

Relazione Tecnica

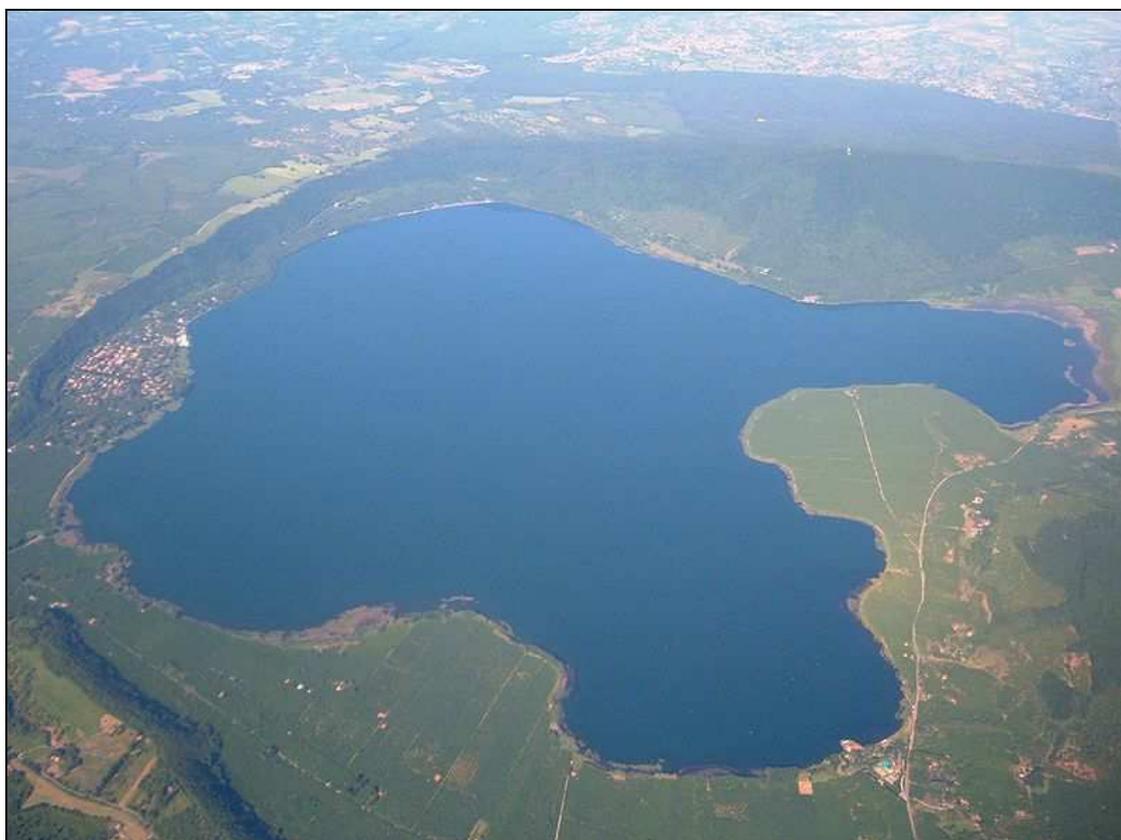
Acquisizione Bati-morfologica e Magnetometrica

Lago di Vico (VT)

Renato Tonielli¹, Antimo Angelino¹, Gianpaolo Brinchi², Rossana Cintoli², Antonio Di Gennaro², Gabriella Di Martino¹, Simone Dionisi², Sara Innangi¹, Giorgio Onofri², Daniela Tarallo¹, Vincenzo Di Fiore¹

¹ Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, IAMC-CNR, Napoli

² Agenzia Regionale Protezione Ambientale del Lazio, ARPALAZIO, Roma



Indice

| | |
|---|----|
| Introduzione | 3 |
| 1. Inquadramento geologico del distretto vulcanico di Vico..... | 6 |
| 2. Acquisizione batimetrica | 6 |
| 3. Elaborazione e restituzione dei dati batimetrici | 11 |
| 4. Indagine magnetometrica | 16 |
| 4.1 Cenni sul campo magnetico terrestre | 16 |
| 4.2 Variazioni temporali | 17 |
| 4.3 Magnetizzazione delle rocce e dei sedimenti..... | 18 |
| 4.4 Anomalie magnetiche..... | 19 |
| 5. Acquisizione magnetometrica | 20 |
| 6. Elaborazione dei dati magnetometrici | 22 |
| 6.1 Correzione dell'offset | 22 |
| 6.2 Levelling..... | 23 |
| 6.3 Boundary analysis..... | 23 |
| 6.3.1 Segnale analitico..... | 24 |
| 7. Indagini dirette | 27 |
| Conclusioni | 28 |

Introduzione

Il presente documento descrive le attività svolte dall' Istituto per l'Ambiente Marino Costiero IAMC-CNR relative alla Convenzione di consulenza tecnico-scientifica stipulata tra ARPA Lazio e l'IAMC-CNR (Prot. N° 0008085 del 21/10/2013). Le attività richieste nella Convenzione, riguardavano rilievi batimetrici e magnetometrici nell'ambito del progetto di caratterizzazione del bacino del lago di Vico. In particolare all'IAMC-CNR è stato richiesto di effettuare i rilievi in un determinato settore del lago, identificabile con diverso colore nella Figura 1. Nel settore a sud, di colore più chiaro, è stato richiesto di effettuare un rilievo magnetometrico più fitto per meglio identificare e definire la presenza di eventuali anomalie magnetiche connesse a depositi di materiali ferromagnesiaci di diversa natura.



Figura 1 – Area da acquisire del Lago di Vico secondo le specifiche del progetto.

Il gruppo dell'ARPA Lazio che ha partecipato al progetto è composto da:

| Componente | Qualifica |
|--------------------------------|------------------------------|
| Ing. Rossana Cintoli | Direttore Tecnico Arpa Lazio |
| Dott. Giorgio Onofri | Tecnico Arpa Lazio |
| Ing. Simone Dionisi | Tecnico Arpa Lazio |
| Ing. Antonio Di Gennaro | Tecnico Arpa Lazio |
| Dott. Gianpaolo Brinchi | Tecnico Arpa Lazio |

Il gruppo di lavoro che ha partecipato alla consulenza tecnico-scientifica è composto da:

| Componente | Qualifica | Attività |
|--------------------------------------|-----------------------|---|
| Dott. Vincenzo Di Fiore | Ricercatore | Responsabile del progetto |
| Dott. Renato Tonielli | Tecnologo | Responsabile scientifico dati multibeam |
| Dott. Antimo Angelino | Collaboratore tecnico | Responsabile scientifico dati magnetici |
| Dott.ssa Sara Innangi | Collaboratore tecnico | Acquisizione dati multibeam e magnetici ed elaborazione dati di backscatter |
| Dott.ssa Gabriella Di Martino | Collaboratore tecnico | Elaborazione dati multibeam |
| Dott.ssa Daniela Tarallo | Assegnista di ricerca | Elaborazione dati magnetici |

1. Inquadramento geologico del distretto vulcanico di Vico

Il lago di Vico è un lago di origine vulcanica dell'Italia centrale situato nella provincia di Viterbo. La maggior parte dei depositi è di natura ignimbritica e la sua storia eruttiva può essere suddivisa in fasi. La più antica è compresa tra 0.9 e 0.4 Ma e comprende depositi lavici e unità dei “tufi stratificati varicolori di Vico”. Quest’ultima è un’unità in cui sono stati raggruppati depositi di ricaduta costituiti da alternanze di letti di pomici, lapilli e ceneri con intercalazioni di lave da trachitiche a leucite-fonolitico-tefritiche, a leucite-tefritiche e leucititiche. Con ogni probabilità tali depositi sono da ricondursi a più eventi eruttivi separati da periodi di quiescenza più o meno significativi.

La fase successiva compresa tra 0.4 e 0.2 Ma rappresenta la fase effusiva di costruzione del cono lavico del lago di Vico. Segue quindi la fase esplosiva delle grandi ignimbriti tra 0.2 e 0.15 Ma. Durante questa fase vengono eruttate almeno quattro ignimbriti: unità del “Tufo grigio vicano”, unità del “Tufo rosso a scorie nere”, unità del “Tufo litoide non stratificato biancastro” e unità del “Tufo biancastro sottilmente stratificato”.

Infine l’ultima fase è quella di edificazione del cono di monte Venere all’interno della caldera poligenica sommitale. L’ultima fase eruttiva di Vico perdura fino a circa 60.000 anni fa e i prodotti dell’attività sono unificati nell’unità dei “Tufi stratificati di Monte Venere”.

2. Acquisizione batimetrica

L’acquisizione geofisica del lago di Vico è stata svolta a bordo del M/B “Idrosfera” un catamarano carrellabile di 7 m di lunghezza con un pescaggio di 50 cm (Fig.2).



Figura 2 – L’ imbarcazione Idrosfera durante le operazioni di varo sul Lago di Vico

Il trasferimento verso l'area di lavoro è avvenuto il giorno 18 Novembre 2013, e appena giunti è stata messa la barca in acqua (Fig. 2), mentre le operazioni di installazione strumentale sono state rimandate al giorno successivo visto l'orario ormai avanzato del pomeriggio.

Per l'acquisizione batimetrica è stato utilizzato il Multibeam Reson Seabat 7125, un multibeam ad altissima risoluzione con doppia frequenza operativa, 200 - 400 kHz. La massima profondità operativa nella configurazione a 200 KHz è di 450 m e i ricevitori formano 256 beam sia in *equi-distance*, per un'apertura totale dello *swath* di 140°, che in *equi-angle*, per un'apertura totale dello *swath* di 165° (configurazione detta "wide"). Nella configurazione a 400 KHz la profondità operativa è di 175 m e i ricevitori formano 512 beam sia in *equi-distance* che in *equi-angle*. Inoltre il Seabat 7125 ha la possibilità di registrare il segnale di backscatter, sia come Opzione-Sidescan Sonar, che come Snippet, consentendo la realizzazione di mosaici acustici.

Durante questo lavoro sono stati acquisiti dati ad una profondità media compresa tra gli 5 m e i 45 m, utilizzando la configurazione a 400 KHz ad altissima risoluzione (512 beam) in modalità *equi-distance*.

Il multibeam è stato montato a palo, lateralmente alla murata dell'imbarcazione (Fig. 3).

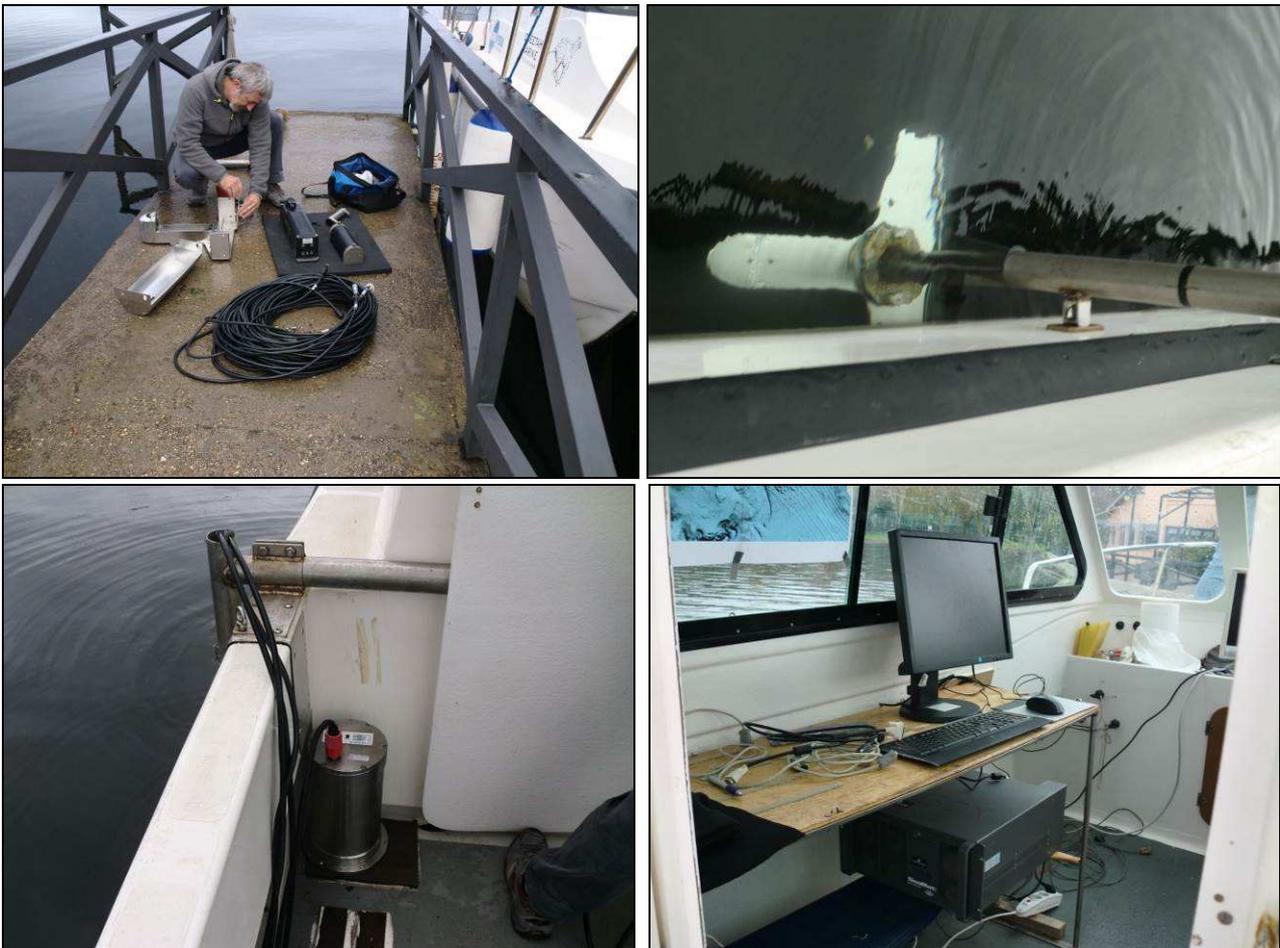


Figura 3 – Installazione della strumentazione per i rilievi batimetrici.

