre (CMT) registrato da ogni singolo magnetometro è la risultante di distinti contributi quali il segnale generato nel nucleo terrestre, il campo di anomalia crostale intrinsecamente connessa alla litologia delle rocce della crosta superiore e le variazioni temporali esterne (dovute al campo magnetico esterno). Il CMT presenta inoltre sia una dipendenza spaziale sia una temporale. La prima è facilmente interpretabile considerando la natura disomogenea della porzione crostale superiore. La variazione temporale è invece generata da differenti contributi come: fluttuazione del campo magnetico generato dal nucleo terrestre (variazione di inclinazione e declinazione del campo), variazione di alta frequenza dovute a interazione Terra-Sole. Il principale obiettivo di una prospezione di questo tipo è analizzare il campo di anomalia magnetica che si ottiene sottraendo al valore di CMT il valore di campo di riferimento geomagnetico che rappresenta il contributo della porzione più interna della Terra. Il campo di anomalia è quindi direttamente ascrivibile alla variazione delle caratteristiche di suscettività magnetica delle rocce costituenti la crosta superiore.

Il modello di riferimento viene aggiornato annualmente secondo misure sperimentali e viene validato dalla commissione della *International Assembly of Geomagnetism and*



Figura 19 Magnetogradiometro SeaQuest con sistema di galleggiamento. Sono visibili 2 sensori, mentre il terzo rimane sotto la superficie dell'acqua.

Figure 19 SeaQuest gradiometer with float system. Two sensors are visible, while the third remains beneath the surface of the water.

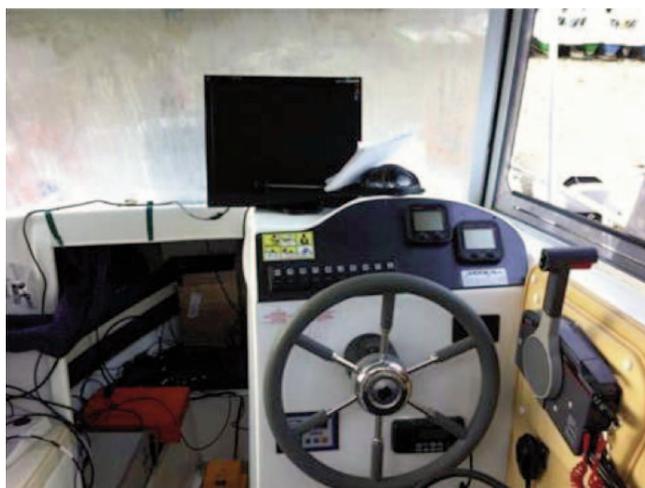


Figura 20 Sistema di navigazione e acquisizione dati magnetici.
Figure 20 Navigation and magnetic data acquisition system.

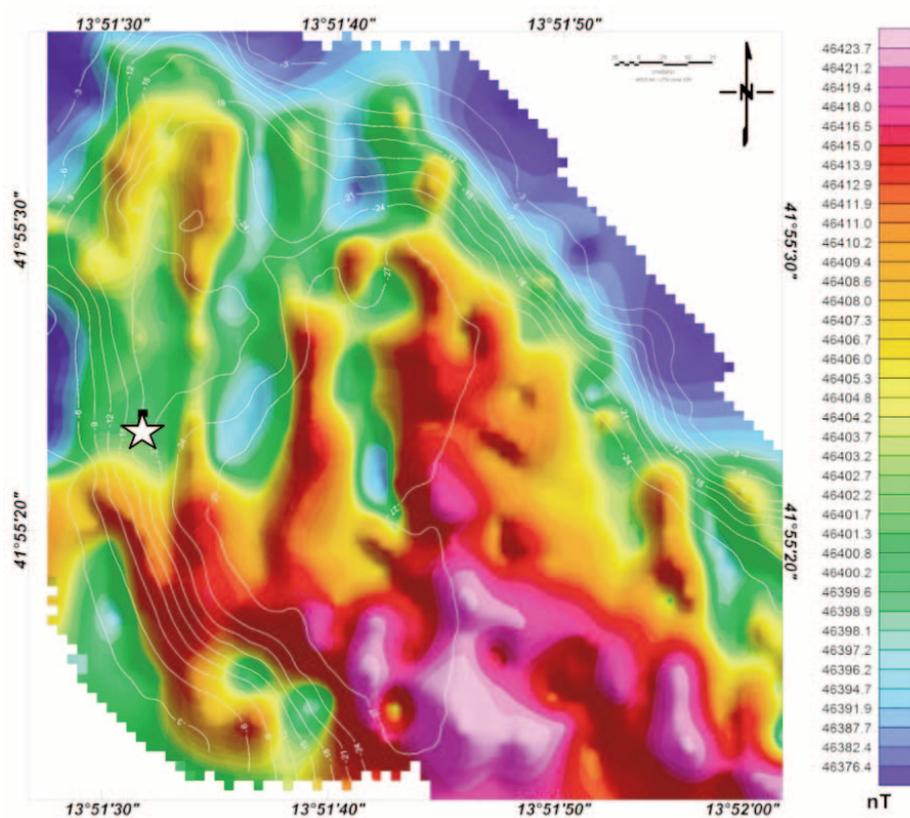


Figura 21 Campo magnetico totale registrato dal sensore P. È indicata la posizione della boa ed il *contour* della batimetria con isolinee a 3 m.
Figure 21 Total magnetic field recorded by sensor P. Buoy position and 3-metre bathymetric contours are shown.

