

VI LAGHI DI BRACCIANO E MARTIGNANO

1. INTRODUZIONE AI LAGHI DI BRACCIANO E MARTIGNANO

1.1 BREVE STORIA DELL'ESPLORAZIONE DEI BACINI LACUSTRI SABATINI (A. Argentieri, M. Fabiani, F. Liggio, G. Rotella)

Una recente nota di impostazione storica, dedicata agli studi limnologici in Italia (Argentieri *et al.*, 2024) ha ricostruito sinteticamente la cronologia degli studi sulle zone sommerse dei laghi vulcanici dell'area romana, con un aggiornamento sullo stato dell'arte e infine un cenno alle prospettive di sviluppo, in termini di conoscenza utile alla sicurezza del territorio.

I primi studi sui laghi vulcanici del Lazio furono condotti, tra il 1896 e il 1897, dal geografo e cartografo piemontese Giovanni De Agostini che rilevò tramite scandaglio le batimetrie dei bacini di Bolsena, Mezzano, Vico, Monterosi, Martignano, Bracciano, Albano e Nemi, riferendole ai valori planimetrici delle Tavolette IGM rilevate da Giovanni Marinelli (De Agostini, 1898; Barbanti & Carollo, 1969; Carollo *et al.* (1971); Morawski, 1987). Le pubblicazioni precedenti riportavano profondità massime sovrastimate (-300 m Lago di Bracciano; - 270 m Lago di Martignano; si veda in Barbanti & Carollo, 1969). Le carte che De Agostini raccolse nel suo *Atlante dei laghi italiani* (De Agostini, 1917) restarono la batimetria di riferimento fino alla fine degli anni Sessanta, quando il C.N.R. avviò una nuova campagna di indagini sui laghi dell'Italia centrale, finanziata dall'Istituto per la Ricerca sulle Acque. Fu l'Istituto di Idrobiologia "Dottor Marco De Marchi" di Pallanza (Verbania) a curare i rilievi con ecoscandaglio ad ultrasuoni, condotti nell'Ottobre del 1968 sui fondali dei laghi di Bracciano, Martignano e Monterosi. Il rapporto finale (Barbanti & Carollo, 1969), che ne descrive la morfometria, formula anche una ipotesi di genesi per collasso monocraterico della depressione di Bracciano. Sino ai rilievi recenti, le cartografie alla scala 1:25.000 prodotte dall'Istituto De Marchi hanno rappresentato le più recenti batimetrie pubblicate disponibili dei laghi dei Monti Sabatini. Va menzionato che negli anni Ottanta del secolo scorso vi fu una fase di rinnovato interesse sui fondali lacustri, a partire dai Colli Albani. Provincia di Roma e Università La Sapienza-Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali instaurarono una collaborazione sul Lago di Nemi per valutarne lo stato ambientale e definire possibili interventi di risanamento. A conclusione del progetto fu co-organizzato a Roma un convegno internazionale, dal titolo *"Eutrofizzazione dei piccoli bacini lacustri"*. In seguito, la Provincia di Roma incaricò la stessa Università di condurre indagini climatiche, geomorfologiche e sedimentologiche del Lago Albano, e nel 1984 il gruppo di ricerca di Geografia

fisica dell'Istituto di Geologia condusse i rilievi batimetrici (Caputo *et al.* 1986). Negli stessi anni fu coinvolto nelle ricerche anche Jacques Piccard, che fece esplorazioni subacquee a bordo del mesoscafo "F.A. Forel PX 28" da lui ideato, prima nel Lago di Bracciano (1982) e poi (1986) in quello Albano (Provincia di Roma, 1986).

A metà degli anni 2000, mentre maggiore attenzione veniva dedicata ai bacini dei Colli Albani anche nell'ambito del progetto CARG (si veda Argentieri *et al.*, 2024, *cum bibl.*), fu realizzato un modello digitale del terreno tridimensionale bati-morfologico della parte sommersa del Lago di Bracciano (Rossi, 2006), con finalità di valutazione delle possibili evoluzioni della linea di costa in funzione degli abbassamenti del livello idrico. Questo tema è poi tornato prepotentemente alla ribalta con la crisi siccitosa del Lago di Bracciano del 2017 (Rossi *et al.*, 2019).

Il lago di Martignano è stato oggetto, tra il 2006 e il 2007 (quando il pelo libero dell'acqua si attestava a quota di poco inferiore a 203 m s.l.m.), di studi interdisciplinari che, tramite indagini morfologiche e fotointerpretative, analisi di cartografie storiche e rilievi archeologici, hanno consentito di definire le variazioni del livello del lago di Martignano nel corso dell'Olocene, collocabili verosimilmente tra l'età del Bronzo e l'epoca contemporanea; sono stati inoltre identificati sette ordini di terrazzi emersi (d'erosione e di accumulo) e due sommersi (Puglisi & Savi Scarponi, 2011).

Nell'area metropolitana di Roma Capitale i laghi vulcanici, oltre a rappresentare risorse naturali, ambientali e di sviluppo economico-turistico, costituiscono elementi territoriali critici, con particolare riguardo alla sicurezza della navigazione e balneazione nelle acque interne. Tale particolarità ha indotto la Città metropolitana di Roma Capitale (CMRC), in continuità con quanto svolto in passato come Provincia di Roma, a rinnovare l'impegno per la caratterizzazione dei bacini lacustri, a supporto della tutela e della sicurezza del territorio; tali azioni competono a CMRC quale Ente di area vasta preposto sia alla Pianificazione Strategica Metropolitana, sia alla previsione e prevenzione dei rischi, nell'ambito del sistema regionale di protezione civile (Argentieri *et al.*, 2024). In questo contesto, il Servizio Geologico di CMRC a partire dal 2019 ha avviato di propria iniziativa due progetti pilota per la caratterizzazione batimetrica e morfologica dei bacini lacustri sabatini, su cui vi erano lacune conoscitive. Tra il 2020 e il 2022 sono stati perciò portati a compimento, tramite affidamento all'operatore specializzato Fugro Italy S.p.A., prima lo studio di dettaglio dell'intero bacino di Martignano, con rilievo morfologico subaereo delle sponde, rilievo bati-morfologico e rilievo sismostratigrafico del fondale, e quindi, applicando le stesse metodologie, di alcuni settori di quello di Bracciano.

1.2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AMBIENTALE DEI LAGHI DI BRACCIANO E MARTIGNANO (E. Argenti, E. Gliozzi, M. Mineo, F. Nomi)

Le aree sommerse pertinenti al Foglio Geologico 1:50.000 n° 364 “Bracciano” occupano circa un terzo dell’area interessata dai rilievi geologici e sono costituite dai laghi di Bracciano e Martignano. I due corpi idrici occupano, rispettivamente, una depressione vulcano-tettonica originatasi alla fine del Pleistocene (post 0,17 Ma, De Rita et al., 1996) ed un’area craterica nel distretto vulcanico dei Monti Sabatini. I due laghi ricadono all’interno del perimetro del Parco Naturale Regionale Bracciano-Martignano istituito con legge regionale n° 36 del 25 novembre 1999. L’area protetta si estende per 16.682 ettari sul territorio dei comuni di Roma, Anguillara Sabazia, Trevignano Romano, Manziana, Oriolo Romano, Sutri, Bassano Romano, Campagnano di Roma e Monterosi, a cavallo tra l’area metropolitana di Roma e la provincia di Viterbo. I laghi di Bracciano e Martignano appartengono alla rete Natura 2000 e sono inclusi nella Zona di Protezione Speciale (ZPS) cod. IT6030085 (Direttiva Europea 2009/147/CE “Uccelli”). Inoltre, il Lago di Bracciano è Zona Speciale di Conservazione (ZSC) cod. IT6030010 (Direttiva Europea 92/43/CEE “Habitat”). Entrambe le direttive sono state recepite con regolamento di attuazione dal DPR 357 dell’8 settembre 1997 e successive modifiche ed integrazioni.

1.2.1 - *Lago di Bracciano*

Il lago di Bracciano ha un’estensione di circa 57 km² ed una profondità massima di 181 m (vedi paragrafo 3.1). Ha forma subcircolare con indice di sinuosità pari a 1,18 (Barbanti e Carollo, 1969); nell’area settentrionale è osservabile la marcata rientranza del golfo delle Pantane ubicato a E del centro abitato di Trevignano. Le sponde del lago sono caratterizzate da rilevante acclività nel settore settentrionale e occidentale, tra gli abitati di Trevignano e Bracciano, e ad Anguillara Sabazia. In queste aree spiccano il promontorio del Colle (Bracciano), il promontorio del Pizzo e Macchia delle Coste (Anguillara Sabazia) e la rupe del centro storico di Anguillara che scendono a picco nel lago. Lungo le altre sponde, i versanti presentano più modeste inclinazioni con aree sub pianeggianti di fronte all’abitato di Bracciano, a Vigna di Valle (comune di Anguillara Sabazia), Conca di Polline (comune di Roma) e località La Possessione e Acquarella (comune di Trevignano).

Il bacino idrografico del Lago di Bracciano si estende per circa 91 km² e si sviluppa sulle vulcaniti sabatine. Le principali altitudini si rinvengono a nord Trevignano con Poggio del Sassetto (530 m), Monte Calvi (585 m), Monte

Termini (590 m) e culminano a 609 m s.l.m. con il cono di scorie di Monte Rocca Romana. Nel lago si riversano le acque da alcuni corsi d'acqua perenni alimentati da risorgive, tra i quali Fosso di Grotta Renara e Fosso della Fiora a O, Fosso di Fonte Vitabbio (Vicarello) a NNO, Fosso del Pianoro a NE e Fosso dei Casacci a E, e da altri a carattere torrentizio, alimentati dalle acque di ruscellamento connesse agli eventi meteorici (Fig. L1).

L'emissario naturale del lago è il fiume Arrone posto a SE nel comune di Anguillara Sabazia. Nel XVI secolo Papa Paolo V Borghese costruì una paratia in corrispondenza dell'incile per approvvigionare la città di Roma con le acque del Lago di Bracciano attraverso l'Acquedotto Traiano-Paolo. La soglia dello sfioratore dell'Arrone si trova ad una quota di 163,04 m s.l.m., che rappresenta lo zero idrometrico del lago. A seguito della derivazione realizzata negli anni '60 dall'ACEA, il deflusso delle acque nell'Arrone si è gradualmente ridotto (Dragoni et al., 2006) (Fig. L2).

Ad oggi non risultano studi scientifici sulle oscillazioni del livello del lago di Bracciano durante il Pleistocene-Olocene. Il nuovo rilevamento batimetrico del lago, svolto in occasione di questo progetto CARG, ha evidenziato la presenza di morfologie sommerse terrazzate (vedi paragrafo 3.1.1) che lasciano supporre che i cambiamenti climatici globali noti in questo intervallo di tempo abbiano avuto ricadute sulla storia evolutiva del lago. In effetti, evidenze di oscillazioni del livello delle acque in tempi preistorici e storici sono testimoniate da numerosi ritrovamenti archeologici di insediamenti perilacuali, le cui testimonianze sono state rinvenute al di sotto del livello attuale del lago.

Il più antico insediameno perilacuale è rappresentato dal villaggio della Marmotta, di età neolitica ($^{14}\text{C}_{\text{cal}}$ 7280-7260 anni BP (Fugazzola Delpino et al., 1993, 2005; Fugazzola Delpino & Tinazzi, 2010; Mineo et al. (a cura di), 2023), localizzato a circa 360 m dalla costa, a NE di Anguillara Sabazia. Il deposito archeologico è stato rinvenuto a circa 154-155 m s.l.m., ricoperto da circa 2,5-3 m di limo, e rappresenta un villaggio palafitticolo di cui sono state individuate 14 strutture abitative e/o tecniche lignee (Mineo et al. (a cura di), 2023). Altri insediamenti più recenti (età del Bronzo) sono stati rinvenuti a Sposetta e Vigna Grande intorno a 4-6 m di profondità, Vicarello e Pizzo Prato. In quest'ultimo sito gli archeologi ipotizzano un "piano di calpestio" tra 8 e 15 m di profondità (Fugazzola Delpino, 1982; Belardelli et al., 2007; Damiani et al., 2008a,b). Infine, sono stati rinvenuti numerosi insediamenti perilacuali di epoca romana, dalla tarda età repubblicana (IV sec a.C.) alla piena età imperiale (V sec d.C.). Alcuni di questi insediamenti, come Vigna Orsini, evidenziano abbandoni e riposizionamenti successivi entro terra come risposta all'innalzamento del livello lacustre di circa 3 m in epoca giulio-claudia (60 d.C.) (Accardo et al., 2007; Cordiano et al., 2011; Cordiano (a cura di), 2017).