A bordo erano presenti anche il sensore di moto, Octans 3000, per la correzione del beccheggio (*pitch*), del rollio (*roll*) e dell'angolo che la nave forma con il nord geografico (*heading*); mentre per il posizionamento è stato installato il GPS con correzione differenziale, TrimbleSPS852 GNSS Modular Receiver con correzione Oministar, che ha una precisione dell'ordine del centimetro. Infine a bordo era presente sia un profilatore della velocità del suono, calato in acqua 1 volta al giorno, che una sonda di velocità montata sulla testa del multibeam per la correzione in tempo reale del *beam steering*. Il software di acquisizione utilizzato è il PDS2000, a cui arrivano tutte le correzioni delle strumentazioni utilizzate, come è mostrato nella Figura 4.

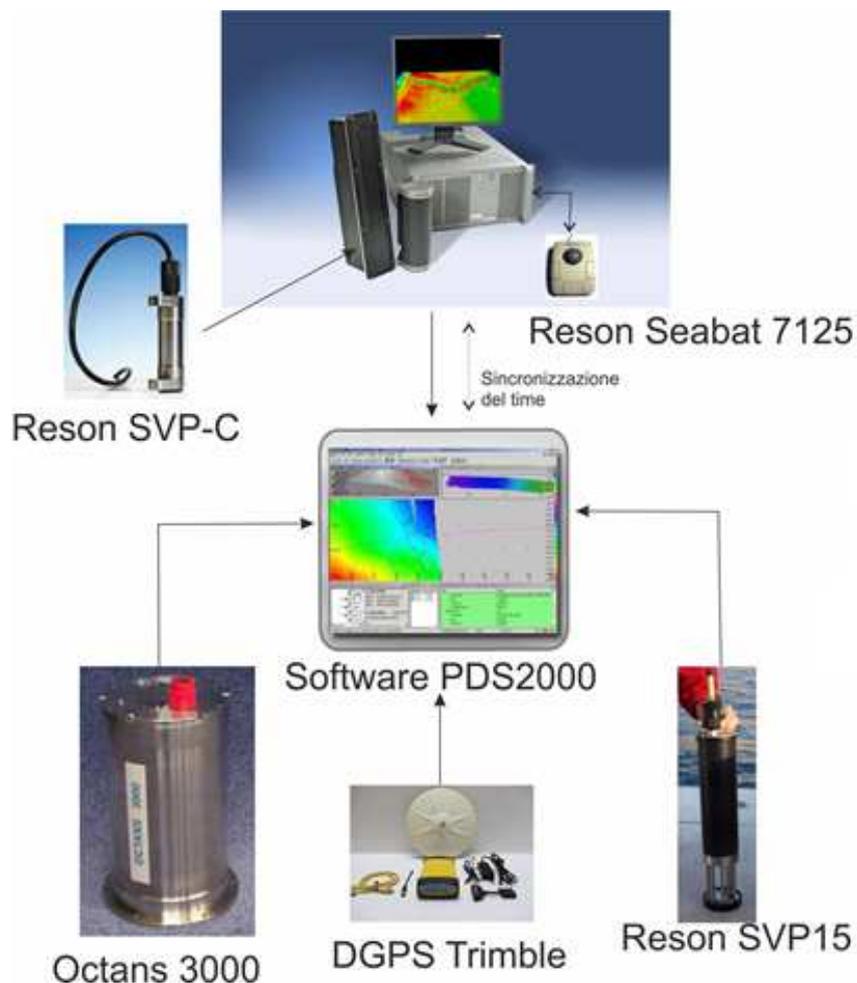


Figura 4 – Schema delle strumentazioni utilizzate per l'acquisizione geofisica e loro connessioni

Le operazioni di bordo sono cominciate il giorno 19 Novembre con l'installazione di tutte le strumentazioni, di cui sono stati misurati gli offset da inserire nel software di acquisizione (Fig. 5).

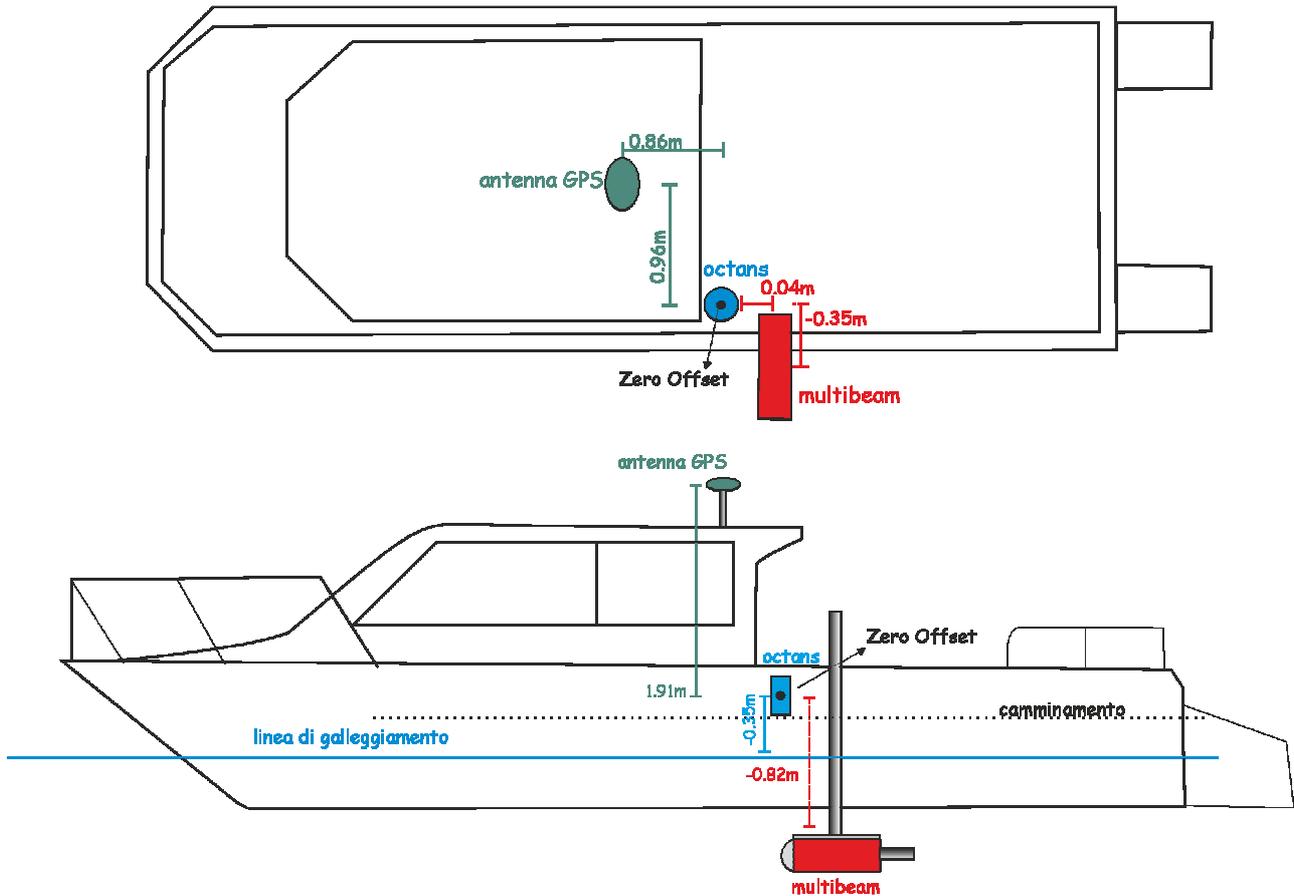
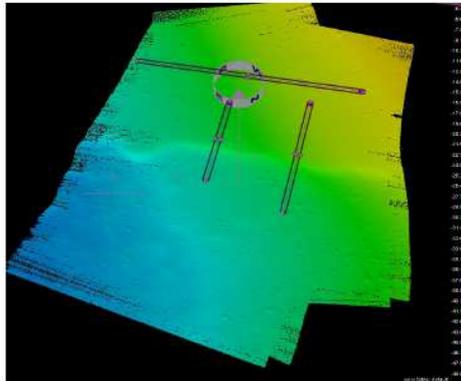


Figura 5 – Offset della strumentazione il cui zero è stato posto in corrispondenza del sensore di moto.

Una volta terminato il check della strumentazione, si è cercato un punto idoneo all’acquisizione delle linee di calibrazione per il multibeam, un’operazione che consente di riportare il piano di lavoro del multibeam in una perfetta situazione ortogonale, relazionandolo anche al sensore di moto. Per calibrare il Seabat 7125 è necessaria una profondità pari circa a 20 m e sul fondo deve essere presente sia una zona pianeggiante, per calcolare l’angolo di *roll*, che un ostacolo o una variazione di pendenza per la calibrazione degli angoli di *pitch* e di *yaw*. La figura che segue (Fig. 6) mostra il risultato e gli angoli ottenuti applicati poi all’interno del survey acustico.

Multibeam Calibration Summary

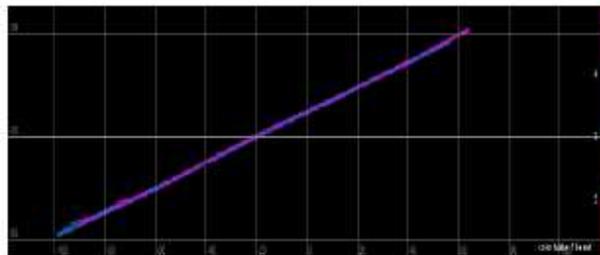
martedì, 19 novembre 2013



Roll Calibration range from -5.00 °PU+ to 5.00 °PU+, step 0.01 °PU+

Initial: Roll = 1.11 °PU+

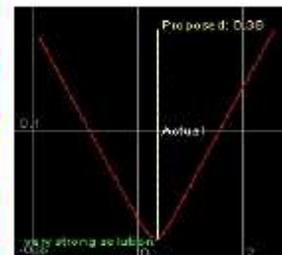
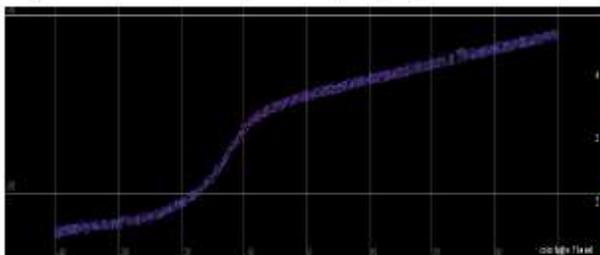
Proposed: Roll = 1.11 °PU+ (automatically computed)



Pitch Calibration range from -5.00 °BU+ to 5.00 °BU+, step 0.01 °BU+

Initial: Pitch = -0.37 °BU+

Proposed: Pitch = 0.37 °BU+ (automatically computed)



Yaw Calibration range from -5.00 ° to 5.00 °, step 0.01 °

Initial: Yaw = 0.27 °

Proposed: Yaw = 0.25 ° (automatically computed)

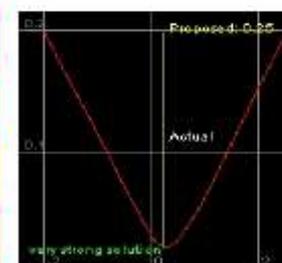
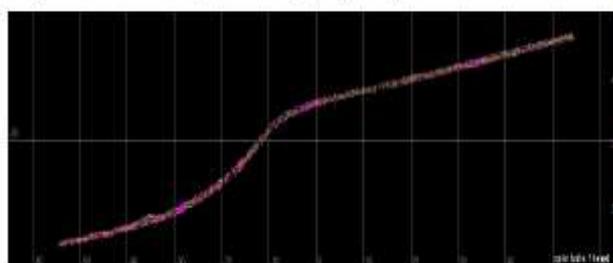


Figura 6 –Report della calibrazione effettuata con le relative correzioni angolari

Una volta terminate le operazioni di calibrazione, sono iniziati i lavori di acquisizione batimetrica che sono terminati il giorno 21 Novembre. Le linee sono state acquisite con una sovrapposizione dei fasci del 30% circa, in modo da garantire un buon campionamento dei dati (Fig. 7), per un totale di 53,423 Km percorsi.