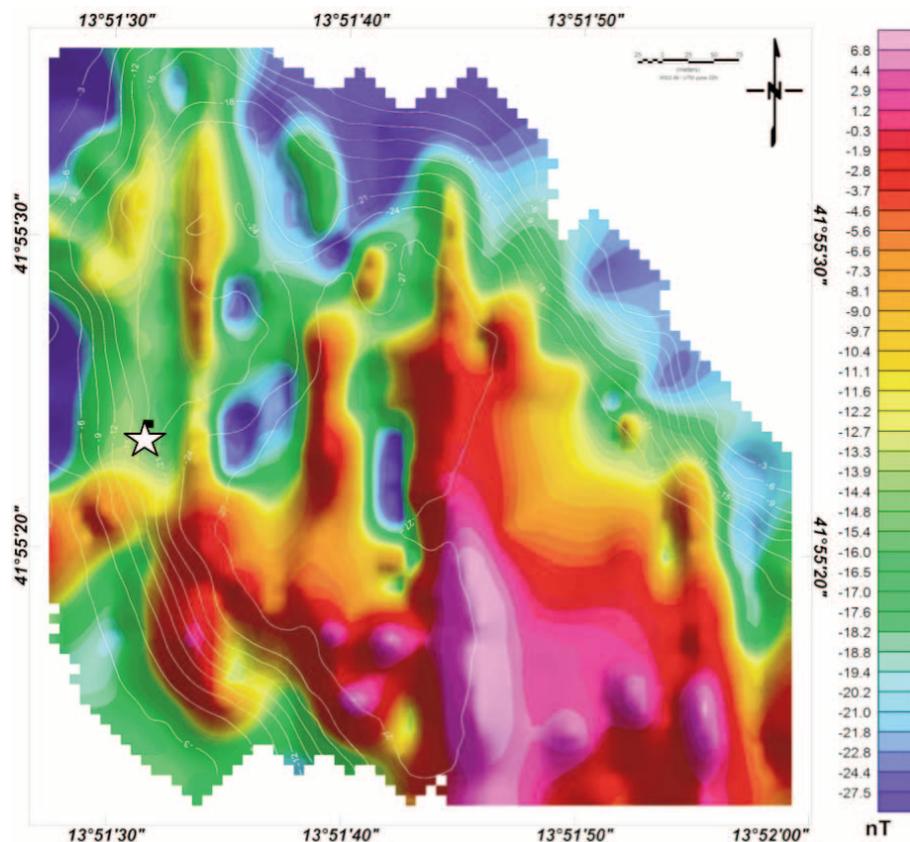


Figura 22 Campo di anomalia magnetica registrato dal sensore P. È indicata la posizione della boa ed il *contour* della batimetria con isolinee a 3 m.
Figure 22 Magnetic anomaly field recorded by sensor P. Buoy position and 3-metre bathymetric contours are shown.

Atmosphere (IAGA). Il modello di riferimento usato nell'elaborazione è IGRF-2010 *International Geomagnetic Reference Field*, estrapolato al 2012.

Nel caso di una indagine puramente ambientale come quella effettuata nel Lago di Scanno, e finalizzata alla valutazione della presenza di corpi ferromagnetici di origine antropica, come per esempio ordigni bellici e altro materiale, la prospezione magnetica deve essere calibrata su una specifica lunghezza d'onda del campo di anomalia. In questi casi si deve separare il contributo geologico relativo all'area in cui è eseguito il rilievo dal contributo direttamente generato dalla presenza di corpi ferromagnetici localizzati nelle porzioni più superficiali (ad es. adagiati sul fondo marino).

In questo rilievo si è scelto di applicare una metodologia di indagine basata sul gradiente magnetico. L'acquisizione simultanea del segnale magnetico che avviene mediante due o più sensori produce un segnale di gradiente che non è affetto dalla variazione temporale del CMT e che minimizza il rumore antropico presente nell'area di indagine. Inoltre, la misura di gradiente enfatizza intrinsecamente il segnale di alta frequenza direttamente correlato ad oggetti ferromagnetici.

Il valore di gradiente è stato calcolato secondo la seguente formula

$$G = (VC1-VC2)/d,$$

dove G è il gradiente, VC1 e VC2 sono rispettivamente i valori di campo magnetico registrati dai sensori 1 e 2 ed, in ultimo, d è la distanza tra i due sensori.

Nel nostro caso, pur disponendo di tre sensori disposti lungo il piano verticale e quello orizzontale, è stato valutato solo il gradiente orizzontale a causa di una rumorosità strumentale del sensore *bottom* dovuta a problemi di tenuta di un cavo di collegamento.

Per ogni linea acquisita è stato valutato il *pattern* di variazione del segnale di gradiente identificando le variazioni più significative. L'analisi quantitativa del segnale di gradiente magnetico misurato durante il rilievo è stata fatta su singolo profilo (linea di acquisizione). La rappresentazione 2D tramite una procedura di interpolazione dei dati acquisiti su tutta l'area permette di individuare anomalie di dimensioni considerevoli, mentre potrebbe mascherare anomalie di dimensioni minori ma comunque di interesse.

È bene sottolineare che un picco di gradiente è indicativo della presenza di un oggetto ferromagnetico (di qualunque natura esso sia). Sono state analizzate tutte le linee acquisite identificando la posizione geografica dei picchi di anomalia unitamente all'intensità del picco stesso (in valore assoluto). In questo modo si hanno informazioni sulla possibile posizione dell'oggetto e sulle sue caratteristiche in termini di magnetizzazione.