1.2.2 – *Lago di Martignano*

Il Lago di Martignano è un lago endoreico (privo di immissari ed emissari) con un'estensione di circa 2,4 km² ed una profondità massima di 67 m (vedi paragrafo 4.1). Amministrativamente, ricade nei comuni di Roma, Anguillara Sabazia e Campagnano di Roma.

Il lago ha forma sub-ellittica con indice di sinuosità pari a 1,09 (Barbanti e Carollo, 1969). La bassa sinuosità delle coste rispecchia l'origine craterica del lago così come la forte acclività dei versanti circostanti, che, nel tratto meridionale, sono a picco. Sono presenti piccole spiagge sabbiose solo sulla costa sudoccidentale e settentrionale, mentre la gran parte della costa è caratterizzata da vegetazione ripariale e pascoli/aree agricole.

Il bacino idrografico del Lago di Martignano si estende per circa 6 km² e si sviluppa, anch'esso, sulle vulcaniti sabatine. Nel lago si riversano piccoli corsi d'acqua a carattere torrentizio, alimentati dalle acque di ruscellamento connesse agli eventi meteorici (Fig. L1). Non esiste uno Zero Idrometrico ufficiale del lago; la linea di costa è stata riferita da Barbanti & Carollo (1969) a 207 m s.l.m., come indicato dalla cartografia ufficiale. Nel 2011 la linea di costa si attestava alla quota di 203 m s.l.m., indicando un ribassamento del livello del lago di circa 4 metri in 42 anni (Puglisi & Savi Scarponi, 2011). Al momento dei rilievi batimetrici del febbraio 2020, il livello del lago si era ulteriormente abbassato alla quota di 199,6 m s.l.m.

Il Lago di Martignano è stato oggetto di uno studio sulle variazioni oloceniche (Megalayano) del suo livello (Puglisi & Savi Scarponi, 2011) (Fig. L3). Gli Autori riconoscono 9 terrazzi lacustri, 7 emersi (il VII terrazzo è quello attuale formato dalle variazioni stagionali del livello del lago e osservabile sull'intero perimetro del lago), e 2 sommersi. I terrazzi emersi indicano uno stazionamento del livello del lago più alto dell'attuale a partire dall'età del Bronzo/Ferro fino alla prima età imperiale (costruzione dell'acquedotto Alsietinus, il cui incile insiste sul terrazzo III) (Puglisi & Savi Scarponi, 2011). I terrazzi sommersi (VIII e IX), con orlo esterno rispettivamente a 16-17 m e circa 30 m di profondità indicano, invece, abbassamenti del livello del lago. Il ritrovamento di una foresta fossile sommersa a profondità comprese tra 8 e 13 m (Ferri Ricchi, 1972), con tronchi in posizione fisiologica e radici impostate sul terrazzo VIII, ha permesso di collocare questo basso stazionamento del livello del lago in età tardo imperiale-medioevale grazie ad alcune datazioni radiocarbonio che inquadrono l'esistenza di questa foresta nell'intervallo 396-554 d.C. - 541-615 d.C. (Alessio et al., 1975; Ferri Ricchi, 2001; Puglisi & Savi Scarponi, 2011). Il periodo moderno è caratterizzato da un ritorno ad un alto stazionamento del livello del lago fino a quando, nel 1828 non fu prosciugato artificialmente il Lago

di Stracciaccappa. Questo intervento stabilizzò il livello del lago di Martignano a 207 m s.l.m (Moccheggiani Carpano, 1976; Puglisi & Savi Scarponi, 2011).

2 METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI RELATIVI AI LAGHI DI BRACCIANO E MARTIGNANO

2.1 - DATI BATIMETRICI (A. Argentieri, G. Cristofalo, G. Di Martino, M. Fabiani, S. Innangi, F. Liggio, M. Marchetti, G. Rotella, D.M.R. Taliana, R. Tonielli)

Per il Lago di Bracciano l'attività è consistita nella acquisizione dati con copertura totale dei fondali del lago di Bracciano, partendo dalla profondità minima navigabile. Nel piano di lavoro non sono stati inclusi i settori antistanti Vigna di Valle, Anguillara Sabazia, Trevignano Romano e Bracciano in quanto i dati geofisici risultavano già disponibili grazie a precedenti *survey*, spinti fino alla profondità di 40 m, forniti dalla Città metropolitana di Roma Capitale (CMRC & Fugro Italy, 2022).

Le attività sono state svolte da ISMAR – CNR nel periodo 24 novembre–2 dicembre 2022 e 23–24 febbraio 2023, utilizzando la motobarca “Idrosfera”, un catamarano attrezzato per la realizzazione di *survey* idrografici.

I dati batimetrici sono stati acquisiti con un sistema multibeam Teledyne Reson Seabat 7125 che restituisce dati ad alta risoluzione operando con una frequenza di 400 kHz nel range di profondità 0,5 - 150 metri emettendo un fascio acustico composto da 512 beams di ampiezza $0,5^\circ \times 1^\circ$.

Il sistema di acquisizione è completato da una piattaforma inerziale Applanix PosMV con doppia antenna, che sincronizza i dati di posizionamento, batimetrici e del sensore di moto al fine di collezionare dati correttamente posizionati e privi di artefatti dovuti ai movimenti dell’imbarcazione.

Il posizionamento GPS è stato integrato con una correzione differenziale trasmessa da un server NTRIP (Trasporto in Rete di RTCM mediante Protocollo Internet), trasferita in tempo reale al sistema inerziale. La velocità del suono ai trasduttori è stata registrata da una sonda Valeport SVP-C, mentre i profili di velocità per il calcolo degli indici di rifrazione lungo la colonna d’acqua sono stati registrati con un profilatore Valeport miniSVP.

Il software Teledyne PDS è stato utilizzato per il controllo della navigazione e per l’acquisizione dati. Le operazioni di acquisizione sono state precedute dalla misurazione degli offset strumentali e dalla procedura di calibrazione, necessaria per la correzione degli angoli di installazione rispetto al sensore di moto. I dati batimetrici sono stati acquisiti in modo da avere almeno il 20% di sovrapposizione tra profili adiacenti ed ottenere una copertura totale della superficie del fondo

lago. I profili di velocità del suono lungo la colonna d'acqua sono stati registrati giornalmente a inizio rilievo e nelle ore centrali della giornata, per rilevare le variazioni dei parametri dovute alla radiazione solare.

I dati batimetrici sono stati elaborati con il software Teledyne PDS eliminando i dati spuri, dovuti nel caso specifico al disturbo al segnale acustico provocato dalla fitta copertura algale presente fino ad almeno 10 metri di profondità. I dati ripuliti sono stati utilizzati per la generazione di un modello digitale del fondale con cella di 2x2 metri.

I dati acquisiti, riferiti al livello lago al momento del survey, sono stati riportati alla quota zero del lago utilizzando i rilevamenti del livello lago effettuati dal Parco Naturale regionale di Bracciano – Martignano disponibili sul sito <https://www.parcobracciano.it/it/area-protetta/monitoraggio-acque/> (data di accesso 10/03/2023). Le batimetrie sono state successivamente riportate alla quota altimetrica, aggiungendo il valore dello zero idrometrico, fissato a 163,04 metri s.l.m, ovvero la quota di riferimento dello sfioro del lago nel fiume Arrone (Baccetti et al., 2017).

I *raw data* acquisiti dalla Città metropolitana di Roma Capitale e Fugro Italy per i settori costieri antistanti Vigna di Valle, Anguillara Sabazia, Trevignano Romano e Bracciano sono stati elaborati utilizzando le medesime procedure già descritte. I diversi *dataset* sono stati infine integrati in un unico modello digitale del fondo con cella di 2x2 metri che si estende da una profondità minima di circa 3,5 metri ad una profondità massima di circa 180 metri e copre circa 53 km² dell'area totale del lago (56,5 km²). I dati altimetrici del settore restante fino alla linea di riva sono stati interpolati utilizzando il modello digitale del terreno (cella 5x5 metri) disponibile sul portale della regione Lazio (<https://geoportale.regione.lazio.it/cartografia>).

Per il Lago di Martignano i dati batimetrici sono stati rilevati da Città metropolitana di Roma Capitale e Fugro Italy e restituiti sotto forma di un modello digitale del fondo con cella 25x25 centimetri. I dati, già riferiti alla quota altimetrica di 202 metri s.l.m, coprono l'area totale del lago e si estendono dalla linea di riva (riferita all'ellissoidica a 199,607 m) fino alla profondità massima di circa 67 metri.

Le metodologie di indagine applicate sono state le seguenti (CMRC & Fugro Italy, 2020): 1) rilievo topografico e aerofotogrammetrico eseguito con un sistema GPS RTK per la definizione dei capisaldi geodetici allo scopo di pianificare correttamente la missione di rilievo aerofotogrammetrico con drone SAPR (Sistema Aeromobile Pilotaggio Remoto) su una fascia di circa 200 m all'intorno della linea di riva. 2) rilievo batimetrico acquisito con un sistema *Multi Beam Echo Sounder* (MBES) installato su un barchino di superficie autonomo a propulsione elettrica (ASV- *Autonomous Surface Vehicle*).

I dati morfologici dei laghi di Bracciano e Martignano hanno fornito la base topografica dell'area, necessaria per il rilevamento della morfologia del fondo lago, che è stata rappresentata con isobate generate con equidistanza adeguata ai fini della descrizione morfologica dell'area (Battaglini et al., 2022). Le informazioni sono state esportate utilizzando i formati idonei alla generazione dei prodotti cartografici finali.

2.2 - DATI DI RIFLETTIVITÀ (A. Argentieri, G. Cristofalo, G. Di Martino, M. Fabiani, S. Innangi, F. Liggio, M. Marchetti, G. Rotella, D.M.R. Taliana, R. Tonielli)

Le immagini acustiche del fondo del Lago di Bracciano sono state ottenute dalla elaborazione dei dati di riflettività, registrati dal *multibeam*, sia quelli acquisiti da ISMAR che i *raw data* forniti da Città metropolitana di Roma Capitale e Fugro Italy (zone costiere antistanti Vigna di Valle, Anguillara Sabazia, Trevignano Romano e Bracciano). Il dato di riflettività è acquisito contemporaneamente al dato batimetrico, quindi con una copertura totale del fondale al pari di quella batimetrica. La riflettività del fondo è fornita dall'onda acustica che, una volta emessa, viene in parte riflessa, in parte trasmessa e in parte dispersa quando insonifica il fondale; la quantità di energia retrodiffusa al ricevitore è chiamata *backscatter strength*, o più semplicemente, *backscatter*. Il dato è dipendente dalla tessitura, dalla densità e dalla rugosità del fondo. Generalmente l'assorbimento dell'onda aumenta al diminuire della classe granulometrica e diminuisce all'aumentare della rugosità, con conseguente aumento della riflettività. Tale caratteristica dell'onda consente quindi di realizzare dei mosaici acustici le cui facies restituiscono informazioni sul tipo di substrato presente. Poiché altri fattori possono modificare la risposta acustica del fondo, per una corretta interpretazione è necessaria una taratura delle facies attraverso campionamenti diretti del fondo, ovvero prelievo di materiale attraverso benne, oppure acquisizioni video dei fondali per il riconoscimento del tipo di substrato presente.