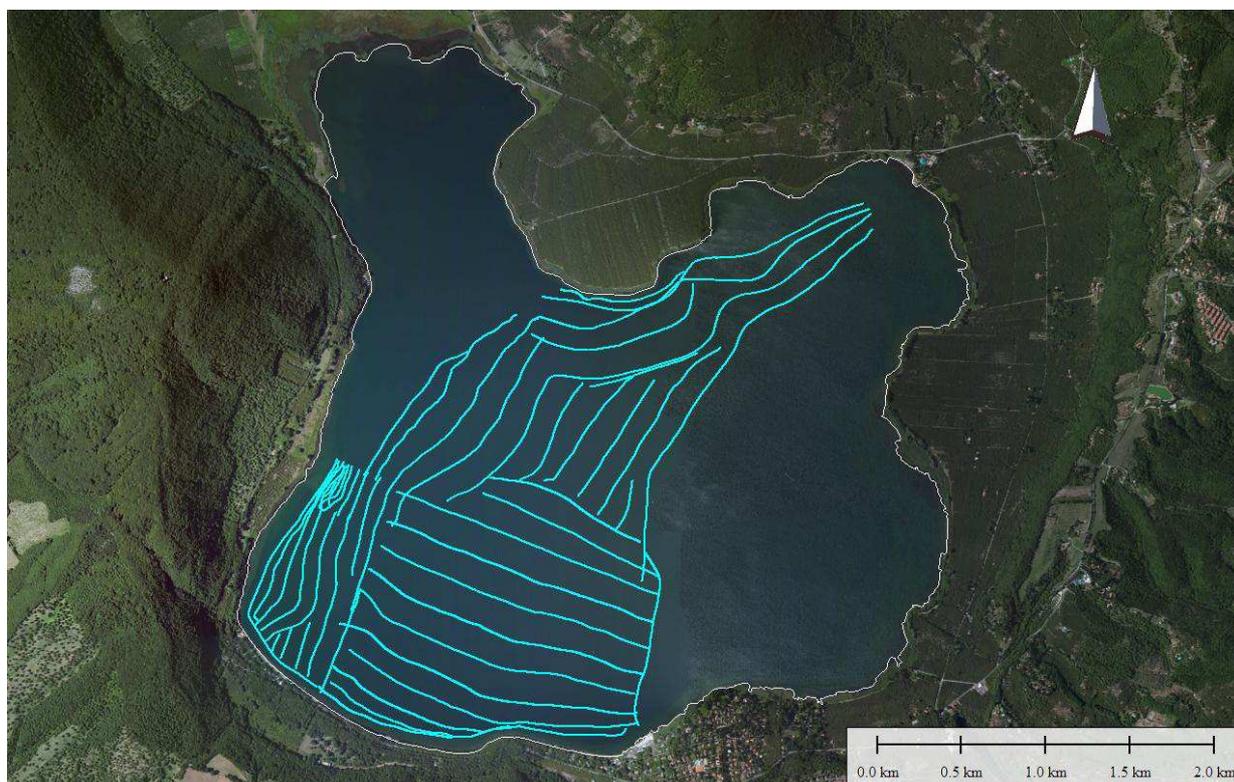


Figura 7 – Mappa di navigazione dell'acquisizione batimetrica

3. Elaborazione e restituzione dei dati batimetrici

I dati acquisiti sono stati processati con il software PDS2000, utilizzando il modulo Editing, che permette di agire sia sui dati di navigazione che su quelli batimetrici. Nella finestra Positioning si visualizza il dato di navigazione ed è possibile eliminare, interpolare o spostare i punti errati dovuti a salti del segnale GPS ed assegnare così ad ogni lettura del fondo la posizione corretta; nel caso della acquisizione in oggetto non sono stati riscontrati errori di posizionamento. I punti acquisiti sono visualizzati nella finestra Multibeam Area Editing che permette di caricare contemporaneamente più linee di navigazione ed evidenziare così le letture errate ed eliminarle in modo manuale. Il dato così processato è stato utilizzato per creare un Modello Digitale del Terreno (DTM), associando ad ogni cella un valore di profondità ricavato dalla media di tutte le letture che cadono nella singola cella. La figura 8 mostra il DTM finale dell'area acquisita, mentre nella figura 9 sono visualizzate le isobate con intervallo batimetrico di 2 metri.

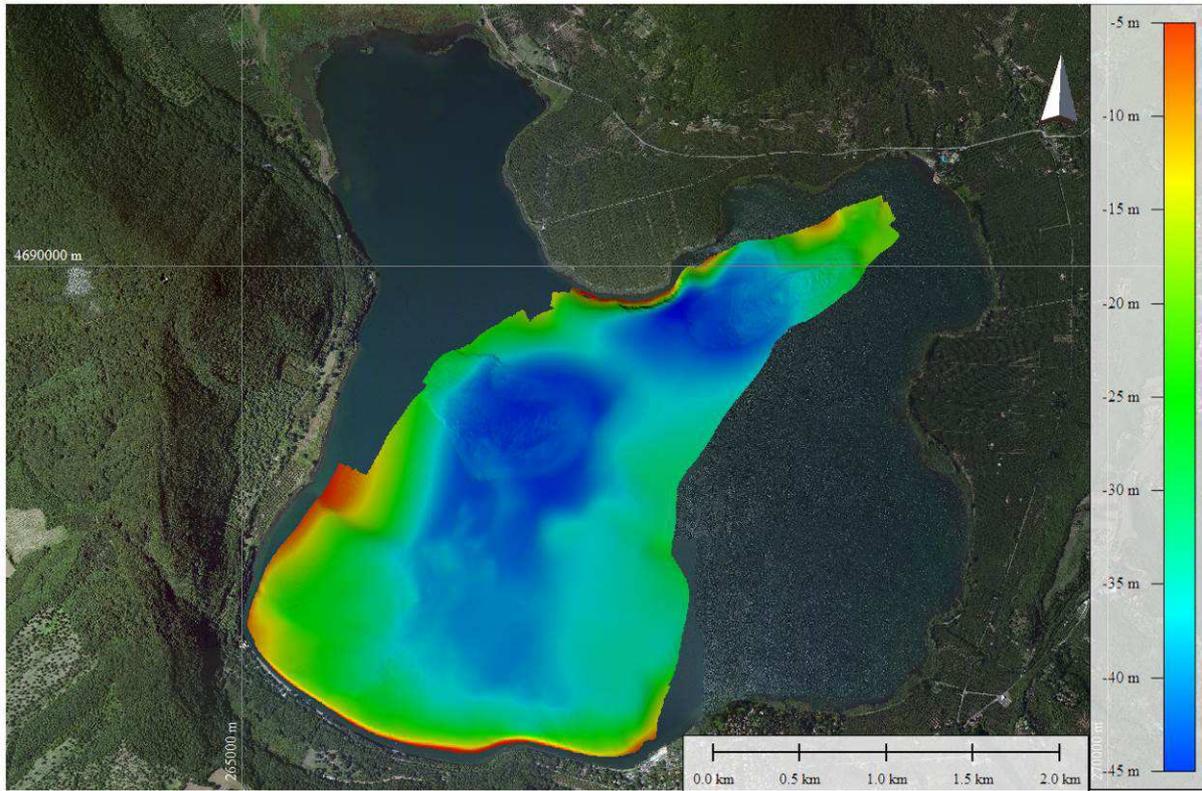


Figura 8 – DTM a 1 m di risoluzione dell'area totale acquisita con il Reson Seabat 7125 (WGS84, UTM33N)