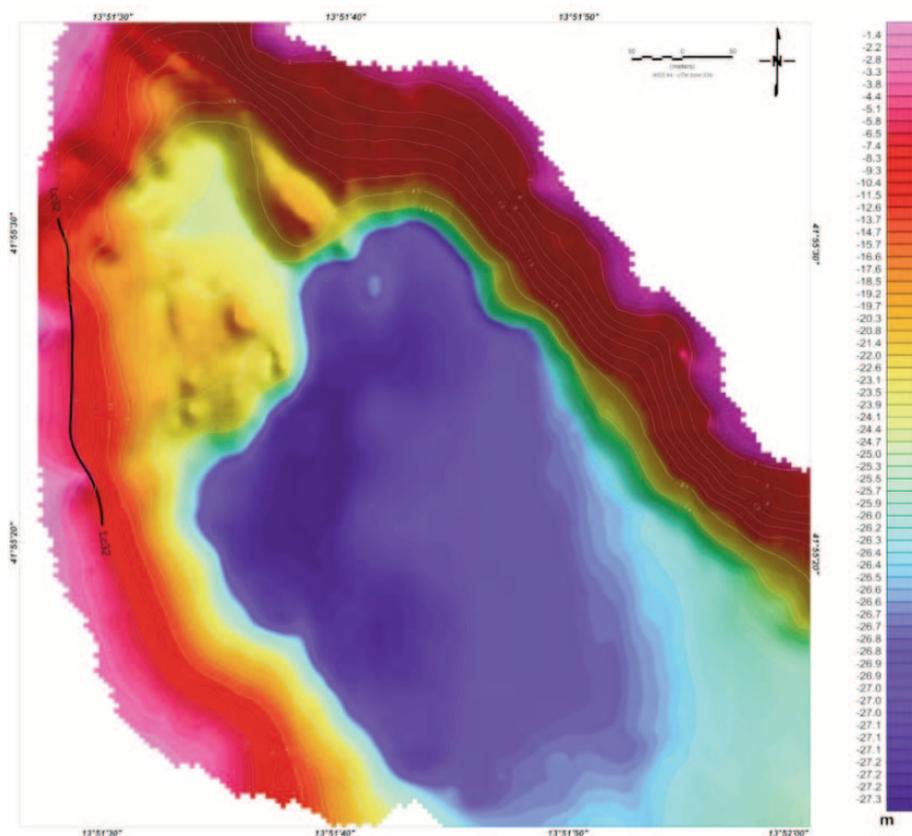


Figura 23 Posizionamento della linea Lc32. È riportata la batimetria dell'area investigata con *contour* 3m.
Figure 23 Position of line Lc32. The bathymetry of the investigated area is shown with 3-metre contours.

Il processing dei dati magnetici ha seguito il seguente schema:

- 1) costruzione e organizzazione di un database digitale;
- 2) calcolo del campo di anomalia e calcolo del gradiente;
- 3) valutazione a scala globale dei problemi di navigazione;
- 4) rimozione di picchi strumentali (*spike*);
- 5) analisi dei profili e individuazione dei picchi di gradiente.

I dati acquisiti sono stati integrati in un database digitale utilizzando lo specifico *software* Oasis Montaj della Geosoft Inc. Questo *software* permette di avere una rappresentazione su mappa delle linee acquisite (seguendo gli standard di proiezione cartografica) e di poter effettuare analisi statistiche e spettrali del segnale registrato. Inoltre, è possibile analizzare le caratteristiche del segnale di interesse mediante una rappresentazione su profilo, evidenziare e correggere possibili errori relativi a *spike* e variazioni anomale del segnale magnetico dovuti a repentine variazioni di navigazione. Nelle mappe di figura 21 e 22 si riporta, rispettivamente, il campo magnetico registrato e il campo di anomalia del sensore P (gli altri sono del tutto analoghi). Dall'analisi di queste mappe si evince come in tutta l'area non sussistono anomalie di particolare significatività ed i valori sono confinati in variazioni di pochi nanoTesla. Si può ragionevolmente escludere la presenza di consistenti masse ferrose sul fondo del lago stesso.

L'analisi dei singoli profili ha permesso invece di individuare, nei pressi del margine più occidentale del Lago (figura 23), un'anomalia visibile chiaramente nella figura 24 e associa-

bile, quasi certamente, ad un oggetto ferromagnetico. L'anomalia di gradiente è presente però solamente su un paio di profili e quindi non dovrebbe avere dimensioni considerevoli. Di questa anomalia non si ha evidenza nell'indagine batimetrica (in alto nella figura) e ciò può essere imputabile al fatto che potrebbe essere ricoperta dal sedimento.

6. Conclusioni

I rilievi geofisici sono stati eseguiti in buone condizioni meteo ed hanno permesso di ottenere dati di qualità soddisfacente. In figura 25 e in tabella 1 dell'Appendice vengono riportati tutti i target individuati durante la campagna di misure.

All'interno dell'area studiata la profondità del lago è compresa tra i 2 ed i 28 metri (figura 11). Dal punto di vista morfologico si osserva un'elevata pendenza lungo il perimetro mentre a centro lago questa diviene piuttosto debole (circa 0.3 %). È stata osservata una zona di "slumping" caratterizzata dall'accumulo di sedimento e detrito, probabilmente franato a causa dell'elevata pendenza della scarpata. Questa zona è chiaramente visibile sia dall'analisi del dato batimetrico che dall'analisi del dato morfologico. L'analisi del dato MB ha consentito di individuare 15 anomalie mentre quella del dato SSS ha permesso di individuare 14 anomalie (figura 26). Due di queste anomalie (la SS4 e la SS6), evidenziate anche dal rilievo MB, sono chiaramente riconducibili, per