Entrambi i *dataset* sono stati elaborati con il modulo FMGeocoder Toolbox (FMGT) della QPS Company. FMGT è disegnato per l'elaborazione e la gestione di dati di *backscatter* da *multibeam* ed è in grado di applicare gli algoritmi di normalizzazione del dato in modo semi-automatico. In dettaglio il *software* applica una correzione per il guadagno di ritorno al ricevitore, per la potenza del segnale di trasmissione applicata durante l'acquisizione, per l'ampiezza dell'impulso di trasmissione e per l'attenuazione del segnale lungo la colonna d'acqua. Una delle correzioni più importanti che il *software* effettua è quella per la dipendenza angolare del dato, che è sia strumentale che dipendente dalla

pendenza locale del fondo. Tale correzione consente di eliminare le distorsioni dovute a come l'onda acustica tocca il fondo e torna al ricevitore, consentendo una normalizzazione del dato.

I *dataset* così elaborati sono stati integrati per generare un mosaico acustico totale con risoluzione di 2x2 metri (Fig. L4) che, opportunamente calibrato con le informazioni sedimentologiche, ha consentito di definire le tessiture presenti sul fondo del lago.

La Fig. L4 mostra il mosaico acustico finale del Lago di Bracciano in scala di grigio variabile tra il colore nero (alta riflettività corrispondente a materiale grossolano o roccia), e colore grigio chiaro (alto assorbimento corrispondente a materiale sottile). Anche la presenza di vegetazione, come alghe di acqua dolce, possono causare un'alterazione nella risposta di *backscatter*, soprattutto se molto fitta. Infatti, alcune zone costiere del lago, in cui è stata confermata la presenza di distese praterie di caracee, presentano una risposta acustica più alta.

I dati di riflettività del fondo del lago di Martignano sono stati rilevati da Città metropolitana di Roma Capitale e Fugro Italy con Sonar a scansione laterale (*Side Scan Sonar- SSS*) al fine di ottenere una ripresa aerea del fondale con sistema acustico (in “luce sonar”); questo tipo di immagini ha permesso di mappare il fondo secondo le facies sedimentarie e litologiche, per evidenziare presenza di artefatti e/o di relitti o evidenze archeologiche e confermare le evidenze morfologiche principali (quali crateri, fuoruscite di fluidi dal fondo etc.) (CMRC & Fugro Italy, 2020).

Il dato è stato elaborato da ISMAR mediante il software SeaView Mosaic della Moga Software s.r.l., che permette di elaborare i dati senza sottocampionamento e di ottenere immagini nitide senza compressioni. Il processo di elaborazione comprende lo *smoothing* dei punti di navigazione e la correzione radiometrica e geometrica di ogni singola linea acquisita (Beaudoin et al., 2002). È stato, quindi, generato di un mosaico totale a risoluzione di 50x50 cm, in scala di grigio, dei fondali di Martignano (Fig. L5).

2.3 – PROFILI DI SUBBOTTOM (A. Argentieri, G. Cristofalo, G. Di Martino, M. Fabiani, S. Innangi, F. Liggio, M. Marchetti, G. Rotella, D.M.R. Taliana, R.

Per il Lago di Martignano il rilievo sismostratigrafico superficiale è stato eseguito da Città metropolitana di Roma Capitale e Fugro Italy con *Sub Bottom Profiler* (SBP) al fine di ottenere delle sezioni geologiche sismiche del fondale ed evidenziare la presenza di discontinuità, aree di potenziale distacco e di frana subacquea (CMRC & Fugro Italy, 2020).

2.4 ANALISI GRANULOMETRICHE E MINERALOGICHE (F. Basile, C. Faranda, S. Lo Mastro)

Le analisi granulometriche relative ai sedimenti del fondale del Lago di Bracciano sono state eseguite seguendo la metodologia indicata da ISPRA per i sedimenti marini (Magni et al., 2016), classificando la granulometria secondo la scala Udden-Wentworth e denominando i sedimenti secondo la classificazione di Shepard (1958).

Sessantasette campioni sono stati prelevati dal fondale del Lago di Bracciano a diverse profondità (Fig. L6) utilizzando una benna Van Veen da 5 l. Appena prelevati, i campioni sono stati immersi in una soluzione di alcool etilico per rallentare i processi di decomposizione della materia organica.

In laboratorio, i campioni sono stati lasciati decantare, asciugati in stufa e quartati, prelevando un'aliquota di circa 250 g. Successivamente ciascun campione è stato disgregato in una soluzione di perossido di idrogeno 5%_{vol} e passato al setaccio con maglia 63 µm, recuperando la frazione fine. La frazione >63 µm è stata separata ad umido attraverso una batteria di 9 setacci (63 µm - 16 mm) e ciascuna porzione granulometrica è stata asciugata in stufa e pesata. La frazione <63 µm è stata trattata con esametafosfato di sodio, per prevenire la flocculazione, e analizzata al densimetro.

I risultati dell'analisi granulometrica sono stati utilizzati per classificare i sedimenti, secondo la classificazione ternaria di Shepard “sabbia, limo, argilla” o, nel caso di ghiaia abbondante, usando la classificazione di Shepard modificata “ghiaia, sabbia, fango”.

Alcuni campioni selezionati sono stati analizzati al diffrattometro a raggi X per determinarne la composizione mineralogica. Dal campione decantato ed asciugato in laboratorio è stata prelevata un'aliquota di 1 g, che è stata posizionata sul vetrino alloggiato nel porta-campione. Le analisi sono state svolte utilizzando un diffrattometro a raggi X per polveri Rigaku Smartlab SE con tubo al rame e configurazione theta-2theta, con le seguenti impostazioni analitiche: potenza 2 kW (40kV 50 mA), intervallo di scansione da 2° a 70° 2theta, step 0.01° e speed di 3°/min.

2.5 SONDAGGI (E. Gliozzi, E. Iriarte Aviles, M. Mineo, A. Moreno Caballud, F. Nomi)

Nell'estate 2023, in collaborazione con l'Instituto Pirenaico de Ecología, Dpto. de Procesos Geoambientales y Cambio Global – CSIC (Saragozza,

Spagna), l'Università di Burgos, Dpto Historia, Geografía y Comunicación (Spagna) e il Dipartimento di Studi Umanistici, Università Roma Tre, sono state eseguite tre perforazioni del fondale litorale del Lago di Bracciano con recupero di carote, nell'area sud-orientale del lago (Fig. L6). I sondaggi sono stati effettuati tramite una sonda a pistone montata su una piattaforma galleggiante ancorata al fondo. Le carote, recuperate con un carotiere acqua-sedimento, hanno uno spessore di 7 cm e una lunghezza complessiva pari a 11,18 m. Dopo avere effettuato i log stratigrafici, le carote sono state campionate in continuo ogni 2 cm per analisi sedimentologiche, paleontologiche e palinologiche, per un totale di 508 campioni. I campioni per le analisi paleontologiche sono stati disgregati in una soluzione di perossido di idrogeno 5%_{vol}, passati ai setacci con maglie 63 µm e 125 µm e asciugati in stufa.

2.6 CAMPIONAMENTO DELL'ACQUA E MISURAZIONI DEI PARAMETRI CHIMICO-FISICI (T. Gasperi, E. Gliootti, E. Mattoni, I. Mazzini, G. Rossetti, E. Torracca)

Nel corso dei rilievi del Lago di Bracciano sono stati prelevati con bottiglia campionatrice numerosi campioni di acqua superficiale e al fondo a diverse profondità (profondità massima 100 m) (Fig. L6). Le analisi chimiche sono state svolte presso il Dipartimento di Scienze, Università Roma Tre. Sono stati analizzati in laboratorio i principali cationi (K, Na, Mg, Ca), N totale, NH₃, alcalinità totale, silice reattiva disciolta fosfati e clorofilla a. I protocolli seguiti sono quelli raccomandati da APAT, CNR-IRSA (2004).

Contestualmente al campionamento del benthos sono stati misurati alcuni parametri chimico-fisici dell'acqua al fondo o nella massa d'acqua (pH, ossigeno disciolto, potenziale redox, conducibilità, TDS, temperatura e clorofilla a) tramite sonde multiparametriche (Hanna mod. HI98194 per i campioni litorali, e IDRONAUT OCEAN SEVEN 316Plus CTD for Oceanography per i campioni profondi fino a 100 m).

2.7 CAMPIONAMENTO DEGLI OSTRACODI (E. Gliootti, I. Mazzini, G. Rossetti)

Nell'arco di giugno 2022-luglio 2023, in collaborazione con l'Università di Parma, Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, l'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG) - CNR, Roma e l'Istituto di Scienze Marine (ISMAR) – CNR, Napoli, sono stati stagionalmente campionati i sedimenti dei primi centimetri del fondale del Lago di Bracciano per lo studio degli ostracodi attuali. I campionamenti nel Lago di Bracciano sono stati effettuati, complessivamente, in 14 stazioni litorali (0,5-15

m di profondità) ubicate lungo tutto il perimetro del lago (Fig. L6) e in 30 stazioni profonde (30-181 m) lungo due tranetti perpendicolari, orientati NW-SE e NE-SW (Fig. L3).

I campioni litorali sono stati prelevati usando un retino rettangolare (28 cm x 14 cm, con maglia 120 μm) mentre i campioni profondi sono stati prelevati con una benna Van Veen da 5 l. Tutti i campioni sono stati conservati, immediatamente dopo il prelievo, in una soluzione di alcool etilico per prevenire la degradazione della materia organica.

In laboratorio, gli ostracodi completi di carapace e parti molli sono stati prelevati manualmente con un pennello sotto lo stereomicroscopio, identificati e conservati in una soluzione di alcool etilico.

2.8 CAMPIONAMENTO DELLA COMUNITÀ MACROFITICA (S. Ceschin, L. Pinzani)

La caratterizzazione dei popolamenti macrofitici nel Lago di Bracciano è stata effettuata campionando le principali comunità vegetali rinvenute lungo tranetti acquatici e spondali rappresentativi. In accordo con la metodologia proposta da Azzella (2012), i campionamenti in acqua sono stati effettuati lungo tranetti perpendicolari alla linea di sponda, utilizzando mezzi di imbarcazione (Fig. L7). I popolamenti ripariali sono stati campionati, invece, percorrendo su sponda tranetti di lunghezza variabile e paralleli alla linea di sponda.

In ogni tranetto acquatico e ripariale sono state rilevate tutte le specie vegetali presenti ed è stata stimata la loro copertura percentuale rispetto al tranetto di campionamento percorso.

3 LAGO DI BRACCIANO

3.1 BATIMETRIA ED ELEMENTI GEOMORFOLOGICI, GRANULOMETRICI E MINERALOGICI DEL FONDALE DEL LAGO DI BRACCIANO (F. Basile, D. Cosentino, E. Di Martino, C. Faranda, G. Giordano, E. Gliozzi, S. Innangi, S. Lo Mastro, S. Racano, R. Tonielli)

Come accennato nell'introduzione, le prime ricerche batimetriche dei laghi di Bracciano e Martignano risalgono addirittura alla fine del XVIII secolo (De Agostini, 1898, 1917) e solo nel 1969 quelle carte batimetriche furono sostituite da quelle elaborate da Barbanti & Carollo (1969) tramite ecoscandaglio ad ultrasuoni. Successivamente, De Rita et al. (1996) proposero una nuova carta

batimetrica del Lago di Bracciano ricavata dal *contouring* del primo riflettore sismico ottenuto con linee sismiche Uniboom ad alta frequenza. Nonostante la diversa metodologia, la nuova carta batimetrica non differisce sostanzialmente da quella del 1969. Infine, nel 2019 i dati batimetrici di Barbanti & Carollo (1969) sono stati georeferenziati e digitalizzati ed è stato creato il modello 3D della massa di acqua (Giuliani et al., 2019) in modo da ottenere un modello predittivo della modificazione del volume delle acque nel tempo.

Nella carta batimetrica riportata nel Foglio 1:50.000 n° 364 Bracciano, derivata dal nuovo rilievo batimetrico effettuato nel 2022-2023, le quote batimetriche sono relative alla quota dello 0 idrometrico del lago, pari a 163,04 m s.l.m. e le profondità, indicate tra parentesi, si riferiscono alla superficie del lago posta a questa stessa quota. Il lago di Bracciano presenta un fondale che si approfondisce in modo graduale dalla linea di riva verso la parte centrale. La pendenza del fondo ha valori < 2° fino alla profondità di circa 30 metri per poi passare a valori compresi tra 2° e 12° per profondità tra i 30 metri ed i 150 metri, con valori anche di 17° in alcune aree. La parte profonda del lago è decentrata verso il settore SE e presenta una morfologia pressoché pianeggiante con valori di profondità compresi tra 150 e 161 metri. La profondità massima registrata è di 181,80 metri ed è rappresentata dal fondo di un *pockmark* che si trova su un fondale a -155 metri e si approfondisce di oltre 25 metri (Figg. L8, L9).