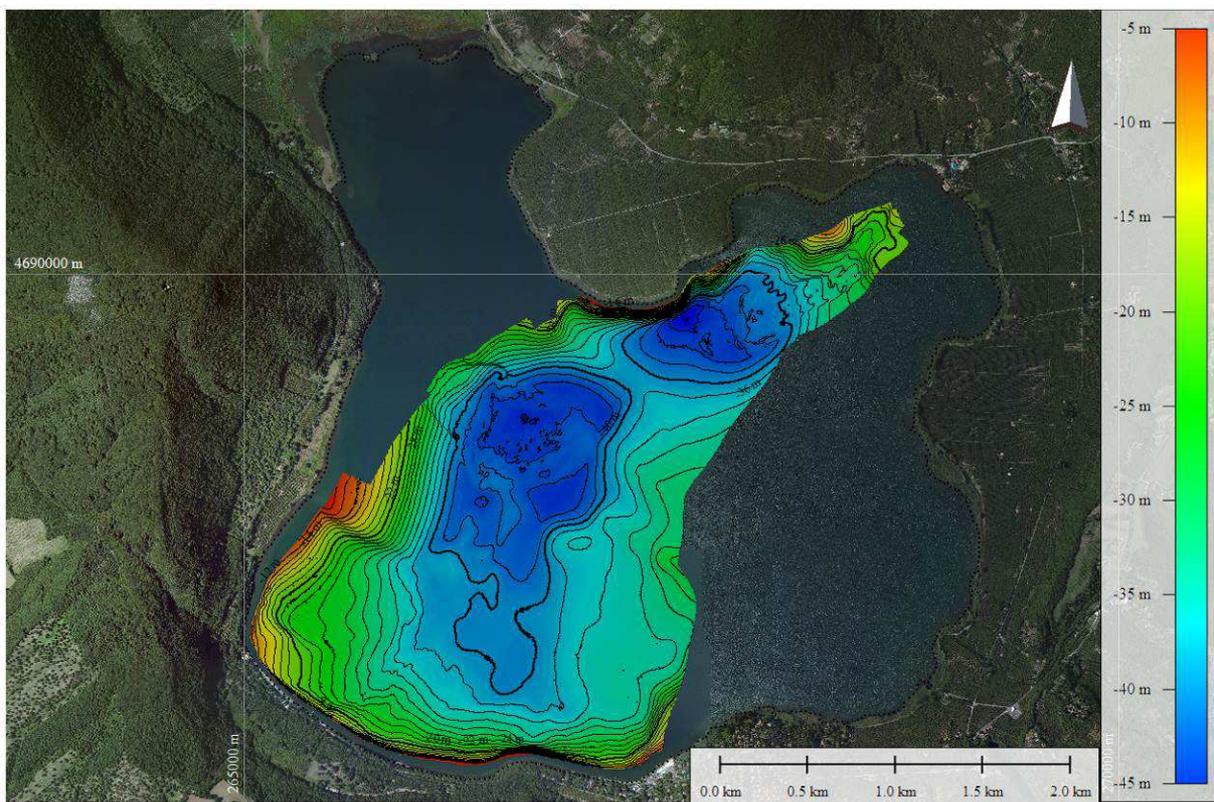


Figura 9 – Isobate con intervallo batimetrico di 2 m

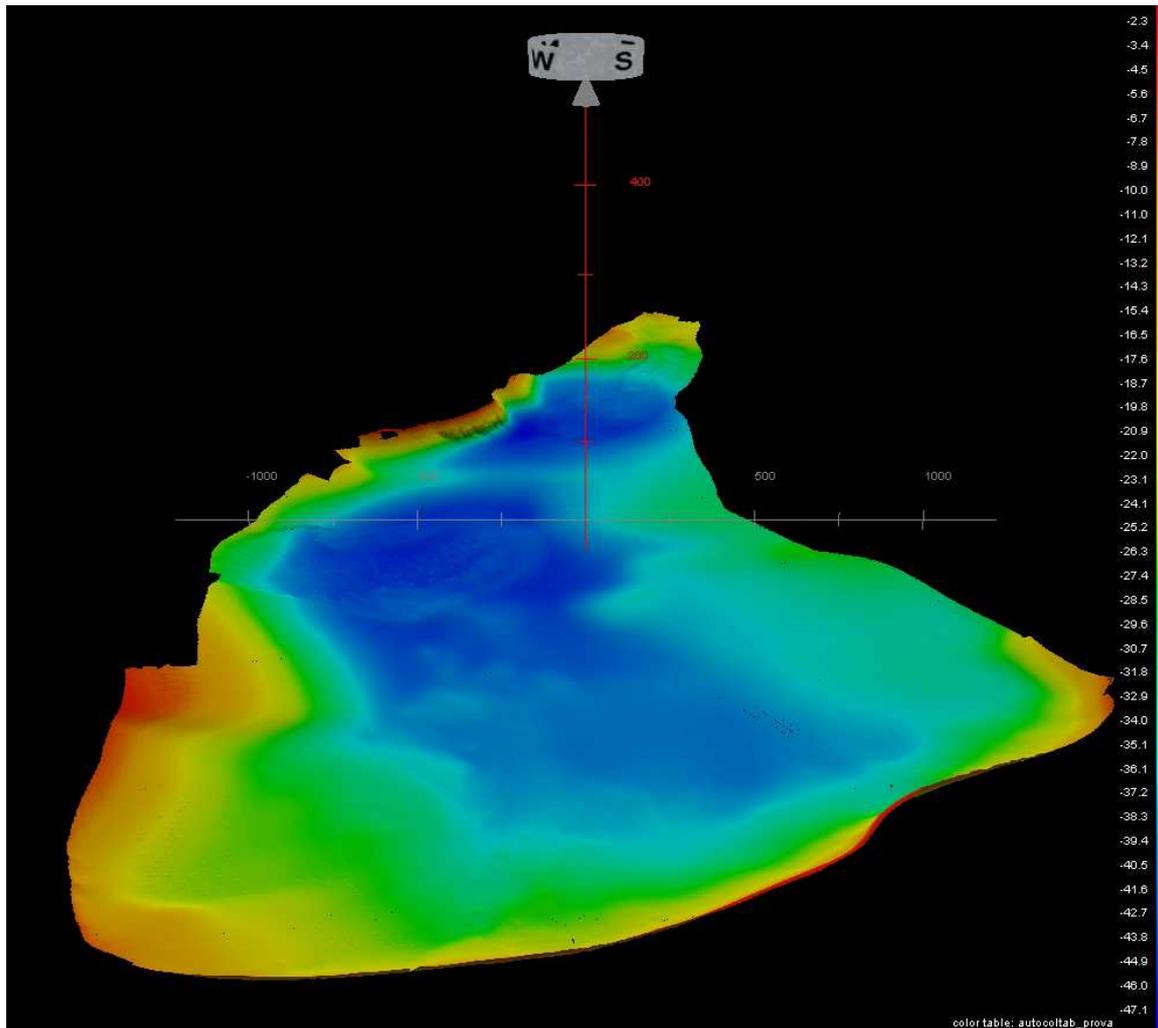


Figura 10 – Visualizzazione tridimensionale del settore batimetrico acquisito

Oltre all'elaborazione batimetrica, è stato eseguito un processing del dato di backscatter del Seabat 7125. Quando un'onda acustica emessa incontra un mezzo con una diversa impedenza acustica, viene in parte riflessa, in parte trasmessa e in parte dispersa; la quantità di energia dell'onda retrodiffusa al ricevitore è chiamata *backscatter strength*, o più semplicemente backscatter. Questo dato è dipendente dalla tessitura, dalla densità e dalla rugosità del fondo. Come si può vedere dalla Tabella 1, l'assorbimento dell'onda aumenta al diminuire della classe granulometrica. Questa caratteristica dell'onda, da la possibilità di realizzare dei mosaici acustici, le cui facies restituiscono informazioni sul tipo di substrato presente.

ASSORBIMENTO ↓

| Sedimento | Granulometria mm | ρ Kg/m ³ | v m/s | Impedenza |
|-------------------|---------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| Roccia | >256 | 4200 | 1907 | 5134090 |
| Ciottoli | >64 | 2350 | 1874 | 4109130 |
| Sabbia grossolana | >1 | 2030 | 1836 | 3727080 |
| Sabbia fine | >0.125 | 1980 | 1742 | 3449160 |
| Silt sabbioso | >0.031 | 1560 | 1552 | 2421120 |
| Silt | >0.0078 | 1430 | 1535 | 2195050 |

Tabella 1 - L'assorbimento dell'onda acustica aumenta al diminuire delle dimensioni dei granuli

Per realizzare un mosaico acustico del fondo è stato elaborato, con il software Caris Hips&Sips v.7. 0, l'Opzione Side del Seabat 7125. Nella Figura 11 è visualizzato il mosaico ottenuto (20 cm di risoluzione), in scala di grigio. Nel dettaglio della figura 12 si possono notare le aree che presentano maggiore riflettività, che sono risultate poi essere alghe, come sarà spiegato nel paragrafo delle indagini dirette. Altre zone con maggiore riflettività, corrispondono ad aree rocciose sub-affioranti. Per il resto il lago presenta un fondale per lo più omogeneo, senza particolari variazioni litologiche.

Infine si segnala solo un'area circolare in cui è presente una forte riflettività, visibile sempre in Figura 12, di circa 23 metri di diametro, a cui non corrisponde nessuna particolare struttura morfologica, ma solo una leggera variazione di pendenza.

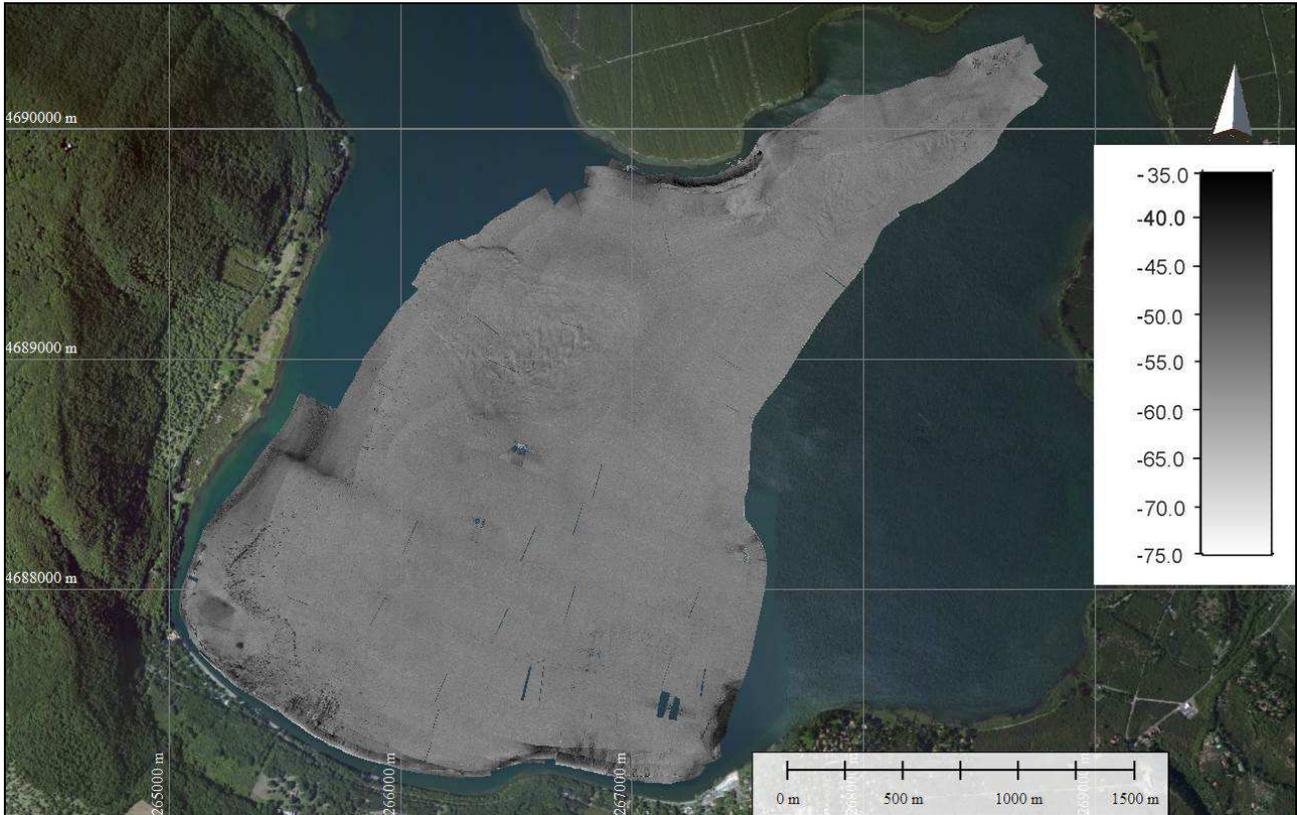


Figura 11 – Mosaico acustico del fondo a 20 cm di risoluzione dell'area totale acquisita con il Reson Seabat 7125 (WGS84, UTM33N)

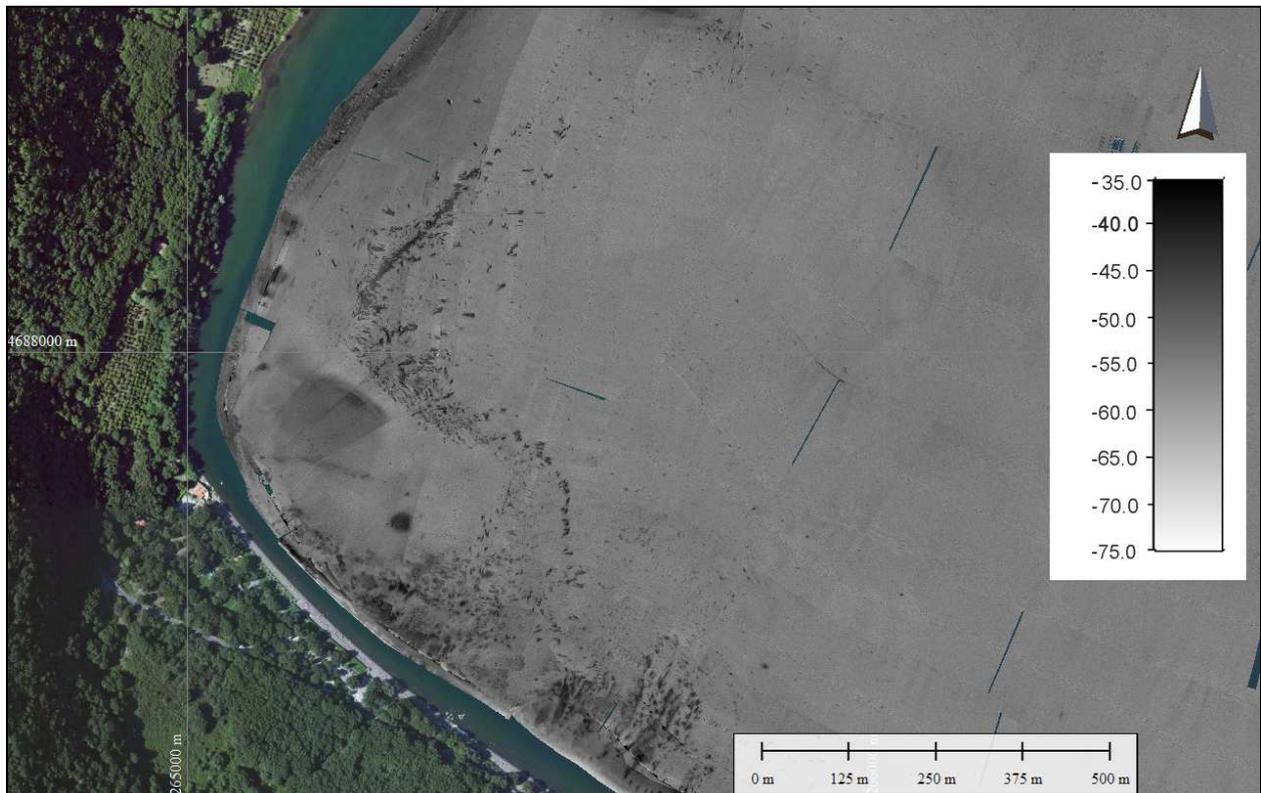


Figura 12 – Ingrandimento del mosaico acustico

4. Indagine magnetometrica

L'indagine magnetometrica effettuata nel Lago di Vico consiste nel misurare il campo magnetico terrestre in superficie e individuare eventuali anomalie del campo legate ad effetti prodotti da materiali ferromagnetici.

Molte rocce, contenendo una quantità variabile di minerali magnetici e presentano un certo grado di magnetizzazione. Le differenze di suscettività magnetica tra le varie rocce e, di conseguenza, le differenze dell'intensità di magnetizzazione produrranno degli effetti differenti misurabili in superficie. Dalle variazioni del campo magnetico è possibile risalire ad informazioni sulle strutture sotterranee che le hanno provocate.

4.1 Cenni sul campo magnetico terrestre

Il campo magnetico è una grandezza vettoriale essendo, in ogni punto, definita dall'intensità, dalla direzione e dal verso.

Il campo magnetico terrestre può essere descritto in termini di declinazione, inclinazione e intensità del campo magnetico \vec{F} . Il campo magnetico terrestre ha le linee di forza entranti nella Terra nell'emisfero Nord e uscenti in quello Sud; quindi, un ago sospeso lasciato libero di ruotare, al polo Nord punterà verso il basso, al polo Sud verso l'alto e all'equatore giacerà orizzontale. L'ago si allineerà quindi lungo il vettore \vec{F} . L'angolo che l'ago forma con il piano orizzontale è detto inclinazione magnetica: è cioè l'angolo che il vettore F forma con il piano orizzontale. L'angolo tra la componente orizzontale H ed il Nord geografico è la declinazione (figura 13). L'intensità del campo magnetico terrestre varia con la latitudine, da un minimo di circa 20000 nT all'Equatore a circa 70000 nT ai poli. Alle nostre latitudini il campo ha un'intensità di circa 45000 nT.