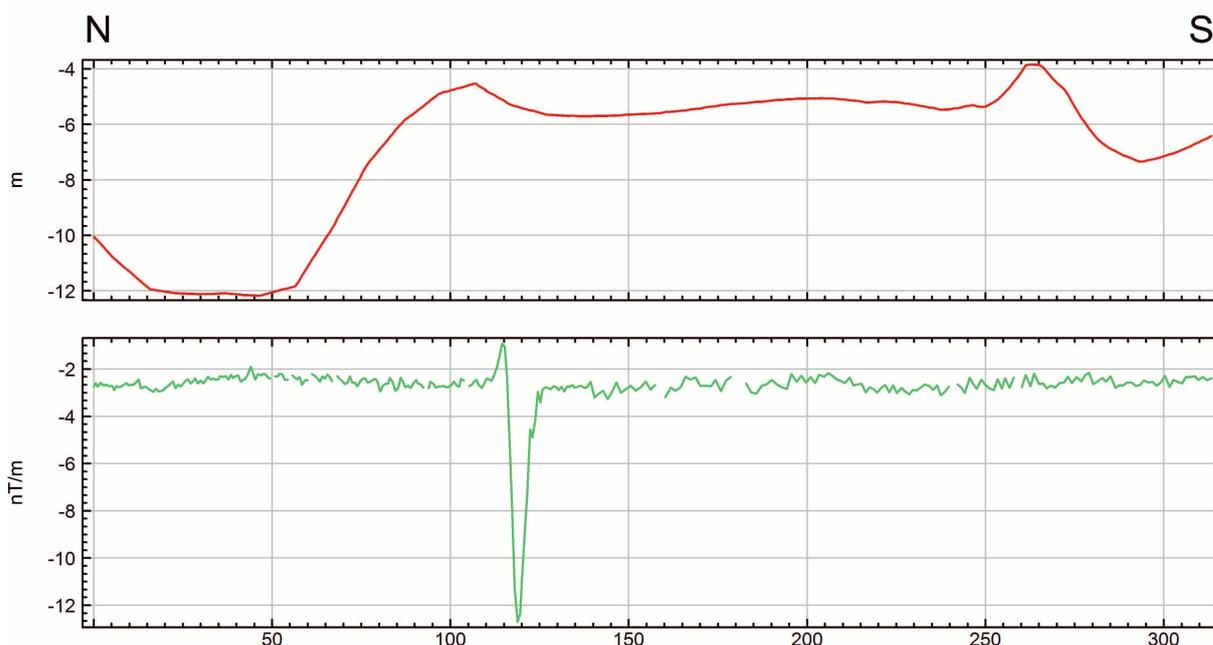


Figura 24 Linea Lc32. In ordinate il gradiente magnetico (espresso in nT/m), in ascisse la distanza dall'inizio linea (m). È altresì riportato, per confronto, il corrispondente profilo della batimetria (grafico in alto).

Figure 24 Line Lc32. Y-axis corresponds to magnetic gradient in nT/m, x-axis the distance from the starting point of the line in m. The corresponding bathymetric profile is also given for comparison.

forma e dimensioni, a relitti di piccole imbarcazioni. La SS6 corrisponde alla MB6 e la SS4 alla MB7 (figure 27, 28, 29 e 30). Le altre anomalie sono di difficile attribuzione.

L'indagine SBP ha consentito di caratterizzare i sedimenti del lago al di sotto dell'interfaccia acqua/sedimento con una penetrazione massima di circa 6 metri (figura 31). La litologia dominante dell'area di indagine è caratterizzata da sedimenti fini molto compatti. L'analisi dei dati ha evidenziato la presenza di 2 anomalie sepolte di tipo puntuale poste a profondità, rispettivamente, di 3 e 6 m circa sotto la superficie del fondale. In prima approssimazione, le anomalie sono attribuibili alla presenza di massi o a piccoli oggetti.

L'indagine magnetica ha consentito di individuare un'anomalia significativa associabile quasi certamente ad un oggetto ferromagnetico, probabilmente di non grandi dimensioni. L'anomalia è visibile su un paio di profili sui quali si evidenzia un andamento dipolare. Non sono evidenti altre anomalie di alta frequenza nell'area oggetto di indagini. Nell'area investigata, pertanto, si può ragionevolmente escludere la presenza di consistenti masse ferrose sul fondo del lago stesso.

In corrispondenza dell'area ritenuta anomala per il comportamento delle bussole subacquee non è stata osservato alcun elemento che possa giustificare e supportare tale ipotesi.

Alla luce dei risultati ottenuti, sarebbe utile estendere il rilievo alla parte sud del lago, con l'utilizzo delle stesse metodiche e la realizzazione di un rilievo magnetico in prossimità del fondo per l'individuazione di oggetti di modeste dimensioni con proprietà magnetiche. Inoltre potrebbe essere opportuno eseguire un'indagine visiva sui *target* individuati a mezzo telecamera subacquea trainata o, preferibilmente, a mezzo ROV (*Remotely Operated Vehicle*).

7. Ringraziamenti

Si ringraziano le Autorità locali dei Comuni di Scanno e di Villalago, il Comando dei Carabinieri ed il Corpo dei Vigili del Fuoco per la preziosa collaborazione prestata nella realizzazione del rilievo e in tutti gli aspetti logistici.

Si ringraziano i sig.ri Enzo Gentile ed Eustachio Gentile, promotori di questa indagine ed i sig.ri Stefano De Cola e Edoardo Fronterotta di Scanno.

Si ringrazia l'Ing. Luigi Barbagelata titolare della ditta COL.MA.R Srl della Spezia per il supporto strumentale e la qualificata competenza del personale (Dott. Lorenzo Gionfra e Dott. Luigi Martinucci) nell'esecuzione dei rilievi acustici e nel supporto all'elaborazione dei dati.

Si ringrazia il Sig. Riccardo Vagni (INGV) per il servizio prestato durante la campagna per il pilotaggio del 'BigOne' e dell'autoveicolo adibito al trasporto speciale dell'imbarcazione.