Il lago, di forma più o meno circolare (diametro massimo circa 9,1 km e diametro minimo circa 8,5 km) ha la linea di costa poco articolata. Barbanti & Carollo (1969) hanno messo in evidenza l'esistenza di due insenature, la prima piuttosto stretta e profonda localizzata subito a est di Trevignano in località Le Pantane e la seconda, più ampia, sul lato meridionale del lago, ad ovest di Anguillara Sabazia, nell'area di Pizzo Prato. Entrambe queste insenature sono morfologicamente legate alla presenza di due vecchi crateri vulcanici aperti verso il lago, il cui fondo è stato parzialmente occupato dalle acque del lago ed il cui orlo sommerso è stato probabilmente rimodellato e spianato dalle variazioni pleistocenico superiori-oloceniche del livello del lago stesso. Nel settore prospiciente Trevignano Romano si osserva una struttura rilevata di forma semi-circolare che si estende nel *range* compreso tra i 10 e gli 80 metri di profondità e si trova ad una distanza dalla costa compresa tra i 90 e gli 850 metri. Il diametro della struttura è di circa 500 metri ed è circoscritto da bordi di altezza variabile compresa tra i 5 ed i 20 metri. Questa morfologia rappresenta un piccolo cratere interamente sommerso, non rilevato negli studi precedenti (Fig. L9).

Il nuovo rilevamento batimetrico ha, inoltre, evidenziato la presenza, soprattutto nel settore settentrionale, di canali perpendicolari alle isobate che incidono l'area di maggiore pendenza fino al fondo lago. Alla base di alcuni di queste incisioni si osservano delle aree di accumulo di sedimenti che permettono di interpretare queste morfologie come *canyons* di frana (Fig. L9)

Probabilmente i due elementi morfologici più interessanti, messi in evidenza dal nuovo rilievo batimetrico, sono la presenza di due ordini di terrazzi lacustri sommersi e la presenza di numerosi *pockmark* distribuiti sul fondo del lago, a diverse profondità.

3.1.1 – *Terrazzi lacustri sommersi*

Lungo tutto il perimetro del lago è evidente, nella carta batimetrica, la presenza di un terrazzo sommerso superiore con un orlo di scarpata esterna posto tra 9 e 11 m di profondità. La superficie del terrazzo ha estensione trasversale variabile: più ampia lungo i margini nord-orientale (a est di Trevignano) orientale e meridionale fino al paese di Bracciano (variabile da circa 450 a 1000 m), con una pendenza media di circa 1°; quasi impercettibile (meno di 100 m di estensione) lungo il margine nord occidentale, dove i versanti sono più acclivi. La scarpata che borda il terrazzo sommerso superiore ha una pendenza media di 14°.

Lungo il margine nord orientale, orientale e meridionale del lago è evidente, con una certa continuità, un ulteriore orlo di scarpata esterna, posto a circa 25-33 m di profondità, che sottintende un terrazzo inferiore la cui superficie, molto meno estesa trasversalmente di quella del terrazzo superiore (240-490 m), ha una pendenza variabile tra 4 e 8°. La scarpata del terrazzo sommerso superiore ha una pendenza media di 15° e scende verso le aree più profonde del lago (Figg. L10, L11).

3.1.2 – *Pockmarks*

Il fondale del lago presenta oltre 200 *pockmarks*, ben visibili sul *dataset* batimetrico, che si concentrano principalmente nei settori E-SE. Tali strutture si trovano nel *range* batimetrico 50 – 155 metri e presentano diametri variabili tra i 10 ed i 100 metri e profondità interne fino a oltre 20 metri (Fig. L12). In alcuni casi la presenza di queste strutture si accompagna a risalite di gas dal fondale (Fig. L13a,b) che, seppure non apprezzabili nel *dataset* batimetrico, sono ben visibili nella visualizzazione della colonna d’acqua del dato di *backscatter* (Fig. L13c) (Gafeira and Long, 2015; Jones et al., 2005; Rogers et al., 2006).

Purtroppo, non è stato possibile campionare le emissioni gassose e identificare la natura. In analogia con quanto noto da altri laghi vulcanici del distretto laziale (Lago di Bolsena, Lago di Albano) (Mosello et al., 2004; Carapezza et al., 2008) è probabile che si tratti prevalentemente di CO₂ e, subordinatamente, di H₂S, rilevabile dall’inconfondibile odore di “uova marce” dei sedimenti campionati.

3.1.3 – Litologia del fondale (granulometria e composizione mineralogica)

Le litologie più grossolane sono rappresentate nella legenda del Foglio Geologico dalle litofacies “sabbia ghiaiosa”, nella quale rientrano i campioni classificati secondo Shepard come fango ghiaioso (Fig. L14a), ghiaia, ghiaia sabbiosa e sabbia ghiaiosa (Fig. L14b). Questi sedimenti si rinvengono ampiamente, lungo le coste settentrionale (a partire da Trevignano verso W), occidentale e meridionale del lago (fino al promontorio di Macchia delle Coste) a profondità da 0 a -10 m, raggiungendo profondità più elevate (fino a -60 m) in corrispondenza dello sbocco di piccoli fossi nel settore settentrionale e nord-occidentale; nel settore sud-orientale del lago sono presenti anche a profondità maggiori, in una fascia tra i -20 ed i -40 m.

La litofacies “limo sabbioso”, corrispondente a campioni classificati secondo Shepard come sabbia, sabbia siltosa e silt sabbioso (Fig. L14c), è presente lungo tutto il litorale orientale del lago, da 0 fino ad una profondità intorno a -10, -15 m (fino a -100 m in corrispondenza dello sfocio del fosso a S di Casale di Polline). Inoltre, si ritrova in una fascia compresa tra -10 e -30 m nel settore sud-occidentale e meridionale, dal promontorio di Monte Tonico al promontorio di Macchia delle Coste.

Le litologie più fini sono rappresentate in legenda dalla litofacies “limo argilloso” che include sedimenti classificati secondo Shepard come silt (presente all’interno e nella porzione antistante al golfo in area Le Pantane (Fig. L14d), silt argillosi e argille siltose (Fig. L14e). Questi ultimi sedimenti sono ampiamente dominanti in tutta l’area di fondale sottostante il terrazzo inferiore, fino alla massima profondità di -188 m.

Alcuni campioni tra quelli prelevati per le analisi granulometriche sono stati analizzati al difrattometro a raggi X per determinarne la composizione mineralogica. Sono stati esaminati 4 diversi gruppi di campioni: campioni litorali, campioni profondi al di fuori dei *pockmark*, campioni da *pockmark* inattivi e campioni da *pockmark* in cui l’analisi *multibeam* ha evidenziato emissioni gassose. I campioni litorali (7 e 15 m di profondità) sono caratterizzati prevalentemente da calcite (e, subordinatamente, aragonite) probabilmente di origine biogenica (ostracodi, characee, gasteropodi), accompagnati da minerali che provengono dal dilavamento delle rocce vulcaniche dei versanti, quali K-feldspato (sanidino), plagioclasa, quarzo, mica (Fig. L15a). L’aragonite manca nei campioni profondi (30-150 m) prelevati dal fondale al di fuori dei *pockmark* e anche la calcite diventa meno abbondante (presente con quantità rilevabili solo nel campione a 30 m di profondità, confermando, così, la sua probabile origine biogenica essendo qui assenti le caracee e rarissimi gli ostracodi). In questi

campioni, oltre a K-feldspato, plagioclasi e quarzo si aggiungono clinopirosseni e alcuni minerali dello zolfo (soprattutto gesso e, subordinatamente, pirite) e minerali di alterazione delle rocce vulcaniche dilavate (halloysite, clorite, analcime) (Fig. L15b).

Abbastanza diversa è invece la composizione mineralogica dei sedimenti prelevati dai *pockmark* nei quali, accanto a quarzo (dominante), K-feldspato e fillosilicati (halloysite, mica), sono presenti zolfo e minerali dello zolfo come gesso, pirite e marcasite, questi ultimi di ambiente anossico. Nei *pockmark* attivi, (S16, S17, S29) (Fig. L15c), con emissioni gassose, il gesso è molto scarso, mentre è un po' più abbondante nei *pockmark* non attivi (S30), in cui sono più scarsi i solfuri e non è presente lo zolfo (Fig. L15d).

3.2 – SONDAGGI (T. Concas, Elsa Gliozzi, E. Iriarte Aviles, M. Mineo, A. Moreno Caballud, F. Nomi)

Tre sondaggi con recupero di carote sono stati effettuati lungo un transetto orientato SE-NW a partire da circa 250 m dalla linea di costa fino a circa 960 m all'interno del lago (Fig. L7).

Il sondaggio S4 (42° 5'58.47"N; 12°16'34.62"E) è stato perforato ad un battente d'acqua di circa 4 metri, sulla superficie del terrazzo lacustre sommerso superiore, ad una distanza di circa 250 m dalla costa (Figg. L11, L16), ed ha recuperato 328 cm di sedimenti per lo più limosi e limoso-sabbiosi con alternanza di colorazione grigio chiaro-grigio scuro. Gli ultimi 24 cm alla base del sondaggio sono costituiti da sedimenti più grossolani, rappresentati da ghiaie sabbiose e sabbie grigio scure-nere (Fig. L17).

I sedimenti limosi sono fossiliferi, ricchi di molluschi (in stato frammentario), opercoli di *Bithynia*, ostracodi (tra i quali *Neglecandona angulata*, *Cyprideis torosa*, *Darwinula stevensoni*, *Cypridopsis vidua*, *Ilyocypris* sp., *Cyclocypris* sp., *Herpetocypris* sp.) e girogoniti di caracee. Saltuariamente si rinvengono anche denti di pesce ed exuvie di insetti. Le ghiaie sabbiose e sabbie alla base della carota S4 sono, invece, sterili, costituite da sabbie da fini a grossolane ricche di minerali vulcanici e frammenti di rocce vulcaniche microcristalline smussati o arrotondati. Probabilmente questi sedimenti rappresentano una spiaggia emersa. Il tetto di questo intervallo sterile si trova ad un'altezza di circa 155 m s.l.m. e potrebbe essere correlato al momento di basso stazionamento del lago corrispondente all'insediamento neolitico di La Marmotta, con età $^{14}\text{C}_{\text{cal}}$ 7280-7260 anni BP (Fugazzola Delpino et al., 1993, 2005; Mineo et al. (ed.), 2023).

Il sondaggio S2 (42° 6'4.15"N; 12°16'13.52"E) è stato perforato ad un battente d'acqua di circa 12,6 metri, sulla scarpata che separa il terrazzo superiore dal terrazzo inferiore, ad una distanza di circa 780 m dalla costa (Fig. L16), ed ha

recuperato 432 cm di sedimenti per lo più sabbioso-limosi e sabbiosi con alternanza di colorazione grigio chiaro-grigio scuro (Fig. L17). All’ispezione macroscopica risulta ricco di gasteropodi nei primi 138 cm. Successivamente, i gasteropodi diventano più rari fino a sparire intorno a 213 cm. Al contrario, nella parte inferiore del sondaggio risultano abbondanti resti vegetali e *charcoals*.

Il sondaggio S6 (42° 6'8.50"N; 12°16'7.49"E) è stato perforato ad un battente d’acqua di circa 22,6 metri, sulla superficie del terrazzo inferiore, ad una distanza di circa 960 m dalla costa (Fig. L16), ed ha recuperato 260 cm di sedimenti per lo più sabbiosi e limosi grigi con alternanza di colorazione grigio chiaro-grigio scuro (Fig. L17). Solo tra 76 e 94 cm sono presenti sabbie grossolane massive con clasti dispersi. La carota è poco fossilifera, con scarsi girogoniti di caracee, resti vegetali, rari opercoli di *Bithynia* e scarsi ostracodi rappresentati prevalentemente da *Neglecandona* sp. e, subordinatamente, *Paralimnocythere* sp., più abbondanti tra 46 e 68 cm.