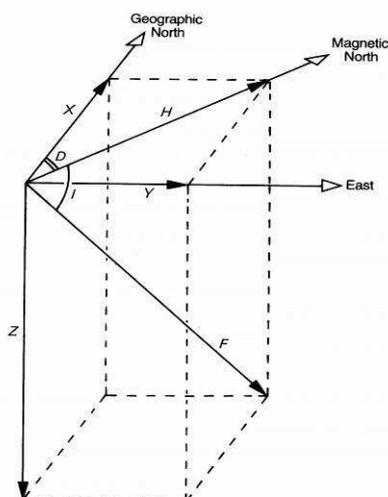


Fig. 13- Declinazione e inclinazione del campo magnetico terrestre

Il campo magnetico terrestre che si misura in superficie è il risultato della sovrapposizione di contributi aventi origine diversa:

- Campo principale o campo nucleare, generato nel nucleo esterno tramite il meccanismo già accennato di geodinamo; rappresenta circa il 99% del campo magnetico osservato in superficie.
- Campo crostale, generato dalle rocce magnetizzate presenti nella crosta terrestre tra la superficie terrestre e l'isoterma di Curie, la temperatura al di sopra della quale una sostanza perde la capacità di magnetizzarsi. Tale temperatura per la magnetite è di circa 580°C che, in un regime geotermico normale, viene raggiunta a circa 1920 km di profondità.
- Campo esterno, generato da correnti elettriche nella ionosfera e nella magnetosfera per l'interazione tra vento solare e campo geomagnetico e nell'atmosfera per le scariche elettriche (fulmini) specie nelle zone tropicali.

Il campo magnetico terrestre in prima approssimazione può essere considerato un campo dipolare, anche se esiste una componente non dipolare non trascurabile. E' possibile rappresentare, attraverso uno sviluppo in serie di armoniche sferiche, il campo magnetico terrestre come la somma di diversi termini. Il primo termine è quello dipolare, che costituisce oltre il 90% di tutto il campo e decresce con il cubo della distanza. Gli altri sono termini additivi che decrescono via via sempre più con la distanza. Se ci allontaniamo dalla Terra, il campo geomagnetico sarà quindi attenuato, ma sempre più simile a quello dipolare.

Dall'analisi spettrale del campo magnetico terrestre si mettono infatti in evidenza componenti a grandi lunghezze d'onda, relative a sorgenti profonde (nucleo), e componenti a più piccole lunghezze d'onda, relative a sorgenti superficiali (crosta). Da ciò si è dedotto che, come detto prima, il campo misurato si può considerare la somma di un campo nucleare, che consideriamo il campo principale, e di un campo crostale. L'IGRF (International Geomagnetic Reference Field) è un modello globale del campo geomagnetico e vuole rappresentare il contributo del solo campo principale. La differenza tra il campo IGRF e quello realmente misurato rappresenta l'anomalia magnetica, ossia la deviazione rispetto all'andamento teorico del campo principale.

4.2 Variazioni temporali

Il campo magnetico terrestre subisce continue variazioni nel tempo più o meno complesse, che si possono distinguere in due categorie: di origine interna o di origine esterna rispetto alla superficie terrestre. Applicando un'analisi in armoniche sferiche alle variazioni del campo magnetico terrestre, si è trovato che le variazioni a corto periodo sono di origine esterna (i.e. macchie solari, riscaldamento diurno e raffreddamento notturno, interazioni ionosfera-Luna, tempeste magnetiche), mentre quelle a grande periodo sono invece di origine interna; quindi, con il termine variazione di origine interna si usa indicare

tutte le variazioni del campo che si verificano in periodi di tempo compresi fra poco più di una decina di anni e qualche decina di migliaia di anni.

4.3 Magnetizzazione delle rocce e dei sedimenti

La magnetizzazione delle rocce terrestri è estremamente variabile e può essere acquisita in molti modi.

Qualsiasi sostanza risponde all'azione di un campo magnetico, in quanto è costituita da atomi e quindi da protoni, neutroni ed elettroni. Questi ultimi sono cariche elettriche che movendosi, generano un campo magnetico. Gli elettroni orbitano intorno al nucleo e ruotano attorno al proprio asse. Ogni elettrone è quindi caratterizzato da due momenti magnetici: un momento magnetico orbitale ed un momento magnetico di spin. Gli elettroni si comportano come piccoli magneti sotto l'azione di un campo esterno ed ogni atomo agisce come un dipolo elementare. Se gli atomi sono in disordine i loro campi interferiscono e si annullano.

Tutte le sostanze sono magnetiche a livello atomico e possono essere classificate in due tipi.

Sostanze diamagnetiche. Gli atomi di queste sostanze hanno il guscio elettronico completo. I momenti magnetici di spin sono uguali e opposti per ogni orbitale e si annullano. I momenti magnetici legati agli orbitali, in assenza di campo magnetico esterno, sono orientati casualmente. Sotto l'azione di un campo esterno subiscono invece un moto di precessione che produce un campo indotto in direzione opposta a quello inducente. Il moto degli elettroni tende quindi ad annullare il campo applicato. La suscettività (magnetizzazione acquisita per unità di campo) è negativa, molto bassa e la magnetizzazione si annulla al cessare del campo esterno.

Sostanze paramagnetiche. Gli atomi di queste sostanze hanno un guscio elettronico incompleto: ogni atomo ha un momento magnetico di spin diverso da zero. In assenza di campo esterno l'effetto risultante è nullo, per la casualità dell'orientazione. Se è presente un campo esterno, il moto di precessione orienterà i momenti magnetici nella stessa direzione del campo applicato. La suscettività è positiva, più forte che nelle sostanze diamagnetiche e decresce al crescere della temperatura. Anche in questo caso, al cessare dell'azione del campo esterno, la magnetizzazione scompare.

Il campo magnetico generato da sostanze paramagnetiche e diamagnetiche è molto basso, e non è misurabile con i normali magnetometri usati per l'esplorazione geofisica.

In alcune sostanze paramagnetiche, si producono forze, dimostrabili in meccanica quantistica, che portano ad un allineamento dei momenti in distinte regioni (domini) della struttura cristallina.

Nelle *sostanze ferromagnetiche* i momenti dei domini sono allineati nella stessa direzione, producendo una forte magnetizzazione che può sussistere anche in assenza di campo esterno. La suscettività è molto grande. Sostanze che hanno questo comportamento sono il ferro puro, il nichel ed il cobalto.

Nelle sostanze antiferromagnetiche i domini magnetici adiacenti sono di uguale intensità ma allineati in senso opposto, con momento risultante nullo. La suscettività è molto bassa e simile a quella delle sostanze paramagnetiche. Ha questo comportamento l'ematite.

Le *sostanze ferrimagnetiche* hanno domini magnetici adiacenti orientati in senso opposto, ma i momenti in una direzione sono più grandi che nell'altra, producendo un momento risultante diverso da zero. Queste sostanze hanno suscettività di diversi ordini di grandezza superiore a quella delle sostanze diamagnetiche e paramagnetiche, e possono avere una magnetizzazione anche in assenza di campo esterno. La magnetite è una sostanza ferrimagnetica. La magnetizzazione di una roccia è dovuta generalmente alla presenza di minerali ferrimagnetici. Quando questi si trovano ad una temperatura inferiore a quella di Curie, gran parte dei domini si allineano in direzione del campo ambientale. Questo produce una magnetizzazione permanente, che persiste anche in assenza di campo esterno.

4.4 Anomalie magnetiche

Lo studio delle anomalie magnetiche, ovvero delle variazioni del campo magnetico terrestre di origine crostale, costituisce un metodo geofisico di enorme utilizzo per le indagini sulla struttura profonda di una determinata zona. Una mappa di anomalie magnetiche è il risultato della somma dei campi magnetici associati alla magnetizzazione delle sorgenti presenti nella crosta terrestre. Dall'analisi delle anomalie è possibile risalire ai parametri dei corpi sorgente, determinandone il contrasto di suscettività con le rocce incassanti, l'estensione laterale e la profondità.

Nel trattare i dati magnetici è necessario tener conto che il campo magnetico è dipolare, e di conseguenza la forma dell'anomalia sarà dipendente dalla latitudine. Una stessa sfera dotata di un contrasto di magnetizzazione positivo, avente magnetizzazione rimanente di bassa intensità o allineata nella stessa direzione del vettore di magnetizzazione produrrà le seguenti anomalie:

- un'anomalia con un massimo in corrispondenza del centro della sfera ai poli;
- un'anomalia con un minimo in corrispondenza del centro della sfera all'equatore;
- un'anomalia con un massimo sul lato Sud della sfera ed un minimo sul lato Nord nell'emisfero Nord;
- un'anomalia con il massimo sul lato Nord della sfera ed il minimo su quello Sud nell'emisfero Sud.

Alle nostre latitudini (60° N) un'anomalia dalla forma "normale" ha un allineamento massimo-minimo approssimativamente N-S e, per un contrasto di magnetizzazione positivo, un rapporto massimo-minimo tra 2 e 5. Infine è da sottolineare che esiste una proporzionalità tra la profondità della sorgente e l'estensione superficiale dell'anomalia. La stessa sorgente, posta a profondità differenti, produrrà anomalie estese e relativamente poco intense se è molto profonda, ed anomalie poco estese ma a volte

relativamente molto intense se è superficiale. Quindi la lunghezza d'onda dell'anomalia cresce, mentre la sua ampiezza decresce, all'aumentare della profondità della sorgente.

5. Acquisizione magnetometrica

Il giorno 23 è iniziato il rilievo magnetometrico con il magnetometro Geometrics G882 (Fig.14), trainato a poppa dell'imbarcazione e mantenuto a 10 metri di altezza dal fondo (Fig. 15), le cui specifiche tecniche sono indicate in tabella 2.



Figure 14 – Magnetometro utilizzato e trainato a poppa dell'imbarcazione

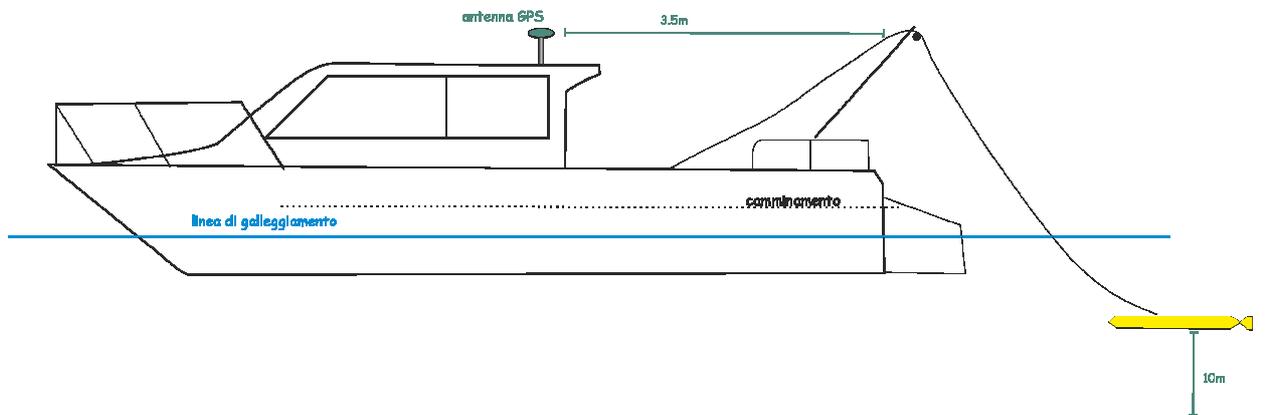


Figura 15 – Schema dell'acquisizione effettuata con il magnetometro, mantenuto sempre a 10 m di distanza dal fondo, in modo da garantire una misurazione corretta dei suoi valori magnetici. La distanza dell'antenna GPS al verricello è pari a 3.5 m.

Il magnetometro utilizzato per l'acquisizione è costituito da tre elementi principali: un emettitore di fotoni, una camera contenente vapore di cesio ed un cuscino gassoso che avvolge i primi due. Il principio operativo si basa sul fatto che un atomo di cesio può esistere in tutti e sei livelli energetici (le allocazioni dette "orbitali elettronici" intorno al nucleo atomico). Quando un atomo di cesio all'interno della camera incontra un fotone proveniente dall'emettitore salta ad uno stato energetico più elevato e, quindi, emette il fotone, ricadendo ad uno stato d'energia più basso. Questo passaggio viene utilizzato per la calibrazione del magnetometro. Successivamente, quando il sensore viene esposto al campo magnetico terrestre, quanti di

energia (in quantità proporzionale all'intensità del campo) producono salti negli orbitali elettronici, le cui ricadute producono emissioni energetiche misurabili.

| | |
|-----------------------------|---------------------|
| Sensibilità standard | Alta sensibilità |
| Sensività | Fino a 0.01 nT |
| Range delle operazioni | 20,000 a 100,000 nT |
| Errore della direzione | ± 0.1 gamma |
| Intervallo di campionamento | 1sec |

Tabella 2 – Specifiche tecniche del magnetometro Geometrics G882

Tutte le operazioni sono state interrotte il giorno 25 per un peggioramento delle condizioni meteo che impedivano una corretta acquisizione del dato. E' stato possibile riprendere e concludere i lavori di acquisizione magnetometrica il giorno 28 Novembre.