Si ringrazia altresì il dott. Angelo De Santis per gli utili suggerimenti nella fase di revisione del manoscritto.

appendice

principali target individuati

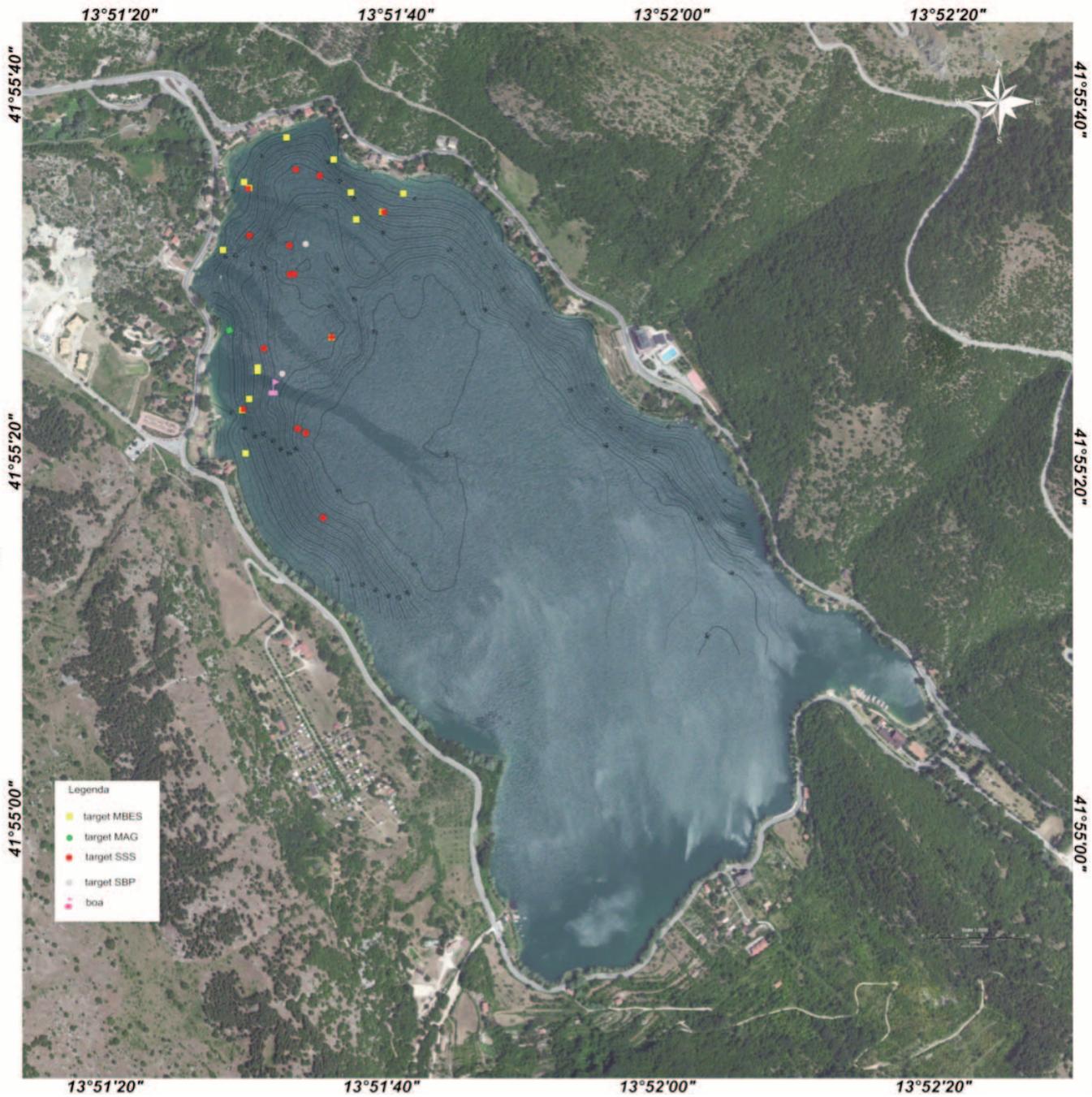


Figura 25 Visione d'insieme dei target individuati. È indicata la batimetria con *contour* 1 m.
Figure 25 Combined view of the individual targets. Bathymetry is indicated by 1m contours.

ID TARGET	LATITUDINE (dd.dddddd) N	LONGITUDINE (dd.dddddd) E	Depth (m)	TARGET (type)
SB1	41.925431	13.859372	25	SBP
SB2	41.923463	13.858937	18	SBP
MB1	41.926220	13.860265	14	MBES
MB2	41.923075	13.858276	11	MBES
MB3	41.923502	13.858440	13	MBES
MB4	41.923554	13.858437	13	MBES
MB5	41.926354	13.858115	4	MBES
MB6	41.926266	13.858217	6	MBES
MB7	41.922906	13.858138	6	MBES
MB8	41.925813	13.860381	20	MBES
MB9	41.924022	13.859916	20	MBES
MB10	41.925932	13.860907	12	MBES
MB11	41.925324	13.857709	8	MBES
MB12	41.927039	13.858957	5	MBES
MB13	41.926216	13.861324	5	MBES
MB14	41.926716	13.859911	6	MBES
MB15	41.922251	13.858216	5	MBES
MA1	41.924110	13.857864	5	MAG
SS1	41.926556	13.859154	15	SSS
SS2	41.923841	13.858560	15	SSS
SS3	41.922569	13.859425	26	SSS
SS4	41.922916	13.858159	6	SSS
SS5	41.922633	13.859262	25	SSS
SS6	41.926258	13.858203	5	SSS
SS7	41.924974	13.859147	22	SSS
SS8	41.925406	13.859044	24	SSS
SS9	41.925548	13.858238	11	SSS
SS10	41.926467	13.859637	15	SSS
SS11	41.921291	13.859795	17	SSS
SS12	41.924026	13.859918	21	SSS
SS13	41.924969	13.859064	22	SSS
SS14	41.925930	13.860934	12	SSS

Tabella 1 Posizionamento e identificativo dei *target* individuati.
Table 1 Positioning and identification of detected targets.