3.3 - CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE DEL LAGO DI BRACCIANO

3.3.1 – *Misurazioni con sonda multiparametrica* (E. Gliozzi, I. Mazzini, G. Rossetti)

Le misurazioni con le sonde multiparametriche sono state effettuate su tutti i campioni riportati in Fig. L6. I campioni litorali sono stati misurati in tutte le stagioni, i campioni profondi, riportati con S nella Fig. L6, sono stati misurati solo nella stagione estiva.

Nei campioni litorali le temperature rilevate durante il giorno seguono, come prevedibile, l’andamento stagionale, con media invernale di 10,3°C ed estiva di 26,9°C. Tali valori sono comparabili con quelli rilevati nel mese di luglio da Mastranduono (1995) e Mastranduono & Mancinelli (2005) negli anni 1998-1990. Anche la salinità, mostra variazioni stagionali, seppur molto lievi, con valore medio invernale di 0,19 psu e estivo di 0,22 psu. I fondali litorali, fino a 15 m di profondità, risultano bene ossigenati nell’arco di tutto l’anno, con valori più elevati in estate (DO% compreso tra 90 e 140%). I valori di pH rilevati nei campioni litorali estivi nel 2022 sono piuttosto elevati, con una media pari a 8,9, leggermente più elevati di quelli misurati nelle estati 2004, 2006, 2017 da Cangemi et al. (2017) variabili da 7,5 a 8,50, ma comparabili con quelli estivi rilevati da ARPA Lazio (2017) e a quelli estivi delle acque litorali del Lago di Bolsena (Mosello et al., 2004) e del Lago di Albano (Carapezza et al., 2008), che risultano $\geq 8,5$.

Per quanto riguarda i campioni più distali, nell'estate 2023 sono stati rilevati i parametri chimico-fisici della colonna d'acqua (fino a 100 m di profondità) in diversi siti di campionamento S (Fig. L18). Salinità, DO% e pH risultano avere valori più o meno costanti salvo delle lievi perturbazioni intorno a 10-15 m di profondità, mentre, come prevedibile, i valori di temperatura diminuiscono in funzione della profondità, bruscamente a -10 m, progressivamente fino a circa -20 m, assestandosi ad un valore intorno a 10°C a partire da circa -50 m.

I dati dell'andamento delle temperature rilevati nel mese di luglio 2023 sono comparabili con quelli riportati da Perrone et al. (2021). In Fig. L19 è riportato l'andamento delle temperature riportate in Perrone et al. (2021) per i mesi da febbraio a dicembre che mostrano come il Lago di Bracciano sia classificabile come un lago monomittico caldo, nel quale si verifica il mescolamento delle acque da novembre ad aprile, mentre è stratificato da maggio a ottobre (Bruno, 2006; Perrone et al., 2021).

Un ulteriore parametro chimico preso in considerazione per la caratterizzazione fisico-chimica delle acque del Lago di Bracciano è la clorofilla a (i valori sono stati ricavati in laboratorio per quanto riguarda i campioni costieri e misurati dalla sonda multiparametrica per i campioni distali). La clorofilla a risulta completamente assente nei campioni costieri, mentre nei campioni distali è saltuariamente misurabile fino a circa -3 m, con valori che non superano 40 µg/L (Fig. L18). Il dato conferma la classificazione del Lago di Bracciano come un lago oligo-mesotrofico (Ferrara et al., 2002).

3.3.2 – Analisi chimiche in laboratorio (T. Gasperi, E. Mattoni, E. Torracca)

Le analisi chimiche delle acque, effettuate stagionalmente in diversi siti e a diverse profondità sono riportate in Tab. 1.

I dati riportati nella Tab. 1 possono essere esaminati in una prospettiva di stagionalità (campioni giugno – novembre 2022) e di variazione con la profondità (campioni 0 – 15 m di profondità primavera 2023 e campioni della colonna d'acqua nel sito S15 fino a 75 m) (Fig. L20).

I dati raccolti mostrano una relativa omogeneità per quanto riguarda la profondità. Si può notare invece una relativa variabilità spaziale in relazione alle diverse attività che si svolgono nell'ambito del bacino del lago. In particolare, nei siti vicini ad aree con destinazione agricola, come nel caso del sito di Vigna Grande (campione 10.1), si registrano variazioni abbastanza accentuate rispetto agli altri siti.

È possibile effettuare un confronto tra i dati ottenuti nella campagna di rilevamento 2022-2023 con alcuni dati chimici riportati in letteratura. A questo proposito si deve comunque considerare che in questi ultimi anni il lago ha subito

una significativa variazione di livello che rende problematico un confronto con dati rilevati ad una certa distanza temporale.

Esaminando le analisi riportate in letteratura, è possibile effettuare un confronto tra i dati dei fosfati riportati in Tab. 1 e alcuni dati del 1999-2000 (Mastrantuono & Mancinelli, 2005). In quest'ultimo lavoro risulta una concentrazione di fosfati in superficie di 6 mg/L, nettamente inferiore ai valori misurati nel giugno 2022, ma paragonabili a quelli dei campionamenti dei mesi successivi. Al contrario, i valori dei fosfati riportati in Tab. 1 sono nettamente inferiori a quelli calcolati da Giuliani et al. (2019) sulla base del contributo derivante dalle aree urbanizzate o di uso agricolo. Il valore calcolato con il modello Vollenweider arriva a circa 100 mg/L, mentre i valori rilevati nel 2022-2023, a parte alcuni campioni di giugno 2022, sono nettamente inferiori. I dati dei fosfati riportati in Tab. 1 sono nettamente inferiori anche a quelli riportati in Marcheggiani et al. (a cura di) nel 2010, dai quali risultavano concentrazioni intorno a 1 -2 mg/L.

Un risultato analogo è stato ottenuto per l'azoto totale: i valori riportati in Tab. 1 sono nettamente inferiori a quelli riportati in Marcheggiani et al. (a cura di), 2010. Tutto questo potrebbe indicare che, nonostante l'estensione delle aree destinate a uso agricolo o urbanistico presenti nel bacino del lago, il rilascio di fosfati e di nitrati negli ultimi anni è molto diminuito oppure che le acque del lago presentano una significativa capacità di autodepurazione, almeno per quanto riguarda questi nutrienti.

Per quanto riguarda pH e conducibilità, dati rappresentativi, anche se poco recenti, su campioni provenienti da siti diversi e prelevati in inverno e in estate, sono riportati in Catalani et al. (2006). Da questi dati risulta che il pH cresce nel mese di agosto rispetto ai mesi autunnali-invernali. I valori si avvicinano a quelli dei prelievi di giugno 2022, anche se rimangono più bassi. I valori di conducibilità sono paragonabili a quelli riportati in Tab. 1 sia per i valori sia per la distribuzione, molto omogenea, rispetto ai siti. Un dato significativo è l'andamento stagionale: in agosto il valore della conducibilità aumenta rispetto ai mesi invernali del 25% circa. Questo dipende in gran parte dall'aumento della temperatura (la conducibilità aumenta con la T di circa il 2% per ogni aumento di un grado), ma riflette anche il fatto che ci sono più specie ioniche discolte.

Le analisi più recenti presenti in letteratura sono del 2016 (Cangemi et al., 2017) ma pochi sono i dati per i quali è possibile un confronto. Per quanto riguarda i nitrati, i valori sono confrontabili. Per HCO_3 , assumendo che sia l'unica specie che contribuisce all'alcalinità totale, i valori riportati in Cangemi et al. (2017) risultano più elevati del valore più elevato presente in Tab. 1 (3,2 contro 2,8). Analogamente, anche i valori di pH riportati nel lavoro sono nettamente inferiori a quelli del campionamento 2022-2023; tuttavia, questi non sono coerenti con le elevate quantità di HCO_3 riportate nello stesso lavoro. Infatti, per

avere valori del pH vicini a quelli riportati da Cangemi et al. (2017), una soluzione contenente quelle quantità di HCO_3 , dovrebbe essere esposta a una pressione di CO_2 di circa quattro volte quella atmosferica (calcoli eseguiti con il software VminteQ). Anche il valore di conducibilità riportato in Cangemi et al. (2017) risulta circa il 40% superiore a quello che dovrebbe essere tenendo conto delle concentrazioni ioniche da loro rilevate. I valori dei cloruri riportati da Cangemi et al. (2017) sono nettamente inferiori a quelli di Tab.1.

3.4 – OSTRACOFAUNA DEL LAGO DI BRACCIANO (N. Cantadori, M. Di Loreto, E. Gliozzi, I. Mazzini, G. Rossetti)

Lo studio delle ostracofaune viventi del Lago di Bracciano si inserisce in un più ampio quadro di conoscenze su questo grande corpo idrologico incluso nel Foglio Geologico 1:50.000, importante non solo in quanto rappresenta uno degli ecosistemi lacustri profondi dell'Italia centrale, parte di un Parco Regionale e quindi area protetta, ma anche, dal 1984, riserva idrica strategica per la città di Roma e, non in ultimo, risorsa economica per il turismo che interessa le sue spiagge. La qualità delle acque del Lago di Bracciano e lo stato di conservazione dei suoi ambienti lacustri sono quindi soggette a valutazioni da parte delle agenzie nazionali e regionali (tra le altre, ISPRA e ARPA Lazio) e oggetto di diversi studi scientifici.

È ormai ampiamente accettato che, accanto al monitoraggio più strettamente fisico-chimico delle acque, lo studio delle comunità planctoniche e bentoniche vegetali e animali rappresentino un valido strumento per la valutazione dello stato trofico degli ecosistemi lacustri e, in ultima analisi, della qualità ambientale di un lago (Margaritora et al., 2003; Bazzanti et al., 2012). Nel caso del Lago di Bracciano, fin dagli inizi del secolo scorso e, più in particolare, negli ultimi 50 anni, sono stati intrapresi diversi studi che riguardano lo zooplankton (Rotiferi, Cladoceri, Copepodi) (Ferrara et al., 2002 con riferimenti bibliografici) e lo zoobenthos litorale (Mastrantuono, 1995; Mastrantuono & Mancinelli, 2003; Margaritora et al., 2003; Mastrantuono et al., 2008) e profondo (Bazzanti, 1981; Margaritora et al., 2003).

Nell'ambito dello zoobenthos, tuttavia, lo studio degli ostracodi è sempre rimasto marginale e corredata prevalentemente da identificazioni a livello generico (Zschokke, 1911; Mastrantuono, 1995; Mastrantuono & Mancinelli, 2003). Questi autori riportano i seguenti 8 taxa: *Darwinula stevensoni*, *Candona* sp., *Cypria ophtalmica*, *Ilyocypris* sp., *Strandesia* sp., *Cypridopsis vidua*, *Limnocythere* sp. e *Cytherissa lacustris*. Con i campionamenti effettuati nell'ambito del Progetto CARG 1:50000 F. 364 "Bracciano" si è inteso ampliare le conoscenze sulle specie di ostracodi viventi nel lago.

Ogni stagione nell'arco di un anno (giugno 2022 – luglio 2023) sono stati prelevati tre campioni litorali, rispettivamente a circa 1, 7 e 15 m di profondità in 14 stazioni intorno all'intero perimetro del lago (Fig. L6); solo nella stagione estiva, invece, sono state campionate 30 stazioni profonde (campioni S da 30 a 188 m di profondità) (Fig. L6). Complessivamente, sono state rinvenute le seguenti tredici specie: *Darwinula stevensoni* Brady & Robertson, 1885, *Neglecandona angulata* (G. W. Müller, 1900), *Fabaeformiscandona fabaeformis* (Fischer, 1851), *Cypria lacustris* Lilljeborg in Sars, 1890, *Ilyocypris* sp., *Bradleyocypris obliqua* (Brady, 1868), *Herpetocypris chevreuxi* (Sars, 896), *Heterocypris* sp., *Cypridopsis vidua* (O.F. Müller, 1776), *Limnocythere inopinata* (Baird, 1843), *Limnocythere stationis* Vavra, 1891, *Cyprideis torosa* (Jones, 1850) e Leptocytheridae indet. (Fig. L21). Rispetto agli studi precedenti sopra citati, nei nuovi campioni non è presente *Cytherissa lacustris* (Sars, 1863) (di quest'ultima specie è stata ritrovata una sola valva sciolta nel campione autunnale 8-3). Per contro, sono state raccolte cinque ulteriori specie: *F. fabaeformis*, *H. chevreuxi*, *L. stationis*, *C. torosa* e Leptocytheridae indet. Il ritrovamento di quest'ultima specie rappresenta la seconda segnalazione accertata in acque dolci (0,2 psu) in Europa. Il primo ritrovamento è stato effettuato al Lago Trasimeno, dove la specie è ampiamente diffusa (Marchegiano et al., 2017 con riferimenti bibliografici).

I campioni con ostracofauna più ricca, sia in termini di numero di specie, sia di abbondanza dei carapaci adulti e giovani, sono quelli estivi ed autunnali. In particolare, la massima biodiversità si raggiunge in estate nel sito 1 (La Marmotta), campioni 1.1 e 1.2. Complessivamente sono state rinvenute 6 specie tra 0,05-1 m di profondità, di cui due (*C. vidua* e *H. chevreuxi*) rinvenute esclusivamente in mezzo alla pianta esotica invasiva *Ludwigia hexapetala* (Hook. & Arn.) Zardini, H.Y.Gu & P.H.Raven. In autunno, la massima biodiversità di 6 specie si raggiunge, invece, nel sito 8 (Vicarello), nel campione 8.1 a circa 1,2 m di profondità

In generale, *D. stevensoni* e *C. torosa* sono le specie più comuni nei campioni litorali da 0,5 a 15 m di profondità. *N. angulata* è stata raccolta soprattutto nei campioni a 15 m di profondità, associata a *C. torosa* e spesso anche a *D. stevensoni* e *Ilyocypris* sp. Intorno ai 7 m di profondità (più raramente a -15 m) sono presenti, particolarmente in estate e autunno, estesi letti di Characee ma, contrariamente alle aspettative, gli ostracodi in associazione con questa macroalga sono stati rinvenuti solo raramente e con due sole specie: *C. torosa* e *C. vidua*.

I campioni profondi sono generalmente privi di ostracodi. Solo in 3 campioni sono stati ritrovati ostracodi completi di parti molli: nel campione S12 (-30 m) solo Leptocytheridae indet e nei campioni S26 e S27 (rispettivamente a -145 e -

107 m) solo *Cypria lacustris*. Quest'ultima specie è segnalata da Meisch et al. (2019) come colonizzatrice di aree lacustri profonde.

3.5 – MACROFITE DEL LAGO DI BRACCIANO (S. Ceschin, L. Pinzani)

In condizioni naturali e in assenza di disturbi, la vegetazione macrofitica dei laghi vulcanici si sviluppa formando delle fasce concentriche sia in acqua che lungo le sponde (Iberite, 2007). I parametri ecologici che influenzano maggiormente la formazione di queste fasce sono il livello dell'acqua, la morfologia del fondale e la natura del sedimento (limo, sabbia, ghiaia, ciottoli); variazioni di questi parametri determinano la comparsa o scomparsa di differenti comunità vegetali.

Le diverse attività umane registrate presso le sponde del Lago di Bracciano hanno modificato spesso la vegetazione ripariale, trasformando l'uso del territorio da naturale ad agricolo, urbano o turistico-ricreativo. Tali attività hanno alterato indirettamente anche le comunità macrofitiche strettamente acquatiche in conseguenza di alterazioni nella qualità delle acque e dei suoi parametri chimico-fisici.

Le principali comunità macrofitiche presenti al Lago di Bracciano sono riportate di seguito seguendo una seriazione spaziale sponda-acqua (Fig. L22):

- Formazioni arboree dominate da salici (*Salix alba*, *S. purpurea*), pioppi (*Populus nigra*, *P. alba*) ed ontano nero (*Alnus glutinosa*).
- Fascia ad elofite caratterizzata dalla presenza di specie erbacee perenni in gran parte emergenti fuori dall'acqua, come canna di palude (*Phragmites australis*), tifa (*Typha angustifolia*) e lista lacustre (*Schoenoplectus lacustris*), fascia che in acqua può arrivare fino ad una profondità di 2 m.
- Vegetazione ripariale a grandi carici che si sviluppa su sponda emersa. In questa fascia, oltre ai carici (*Carex pseudocyperus*, *C. paniculata*), si possono trovare il giaggiolo di palude (*Iris pseudacorus*), la mazza d'oro (*Lysimachia vulgaris*) e la salcerella (*Lythrum salicaria*).
- Prati igrofili su suolo idromorfo caratterizzati dalla presenza di giunchi (*Juncus effusus*, *J. Inflexus*, *Scirpoides holoschoenus*), equiseti (*Equisetum telmateja*) e zigoli (*Cyperus glomeratus*, *C. longus*).
- Vegetazione macrofitica crescente nella zona dell'interfaccia sponda/acqua influenzata dalle oscillazioni annuali del livello delle acque. Nel periodo primaverile, in pozze temporanee, sono presenti piccole piante acquatiche non radicate ma liberamente flottanti sulla superficie dell'acqua (pleustofite), come la lenticchia d'acqua comune (*Lemna minor*) o la felce acquatica (*Azolla filiculoides*). Queste specie risultano spesso accompagnate da *J. articulatus*, *Eleocharis palustris* e la rara *E. acicularis*, che trovano il loro massimo

sviluppo nel periodo tardo estivo, cioè quando l'acqua ritirandosi, scopre il sottostante suolo fangoso, permettendo la germinazione e la crescita di queste specie. A livello locale, la conservazione di questa fascia vegetazionale è particolarmente minacciata dalla presenza invasiva della macrofita aliena *Ludwigia hexapetala*, oggetto di recenti studi sul suo forte impatto sulle comunità native (Pelella et al. 2023a,b; Pelella et al. 2024). *Ludwigia hexapetala*, nonostante sia stata segnalata a Bracciano di recente (Azzella & Iberite 2010; Galasso et al. 2019), è diffusa in molti settori del Lago, avendo una riproduzione vegetativa molto attiva, oltre che molteplici forme di crescita che le consentono di colonizzare in modo competitivo sia l'ambiente acquatico che quello spondale.

- Fascia vegetazionale caratterizzata da popolamenti a piante acquatiche radicate (rizofite) che crescono sia vicino alla sponda che a svariati metri di profondità, con caratteristiche fioriture affioranti sopra la superficie dell'acqua. Le specie più rappresentative di questa fascia sono *Potamogeton nodosus*, *P. perfoliatus* e *Myriophyllum spicatum*. Nelle zone meno profonde, tali popolamenti sono spesso accompagnati da specie di valenza naturalistica, come la pianta acquatica carnivora *Utricularia* e alcune Characee come *Nitella tenuissima* e *Lychnothamnus barbatus* (Azzella 2012, 2014).
- Di notevole interesse conservazionistico è la presenza di *Isoëtes sabatina* (Troia & Azzella 2013), una piccola felce acquatica radicata, endemica per l'Italia, rinvenuta esclusivamente nella costa sudorientale del Lago, dove cresce su un substrato sabbioso in acque chiare, povere di nutrienti e ad una profondità di 0.5-2.5 m. Questa specie è attualmente considerata a rischio di estinzione secondo i criteri della IUCN (Christenhusz et al. 2017).
- Praterie macroalgali bentoniche a dominanza di Characeae (localmente sono state riconosciute 16 specie diverse) che possono svilupparsi in tre fasce vegetazionali differenti fino a crescere anche oltre i 20 m di profondità. Tali popolamenti, che nei laghi vulcanici spesso raggiungono elevate percentuali di copertura, sono da considerarsi i principali produttori di questi ecosistemi lacustri.

4. LAGO DI MARTIGNANO

4.1 BATIMETRIA ED ELEMENTI GEOMORFOLOGICI DEL FONDALE DEL LAGO DI MARTIGNANO (A. Argentieri, G. Cristofalo, M. Fabiani, F. Liggio, M. Marchetti, G. Rotella, D.M.R. Taliana)

Morfologia e batimetria del Lago di Martignano sono state ottenute integrando i dati acquisiti sia da drone aereo per le aree emerse che da drone

MBES per quelle sommerse. Nell'ambito delle elaborazioni condotte sono state prodotte cartografie riferita sia al livello ortometrico di 199,607 m s.l.m. che a livello lago (Fig. CMRC4; Fig. CMRC5; Fig. CMRC6).

Il Lago di Martignano presenta una batimetria che si approfondisce dapprima dolcemente fino a raggiungere il ciglio di un terrazzo sommerso, che corre continuo lungo le sponde, riconoscibile lungo tutto la fascia perimetrale del lago. Il terrazzo morfologico si estende dalla costa per circa 150 m (tra un minimo di 95 m e un massimo di 200 m); il ciglio del terrazzo si trova a profondità di circa 12-15 metri sotto il livello del lago (eventuale Fig. L23 Profilo topografico). Questo terrazzo può essere probabilmente associato al Terrazzo VIII descritto in letteratura, dove sono radicati alberi in posto testimonianti la presenza di un querceto di età tardo imperiale-medioevale (396-554 d.C. - 541-615 d.C.) (Puglisi & Savi Scarponi, 2011) (vedi paragrafo VI 1.2.2 delle presenti note illustrate e Fig. L3). Nuove evidenze geofisiche di possibili fusti arborei in posizione fisiologica sono state osservate, tramite il rilievo SSS eseguito nel 2020, in altre due zone sommerse, poste ai margini rispettivamente sud-est e est del lago. Si tratta una serie di *targets* di sezione semi circolare di diametro medio di circa 1 m e forma allungata, che sono stati stimati (in base alle ombre dagli stessi proiettate rispetto al segnale acustico) in un intervallo di altezze tra 0,5 e 4 m (valori media 1-1,5 m). Questi *target* potrebbero essere interpretati come ulteriori tronchi fossili, posti però a profondità maggiori (tra -20 e -35 m) rispetto a quelli censiti in letteratura.

Sia sul dato MBES che sul dato SSS il terrazzo appare avere un fondale molto irregolare, probabilmente dovuto alla presenza di una fitta vegetazione lacustre. Andando a profondità maggiori, la morfologia evolve rapidamente raggiungendo un'ampia zona subpianeggiante con una profondità media di circa 40 m e leggermente asimmetrica, con le maggiori profondità concentrate nel settore centro-settentrionale (Fig. L23 Profilo topografico).

La scarpata di raccordo con la zona centrale del lago varia in media da -15 m (ciglio del terrazzo) fino alla zona pianeggiante al centro del lago, a circa -35 m rispetto alla superficie del lago. I gradienti massimi di quasi 40° vengono raggiunti nella zona ovest del lago, in prossimità di una zona più estesa del terrazzo, forse relativa ad un affioramento più consistente di substrato roccioso. Di questo, solo una parte è visibile proprio lungo la scarpata, ben evidente sul dato SSS. In generale, comunque, le scarpate che raccordano il terrazzo con la parte centrale semi pianeggiante del lago hanno gradienti maggiori nel lato est che in quello ovest (Fig. L24 -3D del lago).

La zona più depressa del lago è movimentata dalla presenza di numerosi depressioni e *pockmarks* di varie dimensioni, dove si raggiungono le maggiori profondità, fino a un massimo di circa -66 metri all'interno della depressione più grande presente al centro dello stesso.

In particolare, il fondale è caratterizzato da una serie di depressioni subcircolari di dimensioni variabili tra circa 1 m di diametro fino a circa 100 m. Le maggiori depressioni, ubicate prevalentemente nel settore settentrionale del bacino, sono state interpretate come crateri legati alla passata attività vulcanica (diametro tra 30 m e 100 m, profondità da 1,7 m a 13 m). La più grande, battezzata **“Cratere Tondo”**, è quella in cui è stata misurata la profondità maggiore nel lago. Crateri di dimensioni inferiori e in numero minore sono presenti anche nella zona meridionale del lago. Le depressioni più piccole (diametro tra 0,5 m e 30 m, profondità da 0,5 m a 5,5 m) sono state invece interpretate come *pockmark*, legati a piccole emissioni di fluidi, tuttora attive e osservate durante il rilievo SSS. La segnatura registrata è rappresentata da disturbi del segnale sismico e da iperboli di diffrazione al di sopra dei punti di degassazione, rilevabili in alcuni casi – in corrispondenza dei *pockmarks* maggiori – come colonne di torbidità. La mappatura dei segnali di emissione, riportata in Fig. L25CMRC6), mostra una concentrazione prevalente nel settore settentrionale del bacino.

Le depressioni descritte appaiono disposte lungo allineamenti preferenziali, individuabili secondo le direttive NNE-SSW e NW-SE, ben note nella vulcanotettonica della regione sabatina (AGGIUNGERE CITAZIONE).

Il rilievo sismologico eseguito con SBP ha invece identificato, particolarmente nella zona del terrazzo meridionale, un'area in cui un'anomalia acustica all'interno dei sedimenti oblitera parzialmente o completamente il segnale impedendo la segnatura dei riflettori interni. Tale evidenza è attribuibile probabilmente alla presenza di gas e/o fluidi dispersi nei sedimenti, probabilmente in relazione alla presenza di emissioni nella colonna d'acqua del settore settentrionale del lago.

Il mosaico SSS presenta in generale un *backscatter* basso, che indica la presenza sul fondale del lago di sedimenti di granulometria da fine a media (argille e sabbie fini). All'interno dell'area del lago non sono stati fatti campionamenti, ma sulle spiagge che lo circondano si osservano argille e silt nella zona settentrionale, mentre in quella meridionale si riscontra la presenza di sabbie da medie a grossolane. Sono state notate anche zone a *backscatter* leggermente più alto sia nella parte centrale del lago che lungo il terrazzo, interpretate come depositi di sedimenti più grossolani.

4.1.1 - Rilievo sismo-stratigrafico

La geologia superficiale dell'area del rilievo è stata investigata mediante dati Sub-bottom Profiler caricati su SMT's Kingdom Suite Interpretation Software. La velocità applicata ai dati è di 1600 m/s, per la conversione da tempi a profondità (m).

Quasi ovunque nell'area del lago è presente una prima unità sismostratigrafica (Unità A) (eventuale Fig. 26 profilo sismico dove si vedono le unità descritte) caratterizzata dalla presenza di deboli riflettori interni piano-parallelì che drappeggiano la morfologia sottostante, probabilmente relativi alla deposizione pelitica attuale e/o recente all'interno del Lago di Martignano. Questa unità più recente ha uno spessore generalmente inferiore a 2 m, fatta eccezione per piccole aree di accumulo alla base della scarpata settentrionale, ai piedi del terrazzo. La base di questa unità è il riflettore H01, ben visibile nella quasi totalità dell'area come un orizzonte a media ampiezza.

Nella parte centrale del lago l'Unità A è l'unica visibile, mentre al di sotto il dato sismico si presenta sordo e non si riconosce alcuna struttura interna. Probabilmente il substrato presente è costituito dai Tufi di Martignano che circondano l'area del lago.

Nei settori meridionale e occidentale del lago si individua un'altra unità al di sopra del substrato vulcanico (Unità B). È caratterizzata da sottili stratificazioni che presentano delle ampiezze del segnale acustico da basse a moderate, e talvolta assume un carattere più sordo. La base dell'unità B è il riflettore H05, un riflettore ad ampiezza medio alta, che si trova a profondità variabili sotto al fondale del lago: l'unità B ha in media uno spessore medio di circa 1 m, ma nella parte meridionale del lago, dove è presente il terrazzo, la copertura sedimentaria fino ad un massimo di 5,5 m. Nella parte superiore del terrazzo deposizionale è anche presente una discordanza angolare probabilmente legata ad una fase erosiva. In particolare, in quest'area, dove si è depositato lo spessore maggiore di sedimenti, è possibile notare la presenza di un riflettore interno (H02) che divide un livello privo di struttura interna nella parte superiore, da quello inferiore che invece presenta stratificazioni con ampiezze da medie ad alte. Si tratta probabilmente di deposizione pelitica alternata a sabbie fini o silt.

È possibile che la presenza di livelli di depositi più grossolani impedisca la penetrazione del segnale del SBP, anche localmente dove il riflettore H01 oblitera in parte il riflettore H05 in corrispondenza di un aumento di ampiezza probabilmente legato a sedimenti di granulometria maggiore.

BIBLIOGRAFIA

ACCARDO S., BACCI M., BROGGI A., CARUSO I., CECCONI S., CORDIANO G., DOLCI M., GILENTO P., ISOLA C., LAZZERETTI A., SOLDATINI C & TRAVAGLINI S. (2007) – *Sabatia Stagna. Insediamenti*

perilacustri ad Anguillara e dintorni di età romana. Edizioni ETS: 298 pagg.

ALESSIO M., BELLA F., IMPROTA S., BELLUOMINI G., CALDERONI G., CORTESI C., MANELLI G.L., VIGILANTE A. (1975) - *University of Rome Carbon-14, Dates XIII.* Radiocarbon, **17**(3): 313-327.

APAT, IRSA-CNR (2004). *Metodi analitici per le acque.* APAT Manuali e Linee Guida, **29** (2003): 110 pp.

ARGENTIERI A., CRISTOFALO G.C., FABIANI M., MARCHETTI M., PIACENZA M., ROTELLA G., TALIANA D.M.R. (2022) - *Risk Evaluation and management in lacustrine environment: bathymetric and morphologic survey of Martignano and Bracciano lakes (metropolitan area of Rome, Italy).* Abstract Book del 91° Convegno della Società Geologica Italiana (SGI) e della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia (SIMP) “Geosciences for a sustainable future”, Torino, 19-21/9/2022: 1002.

ARGENTIERI A., ROTELLA G., FABIANI M., CAPELLI G., MAZZA R., RAFFI R. (2024) - *Cosa c'è sotto? breve storia dell'esplorazione dei fondali dei laghi vulcanici dell'area metropolitana di Roma Capitale (Italia centrale) - What lies beneath? brief history of exploration of volcanic lacustrine beds in the metropolitan area of Rome (central Italy).* Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater, **AS48-760**: 133 - 138 (DOI 10.7343/as-2024-760).

ARPA LAZIO (2017) - <http://www.arpalazio.gov.it/ambiente/acqua/dati/balneazione/balneazione.htm?comune=bracciano&prov=ROMA&lagoID=5>

AZZELLA M.M. & IBERITE M. (2010) - 40. In: NEPI C., PECCENINI S., & PERUZZI P. (Eds), *Notulae alla Flora Esotica d'Italia: 3* (38–53). Informatore Botanico Italiano, **42**(2): 533.

AZZELLA M.M. (2012) - *Flora, Vegetazione e Indicatori Macrofitici Dei Laghi Vulcanici d'Italia.* Tesi di Dottorato. Università della Sapienza di Roma (Roma, Italia).

AZZELLA M.M. (2014) - *Italian Volcanic Lakes: A Diversity Hotspot and Refuge for European Charophytes.* Journal of Limnology, **73**(3).

BACCETTI N., BELLUCCI V., BERNABEI S., BIANCO P., BRACA G., BUSSETTINI M., CASCONE C., CICCARESE L., D'ANTONI S. & GRIGNETTI A. (2017) - *Analisi e Valutazione dello Stato Ambientale*

- del Lago di Bracciano Riferito all'estate 2017.* Rapp. ISPRA 2017, **18**: 1–56.
- BARBANTI L. & CAROLLO A. (1969) - *Batimetria e geomorfologia dei laghi sabatini (Bracciano, Martignano e Monterosi).* Mem. Ist. Ital. Idrobiol., **25**: 161-196.
- BATTAGLINI L., CARTA R., CIPRIANI A., CONSORTI L., D'AMBROGI C., DI MANNA P., D'OREFICE M., FALCETTI S., FIORENTINO A., FIORENZA D., LETTIERI M., LO FARO S., MARTARELLI L., MURARO C., OREFICE S., PAPASODARO F., PIERUCCIONI D., RADEFF G., SILVESTRI S., SIMONETTI M., TROCCOLI A., VITA L. (2022) –*Aggiornamento e integrazioni delle linee guida per la realizzazione della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Progetto Carg modifiche ed integrazioni ai Quaderni N. 1/1992, N. 2/1996, N. 6/1997 E N. 12/2009, ISPRA.* ISPRA, Quaderni serie III: **15**, Versione 1.0/2022,
- BAZZANTI M. (1981) – *Survey of the macrobenthic community in an area of Lake Bracciano (Central Italy).* Boll. Zool **48**: 295-303.
- BAZZANTI M., MASTRANTUONO L., SOLIMINI A.G. (2012) - *Selecting macroinvertebrate taxa and metrics to assess eutrophication in different depth zones of Mediterranean lakes.* Fundam. Appl. Limnol. Vol. **180**(2): 133–143.
- BEAUDOIN J., HUGHES CLARKE J.E., VAN DEN AMEELE E.J. & GARDNER, JAMES V. (2002) - *Geometric and Radiometric Correction of Multibeam Backscatter Derived from Reson 8101 Systems.* Canadian Hydrographic Conference: 242.
- BELARDELLI C., ANGLE M., DI GENNARO F. & TRUCCO, F. (2007) - *Repertorio dei siti protostorici del Lazio. Province di Roma, Viterbo, Frosinone. Regione Lazio.* Edizioni “All’Insegna del Giglio”, 1-480 pagg.
- BIASINI A., BUONASORTE G., CICCACCI S., FREDI P. & LUPIA PALMIERI E. (1993) – *Carta del reticolo idrografico.* In: CICCACCI S. & FREDI P. (Ed.), Complesso vulcanico dei Monti Sabatini. Carte geotematiche. Progetto Finalizzato Geodinamica. Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- BRUNO M., MARCHIORI E., MECOZZI M., CONGESTRI R., MELCHIORRE S., FALLENI F. & NUSCA A. (2006) - *Risanamento Trofico Negli Ecosistemi Lacustri: Confronto fra i Laghi di Bracciano e Martignano.* Rapporti ISTISAN 06/11: 47 pagg.

- CANGEMI L., CLARONI F., MEDICI F., NALE T. (2017) - *Strategie di studio e recupero degli ecosistemi lacuali (Direttiva 2000/60/CE): un modello di sperimentazione sul lago di Bracciano*. Gazzetta Ambiente (2017): 71-80.
- CAPUTO C., CICCACCI S., D'ALESSANDRO L., DAVOLI L., FREDI P., LA MONICA G.B., LUPIA PALMIERI E., PUGLIESE F., RAFFI R. (1986) - *Progetto «Lago Albano». Indagini climatiche, geomorfologiche e sedimentologiche*. Provincia di Roma, 1-14.
- CARAPEZZA M.L, LELLI M. & TARCHINI L. (2008) – *Geochemistry of the Albano and Nemi crater lakes in the Volcanic District of Alban Hills (Rome, Italy)*. Journal of Volcanology and Geothermal Research **178**: 297–304.
- CAROLLO A, BARBANTI L., BONOMI G., CHIAUDANI G., FERRARI I., GERLETTI M., NOCENTINI A.M., RUGGIU D. (a cura di) (1971) - *Limnologia ed ecologia dei laghi di Bolsena, Bracciano, Trasimeno e Vico : situazione attuale e prevedibili conseguenze derivanti da una loro utilizzazione multipla : rapporto finale giugno 1971*. Istituto Italiano di Idrobiologia, Pallanza, 263 pp.
- CATALANI A., MEDICI F. & RINALDI G. (2006) - *Bracciano's lake waters: an experimental survey on the surface layer pollution*. Annali di Chimica **96**: 743-749.
- CHRISTENHUSZ M., BENTO ELIAS R., DYER R., IVANENKO Y., ROUHAN G., RUMSEY F. & VÄRE H. (2017) - *Isoetes sabatina. The IUCN Red List of Threatened Species*, 2017: e.T83515150A83515211.
- CITTÀ METROPOLITANA DI ROMA CAPITALE & FUGRO ITALY S.P.A. (2020) - *Rapporto Operativo Servizio di Rilievo Batimetrico e Morfologico del bacino lacustre di Martignano*. 20J491- Rapporto Finale 01 | 31 March 2020- Committente: Città metropolitana di Roma Capitale, Soggetto esecutore Fugro Italy S.p.A., 37 pp., 4 appendici, 5 tavole.
- CITTÀ METROPOLITANA DI ROMA CAPITALE & FUGRO ITALY S.P.A. (2022) – *Rapporto Operativo Servizio di Rilievo Batimetrico e Morfologico del bacino lacustre di Bracciano*. F186371- Rapporto Finale 00 | 23 December 2021- Committente: Città metropolitana di Roma Capitale, Soggetto esecutore Fugro Italy S.p.A., 88 pp., 7 appendici, 28 tavole.
- CORDIANO G. (a cura di) (2017) – *Sabatia Stagna 3. Vigna Orsini (Bracciano): da villa romana semisommersa a luogo di sepoltura e venerazione dei*

martiri foroclodiensi. Indagini archeologiche (2013-2017) a UT 135.
Edizioni ETS: 261 pagg.

CORDIANO G., ACCARDO S., CALVO P., DOLCI M., INSOLERA E., LAZZERETTI A. & RUSSO S. (2011) – *Sabatia Stagna 2. Nuovi studi sugli insediamenti perilacustri di età romana nella zona del Lago di Bracciano*. Edizioni ETS: 176 pagg.

DAMIANI I., PETITTI P. & TRUCCO F. (2008a) - *L'insediamento sommerso di Sposetta*. Catalogo della Mostra “Metalli Preistorici della Tuscia”. Museo della Preistoria della Tuscia e della Rocca Farnese, collana di studi, Testi e Cataloghi 2: 28-31.

DAMIANI I., PETITTI P. & TRUCCO F. (2008b) - *Aspetti cronologici e primo inquadramento del villaggio sommerso di Sposetta nel lago di Bracciano*. Atti del Nono Incontro di Studi “L’alba dell’Etruria. Fenomeni di continuità e trasformazione nei secoli XII-VIII a.C. Ricerche e scavi”, Valentano (Vt) – Pitigliano (Gr), 12-14 Settembre 2008: 685-696.

DE AGOSTINI G. (1898) – *Esplorazioni idrografiche sui laghi vulcanici della provincia di Roma*. Boll. Soc. Geogr. Ital, 11: 69-84.

DE AGOSTINI G. (1917) – *Atlante dei Laghi Italiani*. Istituto Geografico De Agostini, Novara.

DE RITA D., DI FILIPPO M., ROSA C. (1996). *Structural evolution of the Bracciano volcano-tectonic depression, Sabatini Volcanic District, Italy*. In: MCGUIRE W.J., JONES A.P. & NEUBERG J. (eds) 1996, Volcano Instability on the Earth and Other Planets. Geological Society Special Publication No. 110, pp. 225-236.

DRAGONI W., PISCOPO V., DI MATTEO L., GNUCCI L., LEONE A., LOTTI F., MELILLO M., PETITTA M. (2006). *Risultati del progetto di ricerca PRIN "laghi 2003-2005"*. Giornale di Geologia Applicata 3 (2006) 39-46.

FERRARA O., VAGAGGINI D. & MARGARITORA F.G. (2002) - *Zooplankton abundance and diversity in Lake Bracciano, Lazio, Italy*. J. Limnol., 61(2): 169-175.

FERRI RICCHI, L. (1972) - *La foresta pietrificata*. Mondo Sommerso, 14(5): 114-115.

FERRI RICCHI L. (2001) – *Oltre l’Avventura. Misteri e meraviglie del mondo sotterraneo sommerso*. IRECO, 286 pagg. con integrazioni online

[www.lambertoferriricchi.it/test2//wp-content/uploads/2015/01/pdf/
MARTIGNANO.pdf](http://www.lambertoferriricchi.it/test2//wp-content/uploads/2015/01/pdf/MARTIGNANO.pdf)

FUGAZZOLA DELPINO M.A. (1982) - *Rapporto preliminare sulle ricerche condotte dalla Soprintendenza Archeologica dell'Etruria Meridionale nei bacini lacustri dell'apparato vulcanico sabatino*. Archeologia Subacquea suppl. 4(1982) del Bollettino d'Arte: 123-149.

FUGAZZOLA DELPINO M.A., D'EUGENIO G.D., PESSINA A. (1993) - *La Marmotta* (Anguillara Sabazia, RM). Scavi 1989. Un abitato perilacustre di età neolitica. Bollettino di Paletnologia Italiana 84 nov. s. II, 181- 304.

FUGAZZOLA DELPINO, M.A., MINEO, M. (2005) - *La piroga neolitica del lago di Bracciano ("La Marmotta 1")*. Bollettino di Paletnologia Italiana 86 nov. s. IV, 197- 266.

FUGAZZOLA DELPINO M.A. & TINAZZI O. (2010) - *Dati di cronologia da un villaggio del Neolitico antico. Le indagini dendrocronologiche condotte sui legni de La Marmotta (Lago di Bracciano-Roma)*. Miscellanea in ricordo di Francesco Nicosia, Studia Erudita, Fabrizio Serra Editore: 1-10.

GAFEIRA J. & LONG D. (2015) - *Geological investigation of pockmarks in the Scanner Pockmark SCI area*. JNCC Report No 570. JNCC Peterborough.

GALASSO G., DOMINA G., ANDREATTA S., ANGIOLINI C., ARDENGHINI N.M. G., ARISTARCHI C., ARNOUL M., AZZELLA M.M., BACCHETTA G., BARTOLUCCI F., ET AL. (2019) - *Notulae to the Italian Alien Vascular Flora*: 8. Italian Botanist, 8: 63-93.

GIULIANI C., CARONTE VEISZ, A., PICCINNO M. & RECANATESI F. (2019) - Estimating vulnerability of water body using Sentinel-2 images and environmental modelling: the study case of Bracciano Lake (Italy), European Journal of Remote Sensing, 52 (sup. 4): 64-73.

IBERITE M. (2007) - *Macrofite*. In STOCH, F. (a cura di), *Laghi Vulcanici*. Quaderni Habitat, 17: 55-66.

JONES A.T., LOGAN G.A., KENNARD J.M. & ROLLET N. (2005) - *Reassessing potential origins of Synthetic Aperture Radar (SAR) slicks from the Timor Sea Region of the North West Shelf on the basis of field and ancillary data*. APPEA Journal, 45: 311-331. 10.1071/AJ04026.

- MAGNI M.C., BERGAMIN L., PIERFRANCESCHI G., VENTI F. & ROMANO E. (2016) - *Metodologie e strumentazioni per le analisi granulometriche dei sedimenti*. Workshop “Le analisi granulometriche nei sedimenti marini. Risultati del I Circuito di Intercalibrazione per le analisi granulometriche”, Roma, 17 novembre 2016.
- MARCHEGGIANI S., PAOLETTI G., GUARINO A. & MANCINI L. (a cura di) (2010) - *Aree protette della Regione Lazio, un caso studio: i corsi d'acqua del Parco Naturale Regionale di Bracciano-Martignano*. Rapporti ISTISAN 10/9: 45 pagg.
- MARCHEGIANO M., GLIOZZI E., CESCHIN S., MAZZINI I., ADATTE T., MAZZA R., ARIZTEGUI D. (2017) - *Ecology and distribution of living ostracod assemblages in a shallow endorheic lake: the example of the Lake Trasimeno (Umbria, central Italy)*. Journal of Limnology, **76**(3): 469-487.
- MARGARITORA F. G., BAZZANTI M., FERRARA O., MASTRANTUONO L., SEMINARA M., & VAGAGGINI D. (2003) - *Classification of the ecological status of volcanic lakes in Central Italy*. Journal of Limnology, **62**: 49-59.
- MASTRANTUONO L. (1995) - *Composition and structure of the invertebrate fauna in littoral sandy shores of Lake Bracciano (central Italy) and water quality monitoring*. Limnetica, **11**(2): 17-27.
- MASTRANTUONO L. & MANCINELLI T. (2005) - *Littoral invertebrates associated with aquatic plants and bioassessment of ecological status in Lake Bracciano (Central Italy)*. J. Limnol., **64**(1): 43-53.
- MASTRANTUONO L., SOLIMINI A.G., NÖGES P., BAZZANTI M. (2008) - *Plant-associated invertebrates and hydrological balance in the large volcanic Lake Bracciano (Central Italy) during two years with different water levels*. Hydrobiologia, **599**: 143-152.
- MEISCH C. (2000) - Freshwater ostracoda of western and central Europe. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg: 522 pp.
- MEISCH C., SMITH R.J. & MARTENS K. (2006) - *A subjective global checklist of the extant non-marine Ostracoda (Crustacea)*. European Journal of Taxonomy, **492**: 1-135
- MINEO M., GIBAJA J.F., MAZZUCCO N. (Ed.) (2023) - *The submerged site of La Marmotta (Rome, Italy). Decypting a Neolithic society*. Oxbow Books, Oxford, 156 pp.

- MOCCHEGIANI CARPANO C., 1976, *Osservazioni sui mutamenti di livello delle acque del lago di Martignano (Roma)*. *Prospezioni*, **1**: 25-32.
- MORAWSKI, P. (1987) - *De Agostini, Giovanni. Dizionario Biografico degli Italiani*, **33**, Istituto dell'Enciclopedia Italiana fondato da Giovanni Treccani.
- MOSELLO R., ARISCI S. & BRUNI P. (2004) – *Lake Bolsena (Central Italy): an updating study on its water chemistry*. *Journal of Limnology*, **63**(1): 1-12.
- PELELLA E., MARIANI F., QUESTINO B. & CESCHIN S. (2024) - *Environmental Conditions Influencing the Early Colonization Stage of Ludwigia hexapetala, an Aquatic Plant Recently Invasive in Italy*. *Aquatic Invasions*, **19**(2): 137-152.
- PELELLA E., QUESTINO B. & CESCHIN S. (2023a) - *Impact of the Alien Aquatic Plant Ludwigia hexapetala on the Native Utricularia australis: Evidence from an Indoor Experiment*. *Plants*, **12**(4): 811.
- PELELLA E., QUESTINO B., LUZI B., MARIANI F. & CESCHIN S. (2023b) - *Impact of the Invasive Alien Macrophyte Ludwigia hexapetala on Freshwater Ecosystems: Evidence from Field Data*. *Biology*, **12**(6): 794.
- PERRONE M., SCALICI M., CONTI L., MORAVEC D., KROPÁČEK J., SIGHICELLI, M., LECCE F., MALAVASI M. (2021) - *Water Mixing Conditions Influence Sentinel-2 Monitoring of Chlorophyll Content in Monomictic Lakes*. *Remote Sens.*, **13**: 2699.
- PROVINCIA DI ROMA (1986) - *La Provincia di Roma per la salvaguardia dei laghi*. A cura degli Assessorati “P.I. e Cultura” e “Sanità e Ambiente”: 96 pp.
- PUGLISI C. & SAVI SCARPONI A. (2011) – *Le variazioni di livello del Lago di Martignano (Roma) nella cronologia olocenica*. *The Journal of Fasti Online*, www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2011-233.pdf
- ROGERS J. N., KELLEY J.T., BELKNAP D.F., GONTZ A. & BARNHARDT W.A. (2006) - *Shallow-water pockmark formation in temperate estuaries: A consideration of origins in the western gulf of Maine with special focus on Belfast Bay*. *Marine Geology*, **225**(1-4): 45–62.
- ROSSI D. (2006) - *Variazioni della linea di costa del lago di Bracciano in relazione al nuovo modello 3D bati-morfologico del fondale*. *Volume Speciale S.It.E.* p. 5.

- ROSSI D., ROMANO E., GUYENNIN N., RAINALDI M., GHERGO S., MECALI A., PARRONE D., TAVIANI S., SCALA A., PERUGINI E. (2019) - *The present state of Lake Bracciano: hope and despair.* Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali, 30: 83-91.
- TROIA A. & AZZELLA M.M. (2013) - *Isoëtes sabatina (Isoëtaceae, Lycopodiophyta), a New Aquatic Species from Central Italy.* Plant Biosystems, 147(4): 1052-1058.
- ZSCHOKKE F. (1911) - *Die Tiefseefauna der Seen Mitteleuropas.* Dr. Werner Klinkhardt Verlag, Leipzig: 246 pp.