La figura 16 mostra la carta di navigazione magnetometrica. Durante la navigazione sono stati acquisiti circa 134,53 Km di dati magnetici. Come da specifiche, nel settore a sud il grigliato di acquisizione è stato più fitto per avere una maggiore copertura del dato. Inoltre, per avere garanzia che lo strumento funzionasse e restituisse una risposta magnetometrica in presenza di materiale metallico, sono stati eseguiti due rilievi in corrispondenza delle condotte di captazione dell'acqua (Fig.17).



Figure 16 – Navigazione dell'acquisizione magnetometrica.

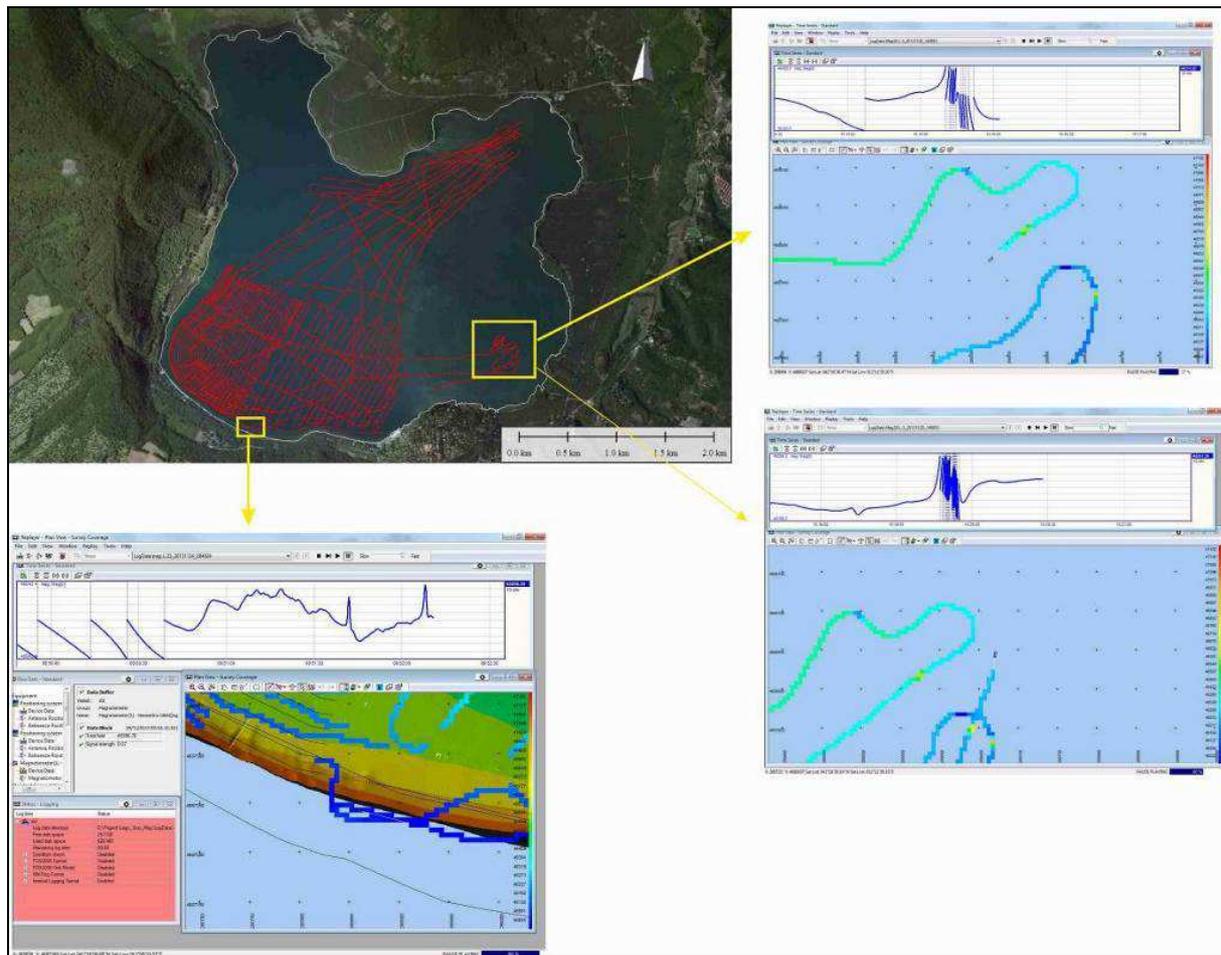


Figure 17– Per avere la certezza del corretto funzionamento del magnetometro, sono state effettuate due acquisizioni in corrispondenza delle linee di captazione dell’acqua. La risposta è stata positiva in quanto sul sistema di acquisizione sono stati visualizzati subito i picchi magnetometrici, anche quando si era ad una distanza di circa 20 m dal target, come si può notare nel quadrante in basso a sinistra.

6. Elaborazione dei dati magnetometrici

6.1 Correzione dell’offset

In caso di rilievi con il magnetometro a traino (in questo caso marini) è necessario correggere gli errori di posizionamento. I dati di posizionamento, registrati dai programmi di navigazione, sono riferiti al punto, sulla nave, in cui si trova l’antenna del segnale GPS. Il magnetometro è invece trainato da un cavo ad una certa distanza dalla nave, per minimizzare disturbi legati al campo magnetico della nave stessa. E’ necessario quindi sottrarre alle coordinate del GPS i metri di cavo filato più i metri che separano il verricello dall’antenna. Il magnetometro si trova ad una certa profondità dalla superficie, quindi la lunghezza del cavo sarà in realtà differente dalla distanza orizzontale superficiale (fig.18). Se però il magnetometro si trova a piccole profondità ed il cavo è molto lungo, lo scarto tra distanza superficiale e lunghezza del cavo è

trascurabile. Attraverso questa operazione si riporta il dato magnetico nel punto in cui è stato realmente registrato.

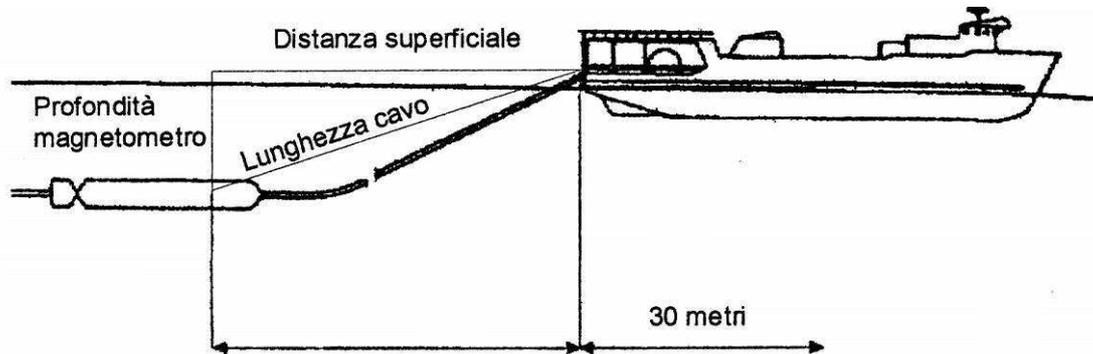


Figura 18 - Schema del sistema di acquisizione di dati magnetici marini

6.2 Levelling

Per eliminare gli errori dovuti alle variazioni del campo magnetico nel tempo si è effettuato un *levelling*. Il *levelling* consiste nel rimuovere dai dati le variazioni magnetiche a corto periodo minimizzando i valori di *miss-tie*. Per effettuare ciò si è programmato il rilevamento lungo una serie di linee che si intersecano. Si avranno delle linee principali (*survey lines*) che intersecano a 90° delle linee secondarie (*tie lines*), per ottenere in un set di punti di intersezione con una doppia lettura del campo magnetico. Normalmente i valori agli incroci tra le *survey* e le *tie lines* non coincidono, a causa della variazione diurna. Le differenze tra i due set di linee agli incroci sono chiamati *miss-ties*. I *miss-ties* sono legati alle variazioni diurne del campo magnetico, ma anche ad errori di navigazione, alla deriva del magnetometro ed al rumore casuale.

Tradizionalmente il primo passo consiste nel produrre uno *zero order network adjustment*, nel quale i dati lungo le linee principali e secondarie vengono spostati in alto o in basso per minimizzare i valori di *miss-tie*. Successivamente si livellano le *tie lines* sottraendo per ciascuna linea una funzione che approssima i valori di *miss-tie*. Le linee principali sono quindi livellate rispetto alle *tie lines* corrette.

6.3 Boundary analysis

Un passo fondamentale nell'interpretazione delle anomalie magnetiche consiste nel localizzare i margini laterali che delimitano i corpi sorgente. Si tratta di operazioni che si basano su un'esaltazione del segnale. Attualmente le tecniche più utilizzate sono il segnale analitico e la derivata orizzontale del campo magnetico. Assunzione comune ad entrambi i metodi è che i contrasti tra corpo sorgente e rocce incassanti siano bruschi e quasi verticali, altrimenti i margini determinati risulteranno spostati verso la direzione di

immersione, in misura proporzionale all'inclinazione ed alla profondità. Questi effetti sono piccoli e diventano trascurabili nei rilievi a scala regionale.

6.3.1 Segnale analitico

Il segnale analitico è una funzione complessa che fa uso delle proprietà della trasformata di Hilbert; è costituito dalla somma dei gradienti orizzontali e verticali del campo potenziale. L'ampiezza del segnale analitico è una funzione simmetrica a forma di campana, localizzata sopra il margine della struttura:

$$A(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2}$$

Ad un massimo di ampiezza del segnale analitico corrisponde un margine del corpo sorgente. Questa tecnica presenta il vantaggio di risultare indipendente dalle direzioni del vettore di magnetizzazione del corpo sorgente e del vettore del campo magnetico terrestre. Il campo potenziale misurato è la somma degli effetti dovuti a tutte le sorgenti; la presenza di sorgenti ravvicinate produce interferenze che possono portare a localizzazione dei margini spostati rispetto alla sorgente.

L'equazione precedente può essere estesa al caso 3-D. Il segnale analitico di ordine n sarà (Hsu et al. 1996):

$$A_n(x, y) = \frac{\partial}{\partial h} \left(\frac{\partial^n G}{\partial z^n} \right) \hat{x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^n G}{\partial z^n} \right) \hat{y} + i \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial^n G}{\partial z^n} \right) \hat{z}$$

e la sua ampiezza:

$$|A_n(x, y)| = \sqrt{(\nabla^n G_x)^2 + (\nabla^n G_y)^2 + (\nabla^n G_z)^2}$$

dove $\nabla^n = \partial^n / \partial z^n$.

Di solito si usano le ampiezze del segnale analitico semplice nelle posizioni dei massimi del segnale analitico "esaltato". Gli effetti di interferenza sono comunque meno evidenti nei valori di picco, e la stima della

profondità sarà di conseguenza piuttosto buona. I massimi di ampiezza del segnale analitico sono dipendenti dal parametro ambientale α e di conseguenza dall'intensità e dall'inclinazione del campo magnetico e dall'allungamento del corpo. Per un dato margine, l'ampiezza del segnale analitico sarà più piccola se il corpo è vicino all'equatore o se è allungato parallelamente al Nord magnetico. Bisogna fare dunque molta attenzione nel localizzare i margini di sorgenti di anomalie magnetiche.

6.4 Processing dei dati di Vico

Il processing dei dati analizzati in questa campagna di acquisizione ha permesso di ricostruire una carta magnetica di dettaglio del Lago di Vico (VT).

Il primo passo nel processing dei dati magnetici del Lago di Vico è stato quello di eliminare gli zeri presenti nella colonna dei dati magnetici, provocati probabilmente da un cattivo funzionamento del magnetometro. Questa fase preliminare è inoltre necessaria per poter eseguire le correzioni del campo per la distanza tra magnetometro e sistema di posizionamento e per la variazione diurna. La prima permette di riportare il dato nella giusta posizione spaziale. La seconda permette di eliminare, almeno parzialmente, le componenti del campo variabili nel tempo, per poter correlare una variazione del campo con la presenza di una sorgente magnetizzata nella crosta terrestre.

Successivamente si è proceduto ad una correzione del campo magnetico nel tempo attraverso il processo di levelling. Infine, sulla mappa magnetica ottenuta (Fig.19) è stata effettuata un'operazione di boundary analysis (segnale analitico) per esaltare la forma dell'anomalie individuate (Fig. 20).

In questo caso particolare, la riduzione al polo non è stata effettuata per non incorrere in errate valutazioni dell'anomalie magnetiche presenti nell'area data la presenza di rocce vulcaniche con forte magnetizzazione rimanente.