Figura 26 Ricostruzione da SSS del fondo del Lago di Scanno. I *target* identificati sono riportati in blu.
Figure 26 SSS reconstruction of the depth of Scanno Lake. The identified targets are shown in blue.

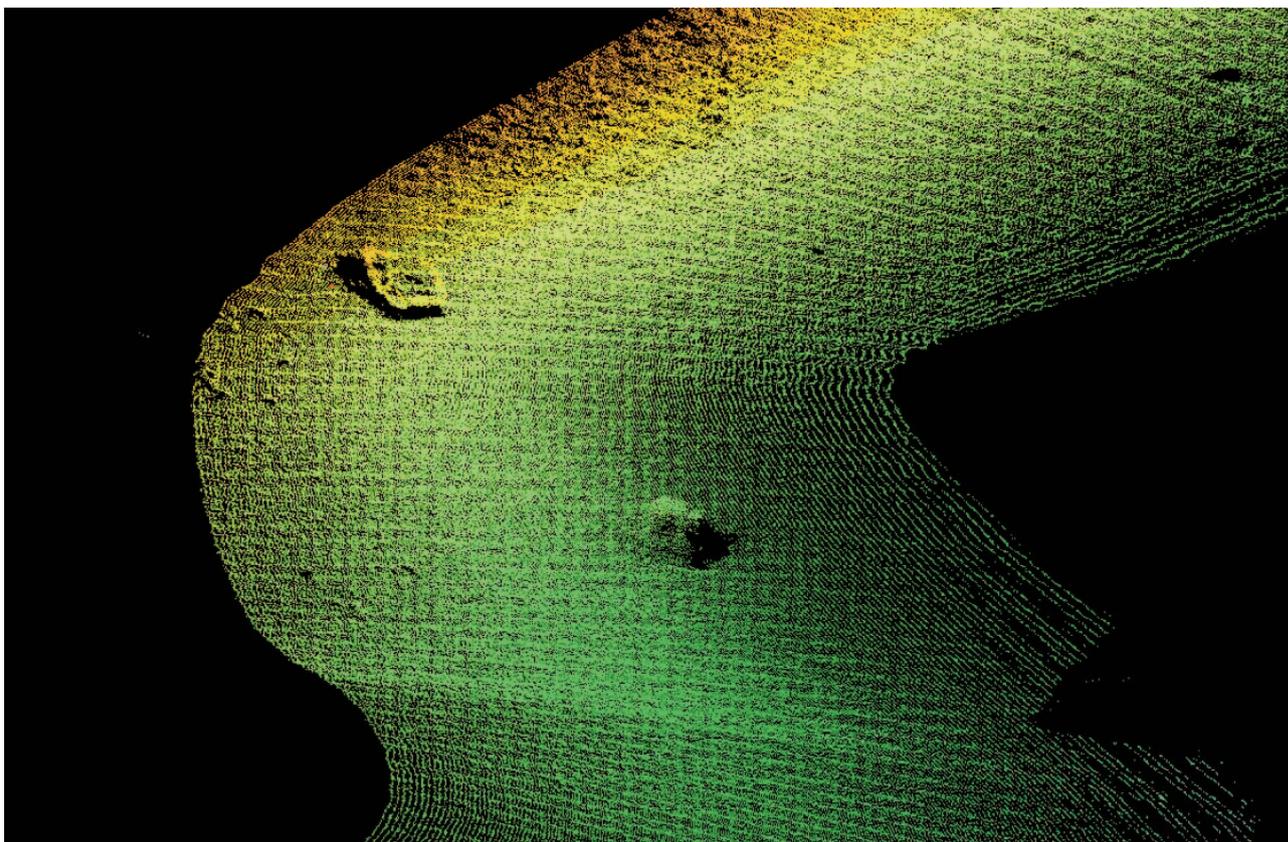


Figura 27 Rilievo MB. Anomalia MB6 (per la posizione si rimanda alle coordinate di Tabella 1).
Figure 27 MB survey. Anomaly MB6 (for the position, refer to table 1).



Figura 28 Rilievo SSS. Anomalia SS6 (vedi Tabella 1).
Figure 28 SSS survey. Anomaly SS6 (see table 1).

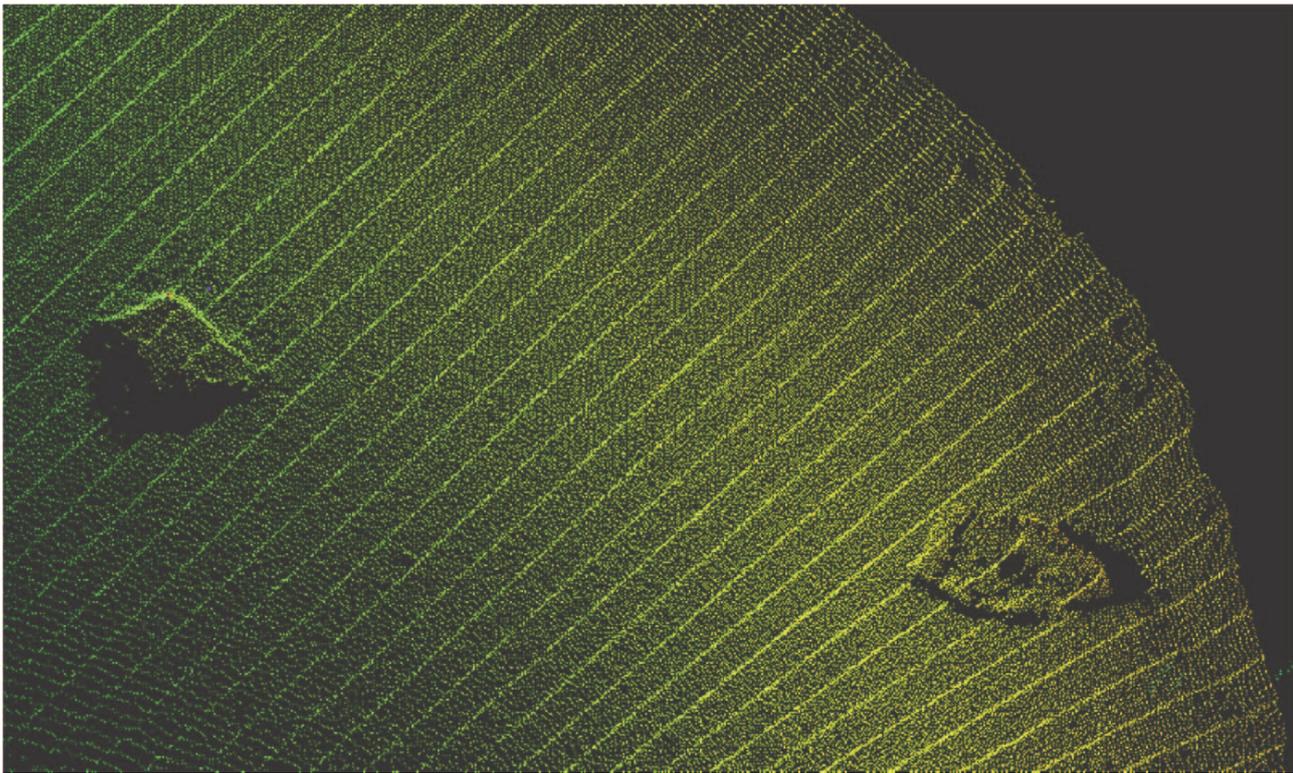


Figura 29 Rilievo MB. Anomalia MB7 (vedi Tabella 1).
Figure 29 MB survey. Anomaly MB7 (see table 1).



Figura 30 Rilievo SSS. Anomalia SS4 (vedi Tabella 1).
Figure 30 SSS survey. Anomaly SS4 (see table 1).

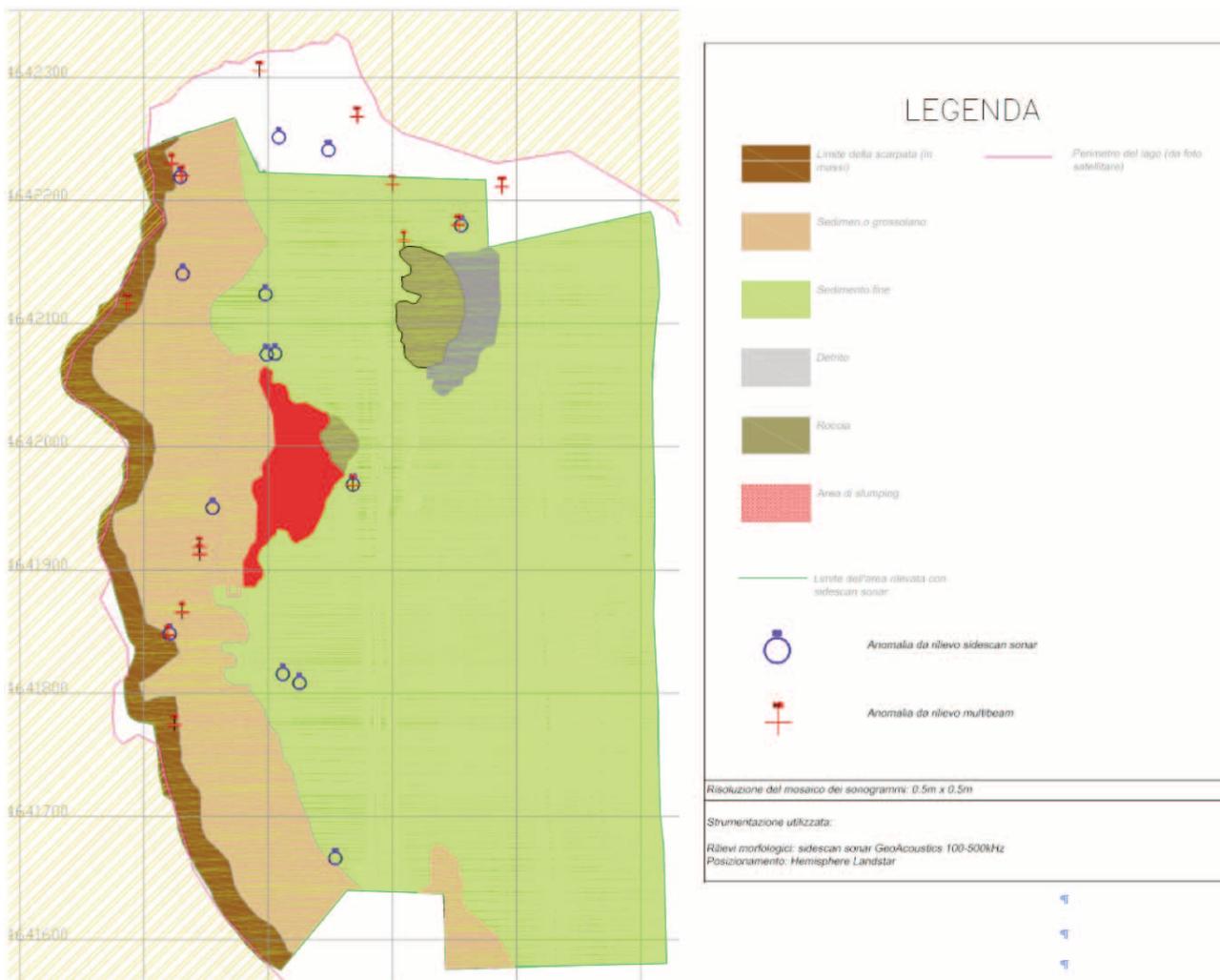


Figura 31 Lago di Scanno, carta geomorfologica.
Figure 31 Scanno Lake, geomorphological map.