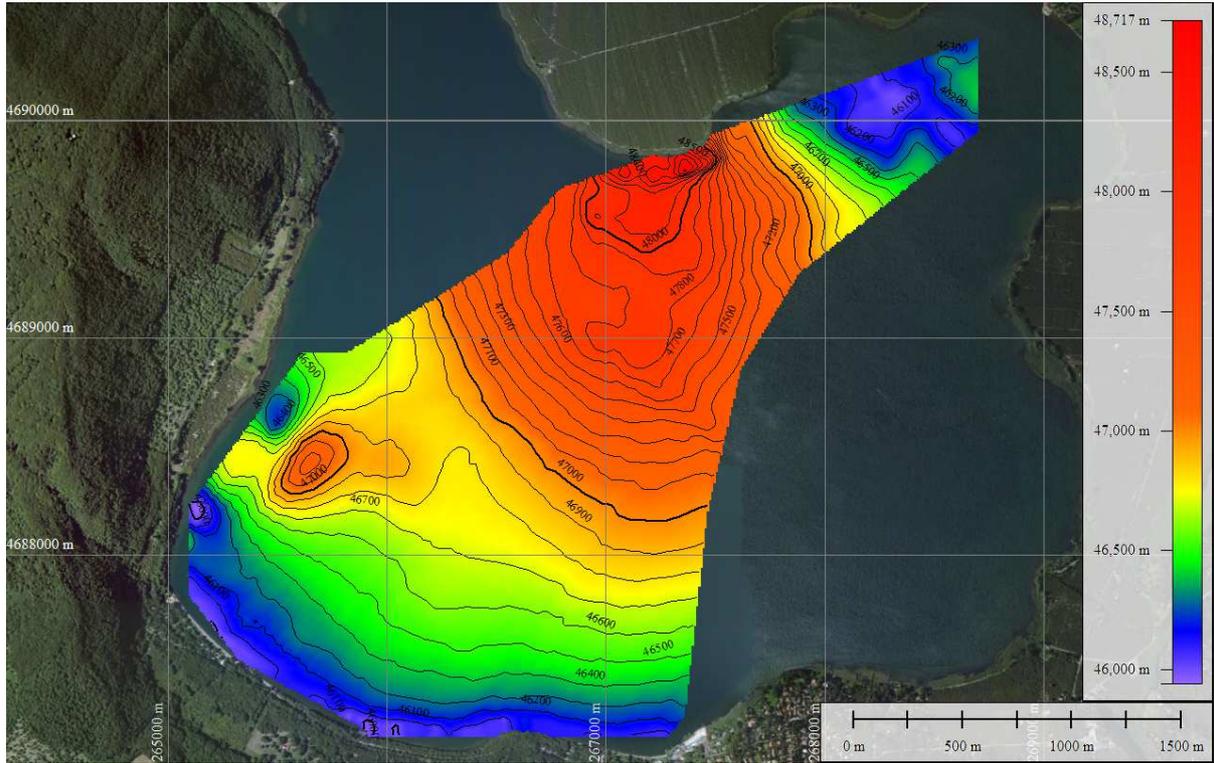


Figure 19 - Mappa magnetica ottenuta

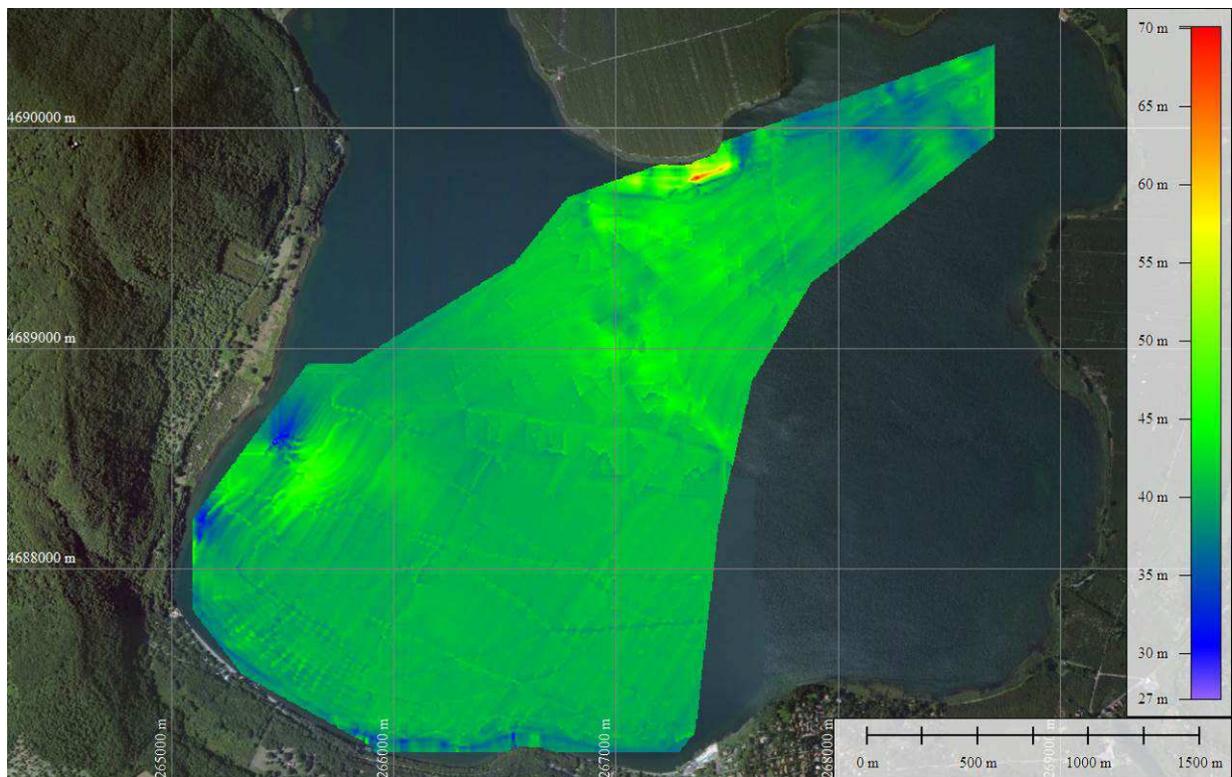


Figure 20 - Mappa del segnale analitico

7. Indagini dirette

Il giorno 29 Novembre è stato dedicato all'acquisizione con una telecamera subacquea di alcuni target che erano stati individuati sulla acquisizione batimetrica, ma che non avevano dato, almeno durante l'acquisizione, una risposta di tipo magnetometrica. La Figura 21 mostra i punti scelti per l'acquisizione di immagini video con telecamera subacquea, sulla base delle informazioni batimetriche. Tutti i target sono risultati essere una particolare specie di alga molto diffusa nei laghi dell'Italia centrale (Fig. 22), ma che a queste profondità (circa 20 m) forma piccoli areali in rilievo che sono visibili come ostacoli sulla morfobatimetria.

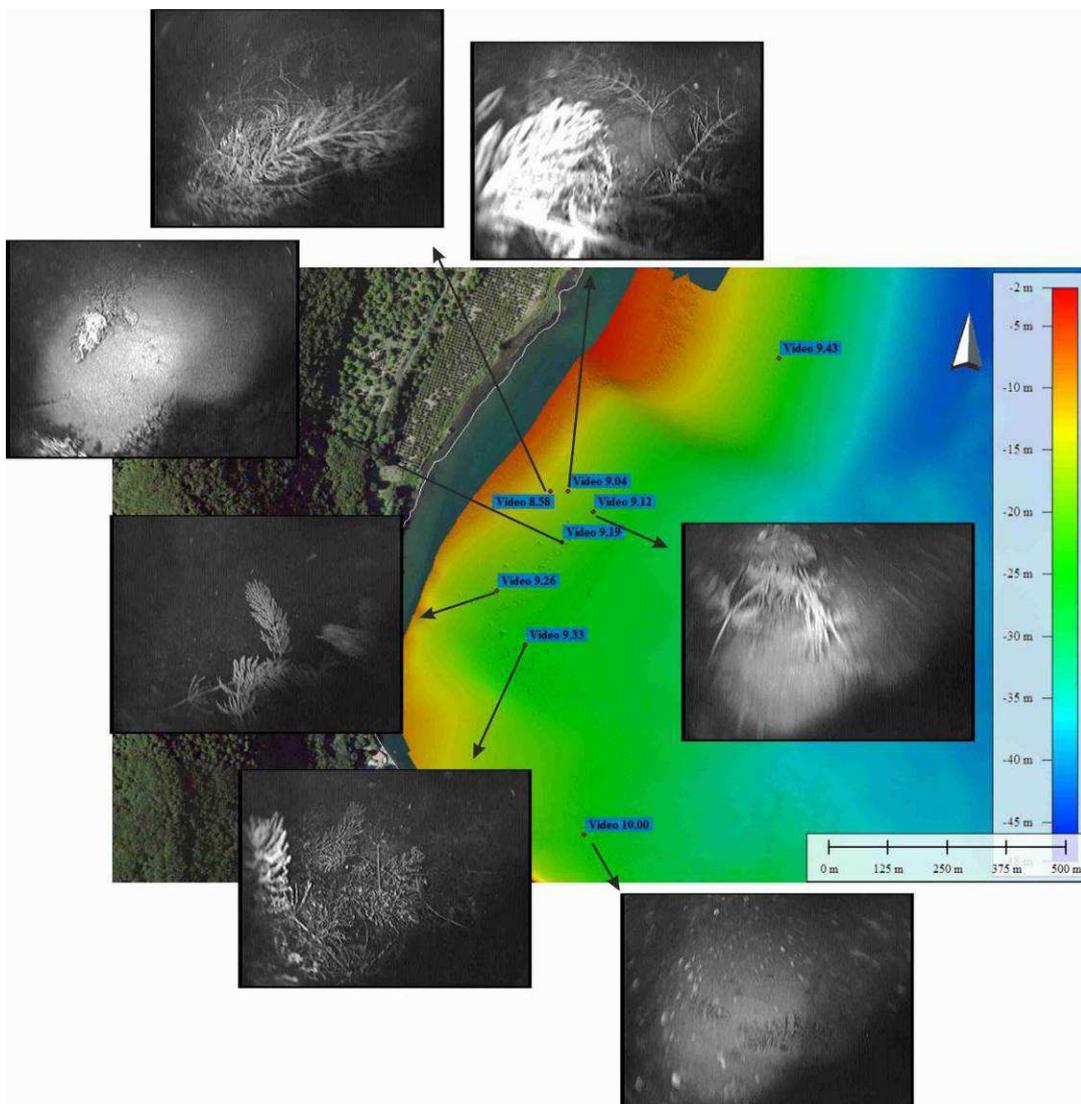


Figure 21 – Riprese video di target sul fondo individuati sui dati batimetrici per i quali non si è avuta risposta magnetometrica. Le riprese con telecamera subacquea hanno evidenziato la presenza di alghe.



Figure 22 – Le alghe visibili negli scatti ottenuti dai filmati possono essere riferite al genere *Chara* (nella rappresentazione iconografica qui riportata la specie *hispida*).

Conclusioni

Le attività svolte dall' Istituto per l'Ambiente Marino Costiero IAMC-CNR relative alla Convenzione di consulenza tecnico-scientifica stipulata tra ARPA Lazio e l'IAMC-CNR hanno permesso di ottenere informazioni batimetriche e magnetiche nel bacino del lago di Vico.

L'area indagata risulta pari a 5.8 Km², corrispondente al 48.5 % della superficie totale dello specchio d'acqua (11.9 Km²); quindi, per quanto non sia totale, l'indagine ha comunque coperto, rispettivamente:

- Il 57 % dell'area con profondità > 5 m (5823568 m2 su 10221070 m2)
- Il 64.5 % dell'area con profondità > 10 m (5823568 m2 su 9027257 m2)
- Il 76 % dell'area con profondità > 15 m (5823568 m2 su 7657881 m2).

Le elaborazioni del dato batimetrico mostrano un andamento concavo del fondale omogeneo dai bordi verso le due aree più profonde, rispettivamente di 45 e di 48 metri. L'omogeneità del fondale è rotta da due frane, una prospiciente la località "le Pantanacce" (Fig. 23) e l'altra prospiciente la località Bella Venere (Fig 24). La prima è disposta in direzione Nord-Ovest Sud-Est e mostra depositi sub-circolari di 700 metri di diametro in cui l'accumulo è allineato nella parte distale in modo da formare una losanga in appoggio alla sponda opposta. Nella parte prossimale sono presenti strutture da trazione che possono indicare movimenti differenziali lungo lo spessore della frana e il settore ad est è stato deviato da un rialzo preesistente. L'origine della frana sembra essere subacquea perché non si riconoscono a terra strutture fresche ascrivibili a fenomeni franosi.

L'altra frana situata nel settore Est presenta come la precedente una parte erosiva prossimale in cui è riconoscibile il canale erosivo, da cui probabilmente deriva il materiale, e una parte distale in cui, i pochi materiali accumulati, formano una sorta di piccola conoide. La parte prossimale di questa frana si allinea

con una conoide di falda non molto accentuata i cui movimenti potrebbero essere stati la genesi della frana subacquea.

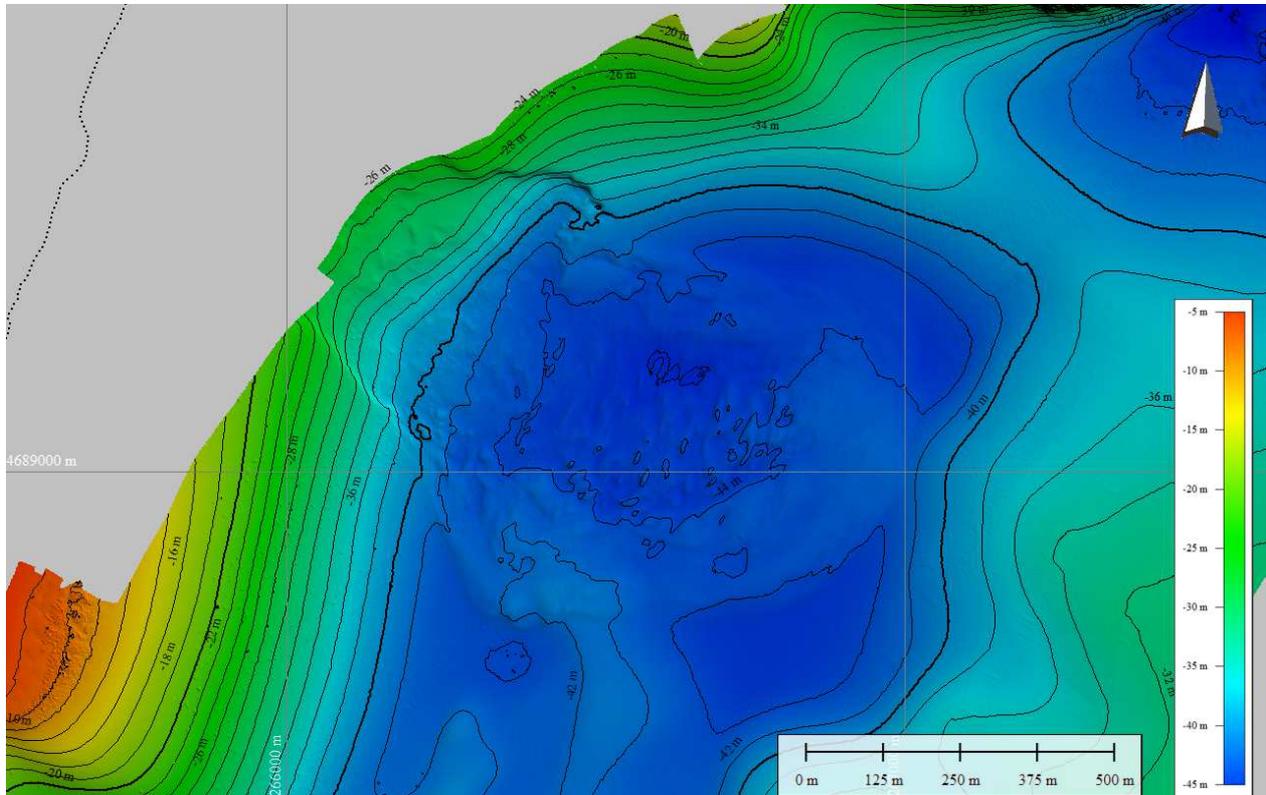


Figure 13 – Frana prospiciente la località “le Pentanacce”

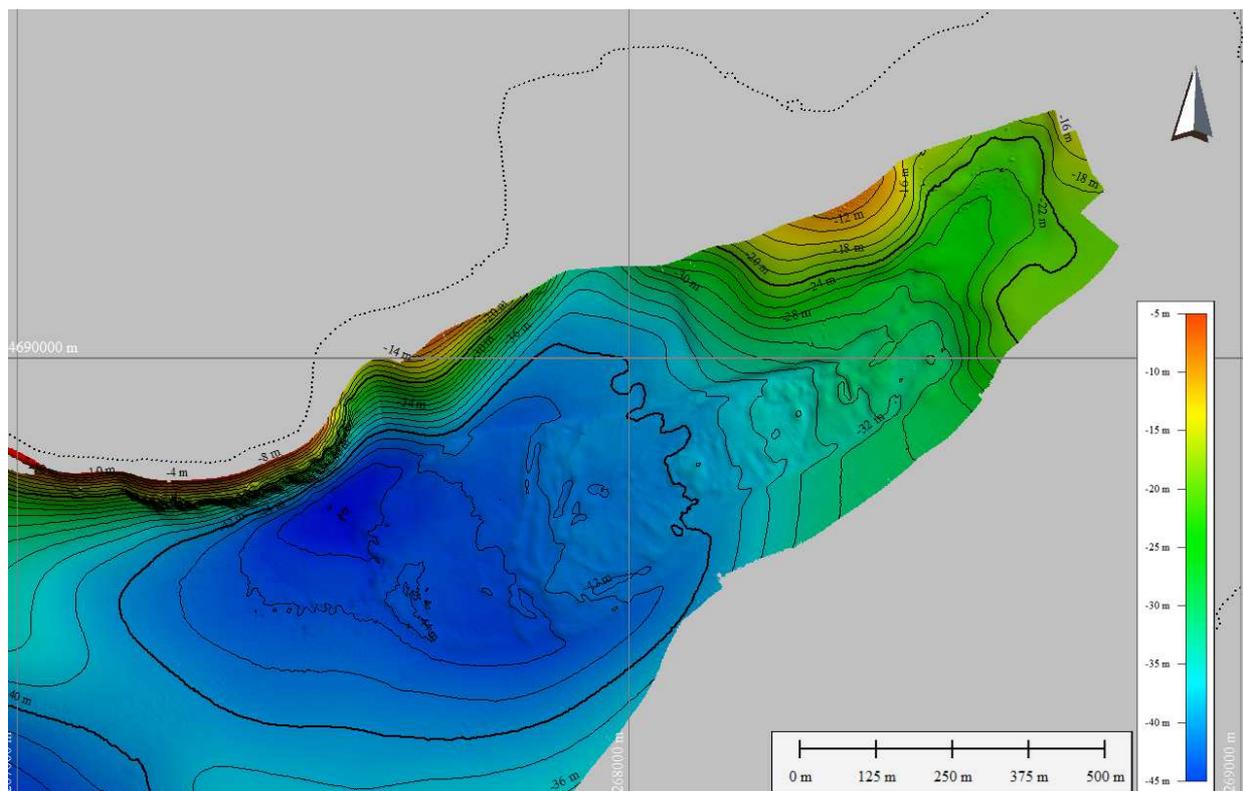


Figure 24 - Frana prospiciente la località "Bella Venere". Nel settore ad ovest è visibile la scarpata legata ad un evento del Monte Venere.

Il fondale è inoltre rotto da una ripida scarpata antistante "Pantanello", visibile sempre in Figura 24. La morfologia e il backscatter mostrano la presenza di materiali duri e spigolosi. Questa struttura è sicuramente legata ad un evento del Monte Venere, ma in letteratura non è nominato.

Sul resto del fondale appaiono piccoli rialzi sparsi che, indagati con una telecamera, sono stati attribuiti a agglomerati di alghe ricoperti di sedimento che le rende opache al segnale acustico.

Il backscatter mostra un solo elemento di dubbia natura situata nel margine Sud Ovest alle coordinate $42^{\circ}18'23.98''N$ $12^{\circ}09'09.37''$. il forte ritorno di segnale indica una zona di circa 20 metri di diametro leggermente rilevata (pochi centimetri) in cui il segnale acustico viene riflesso (Fig. 25).

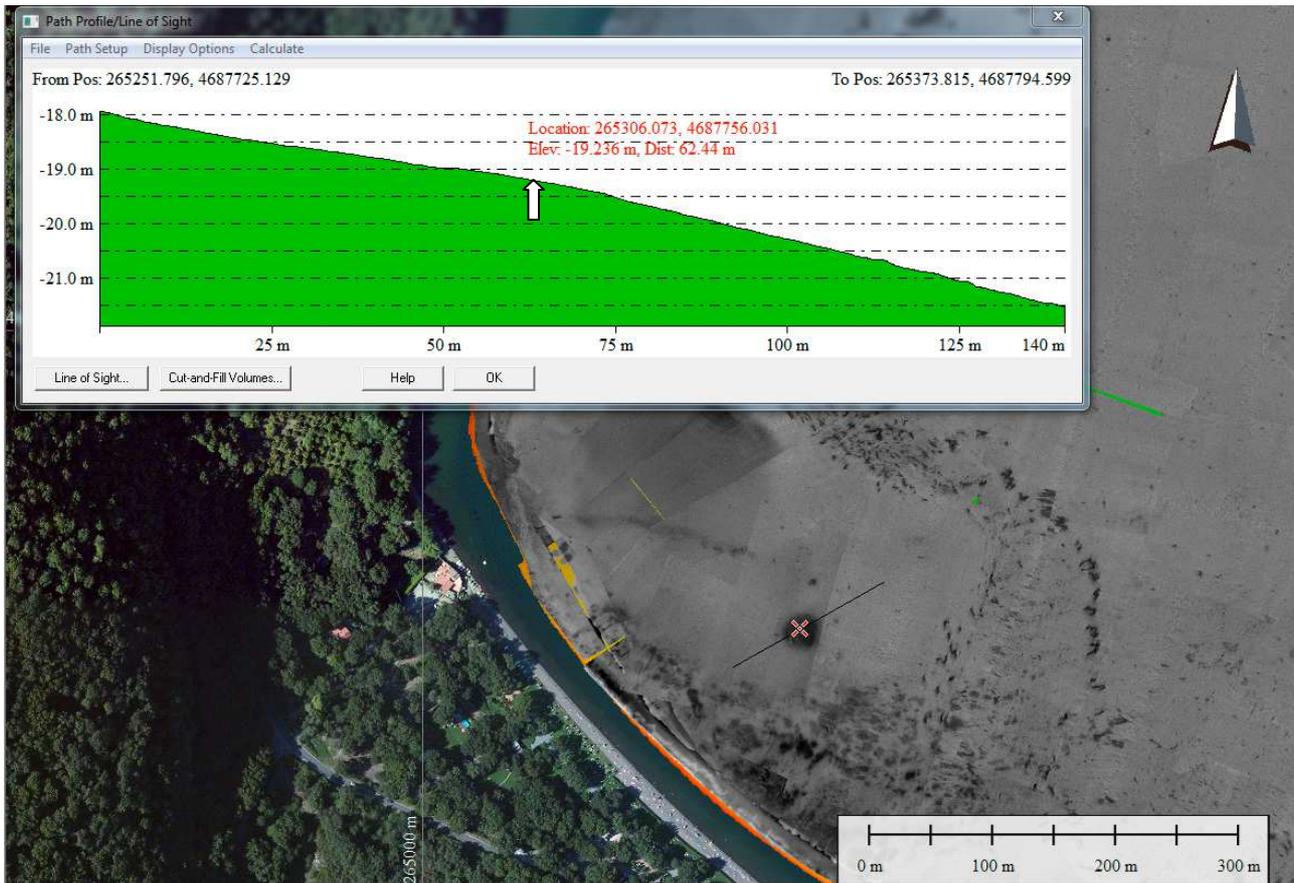


Figure 25 – Particolare dell’elemento con forte riflettività sovrainposto alla batimetria. Il profilo tracciato sulla struttura, mostra una leggerissima pendenza sul dato morfologico (la X sulla mappa corrisponde alla freccia bianca sul profilo).

Per l’interpretazione sono state analizzate le carte delle anomalie di intensità del campo totale e del segnale analitico, confrontandole anche con la batimetria rilevata. E’ possibile in primo luogo distinguere due zone caratterizzate da intense anomalie: la zona connessa con il cratere di monte Venere (anomalia 1) e un’area a sud-ovest (anomalia 2) della mappa delle anomalie. Entrambe le anomalie sono correlate alla presenza di corpi vulcanici di natura piroclastica e lavica.

L’anomalia 2 è localizzata sulla piccola scarpata a SO del lago di Vico e, data la pendenza intorno al 5% della scarpata, non è da ascrivere ad accumuli di materiale di origine antropica. Tale interpretazione è legata anche ad una seconda motivazione: l’ estensione elevata e la forma di tale anomalia, nonché nei valori delle intensità del campo magnetico totale paragonabili a quelli dell’anomalia 1.

Anche dall’analisi del segnale analitico, che mette in evidenza i massimi lungo i bordi dell’anomalia, meglio si definiscono la forma e l’estensione dell’anomalia. Il segnale analitico permette di interpretare l’anomalia 2 come un’intrusione magmatica (o un duomo lavico) connessa probabilmente con l’attività del cratere di Vico.

Concludendo entrambe le anomalie sono correlate alla presenza di corpi vulcanici di natura piroclastica e lavica. Nessuna delle anomalie individuate è ascrivibile per forma, dimensione e intensità del campo magnetico ad accumuli di materiale di origine antropica.