Bibliografia

- Almagià R. (1910). *Studi geografici sulle frane in Italia: l'Appennino centrale e meridionale*. Conclusioni generali. Mem. Soc. Geog. It., 14, 435 pp.
- Bianchi Fasani G., Esposito C., Petitta M., Scarascia Mugnozza G., Barbieri M., Cardarelli E., Cercato M. and Di Filippo G. (2011). *The importance of the geological model to understand and predict the life span of rock-slide dams: the case of Scanno Lake, central Italy*. Natural and Artificial Rockslide Dams, Volume 133, pp. 323-345.
- Bianchi Fasani G., Esposito C., Maffei A. and Scarascia Mugnozza G. (2004). *Geological controls on slope failure style of rock avalanches in Central Apennines (Italy)*. In Landslides: Evaluation and stabilization, Lacerda, Ehrlich, Fontoura & Sayao (eds), 1, pp. 501-507. International Symposium on Landslide. Rio de Janeiro 2004.
- Cocchi L., Stefanelli P., Carmisciano C., Caratori Tontini F., Taramaschi L., Cipriani S., (2012). *Marine Archaeogeophysical Prospection of Roman Salapia Settlement (Puglia, Italy): Detecting Ancient Harbour Remains*. Archaeological Prospection, doi: 10.1002/arp.1420, 13 pp, ISSN: 1099-0763.
- D'Alessandro L., Berti D., Buccolini M., Miccadei E., Piacentini T. and Urbani A. (2003). *Relationships between the geological-structural framework and landslide types in Abruzzi (Central Apennine)*. In: "Atti 1° Congresso Nazionale AIGA", Chieti, 19-20 Febbraio 2003"; pp. 255-275. Rendina Editori, Roma.
- Dialti L., De Lucia A., Marziani F., Niccolini A., Zeppetella A., Di Fava M., Guideri M., Carmisciano C., Cocchi L., Muccini F., Bortoluzzi G., Aliani S. (2013). *Rapporto sulle attività geofisiche, oceanografiche e di campionamento durante la crociera PANSTR12 con nave Aretusa: Isole Eolie (Stromboli, Panarea, Salina) (30.06.2012-14.07.2012)*. Rapporti Tecnici INGV, n. 245.
- Embriaco D., Carmisciano C., Caratori Tontini F., Stefanelli P., Cocchi L., Locritani M. and Demarte M., (2009). *Environmental magneto-gradiometric marine survey in high anthropic noisy area*. Annals of Geophysics, vol.52, n.6.
- Gasperini L., Cocchi L., Stanghellini C., Stanghellini G., Del Bianco F., Serrazanetti M., Carmisciano C., (2012). *Magnetic and seismic-reflection study of Lake Cheko, a possible impact crater for the 1908 Tunguska Event*. Geochem. Geophys. Geosyst AGU, Volume 13, Number 5, 12 May 2012, Q05008, doi:10.1029/2012GC004054, ISSN: 1525-2027.
- Marinelli O. (1922). *Atlante dei tipi geografici: desunti dai rilievi al 25000 e al 50000 dell'Istituto Geografico Militare*. Tavola 10. Istituto geografico militare, Firenze.
- Miccadei E. (1993). *Geologia dell'Alto Sagittario-Alto Sangro (Abruzzo, Appennino centrale)*. Geol. Romana, 29, pp. 463-481.
- Nicoletti P. G., Parise M. and Miccadei E. (1993). *The Scanno rock avalanche (Abruzzi, south-central Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., 112, pp. 523-535, 7 figg., 1 tab., Roma.
- Polonia A., Bortoluzzi G., Gasperini L., Ligi M., Carrara G., Cuffaro M., D'Oriano F., Riminucci F., Zitellini N., Torelli L., Capozzi R., Oppo. D, Viola I., Minelli L., Gallais F., Carmisciano C., Gambetta M., Locritani M., Muccini F., Carone S. and Laterra A., (2008). *Rapporto sulle indagini di sismica a riflessione, gravimetriche, magnetometriche, morfobatimetriche e campionamento a fondo mare nell'Arco Calabro (Mar Ionio)*. Campagna CALAMARE, Rapporto Tecnico, Ismar Bologna.
- Praturlon A. (1968). *Note illustrative al F. 152 "Sora" (scala 1:100.000)*. Serv. Geol. It., pp. 1-76, Roma.
- Riccardi R. (1929). *Il lago di Scanno (Abruzzo)*. Boll. R. Soc. Geogr. It., ser. VI, 6, pp. 162-182.

Indice

Introduzione	4
1. Area di indagine e obiettivi del lavoro	5
2. Il rilievo batimetrico - Multibeam	8
3. Il rilievo sismico - Sub Bottom Profiler	11
4. Il rilievo morfologico - Side Scan Sonar	13
5. Il rilievo magnetico - SeaQuest	15
6. Conclusioni	18
7. Ringraziamenti	19
Appendice	21
Bibliografia	29

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia