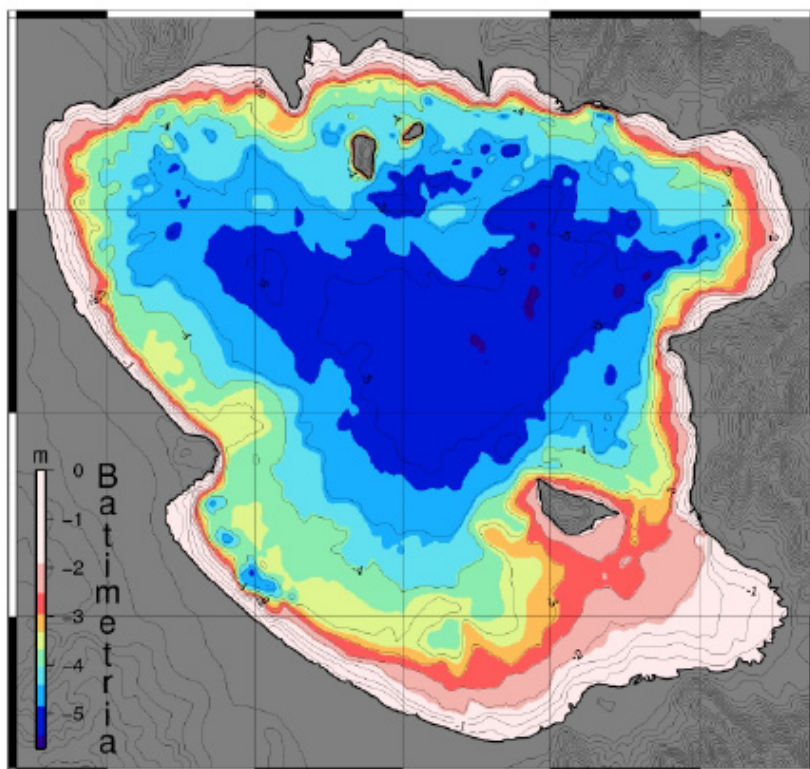




Regione Umbria
Servizio Geologico e Sismico

IL LAGO TRASIMENO: UN ARCHIVIO DEI CAMBIAMENTI GEOLOGICI ED AMBIENTALI DEL QUATERNARIO



Indice

Il progetto di ricerca delle vicende spaziali e temporali del Lago Trasimeno.

Andrea Motti, Servizio Geologico e Sismico Regione Umbria

La lunga storia del Lago Trasimeno: da golfo tirrenico a lago intramontano.

Massimiliano Rinaldo Barchi, Università di Perugia

Che cosa c'è sotto? Le nuove immagini acustiche profonde del Lago Trasimeno.

Luca Gasperini, CNR ISMAR di Bologna

La sedimentazione nel Lago Trasimeno: un miracolo di conservazione negli ultimi due milioni di anni.

Fausto Pazzaglia, Università di Perugia

La risposta del Lago Trasimeno alle variazioni climatiche ed ecologiche nel passato geologico (Pleistocene): una storia che si ripete?

Nicoletta Buratti, Università di Perugia

Bibliografia

Figure fuori volume:

- **Carta batimetrica del Lago Trasimeno con *Datum* idrometro 257.33m**
- **Carta batimetrica del Lago Trasimeno con *Datum* s.l.m.**

Volume a cura di Andrea Motti

Hanno contribuito alla impostazione ed esecuzione delle attività descritte nel volume:

- Dott. Arnaldo Boscherini –Dirigente Servizio Geologico e Sismico della Regione Umbria
- Dott. Andrea Motti - Responsabile di Procedimento, Servizio Geologico e Sismico
- Dott. Simone Gianluigi - Direzione lavori sondaggio esplorativo, Servizio Geologico e Sismico
- Dott. Natali Norman - Computergrafica, Servizio Geologico e Sismico

Il progetto di ricerca delle vicende spaziali e temporali del Lago Trasimeno

ANDREA MOTTI (*)

1. – INTRODUZIONE

I dati dell'archivio dei cambiamenti geologici ed ambientali sono depositati nei diversi «cassetti» dei depositi lacustri dei fondali del Lago Trasimeno. Con quali metodi di ricerca è stato possibile far indagare i fondali da parte dei Geologi? Come andare a veder cosa c'è sotto al di sotto del Trasimeno?

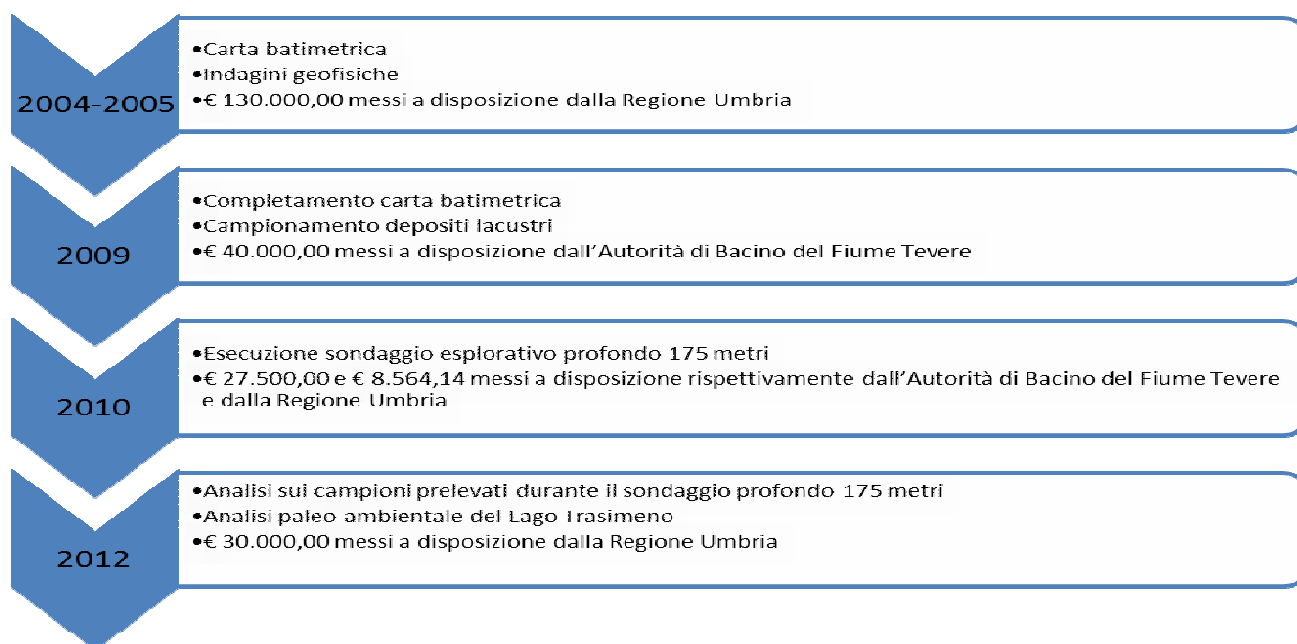


Come aprire i primi cassetti di conoscenza?

2. – PROGETTAZIONE DELLE ATTIVITA' DI RICERCA

La progettazione delle diverse attività di ricerca ha dovuto tenere conto di diversi fattori, necessità e disponibilità in modo da rendere efficace l'operatività delle ricerche coordinandone i tempi di esecuzione.

I quadri che seguono illustrano gli obiettivi che ci si era prefissi e come sono stati raggiunti nel tempo dalle diverse unità operative di ricerca.

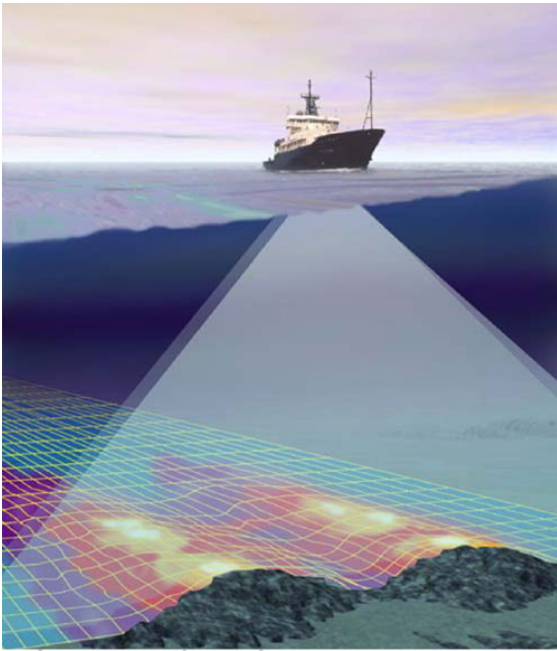


3. – ESECUZIONE DELLE CAMPAGNE D’INDAGINE

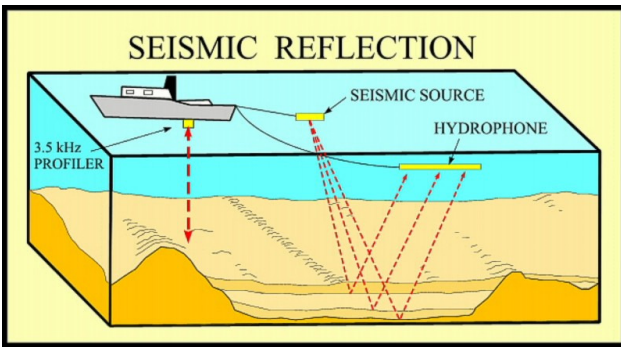
Le attività delle campagne d’indagine del 2004-2005 sono state eseguite dal CNR-ISMAR di

Bologna, dal Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Perugia e dal Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Pisa con tecniche tipiche della campagne di ricerca oceanografiche per la realizzazione di carte batimetriche e di indagini geofisiche.

(*) Regione Umbria, Servizio Geologico e Sismico, piazza Partigiani 1, 06124, Perugia.

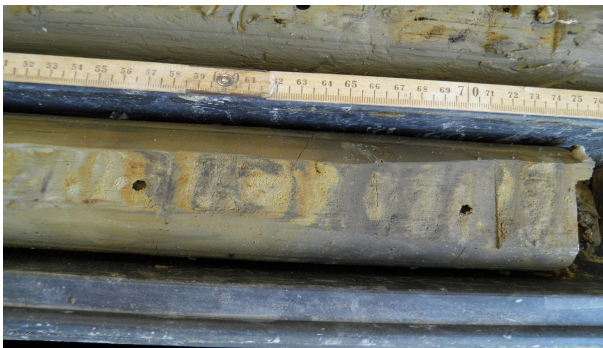


Le attività delle campagne d'indagine del 2009 sono state eseguite dal CNR-ISMAR di Bologna, con tecniche tipiche della campagne di ricerca oceanografiche per il completamento della carta batimetrica e prelevando campioni dei depositi lacustri.



Le attività delle campagne d'indagine del 2010 sono state eseguite dal Servizio Geologico e Sismico della Regione Umbria, con tecniche tipiche dell'esplorazione mediante perforazioni esplorative.





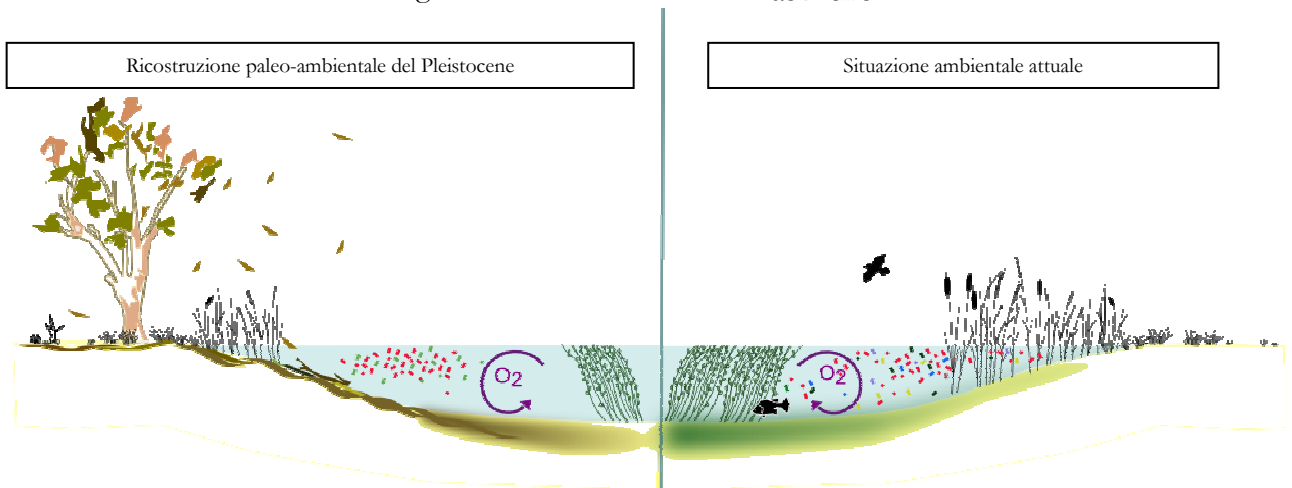
Le attività delle campagne d'indagine del 2012 sono state eseguite dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Perugia e dal CNR-ISMAR di Bologna mediante analisi di laboratorio sui campioni prelevati durante i sondaggi esplorativi e ricostruzioni paleo-ambientali del Lago Trasimeno.



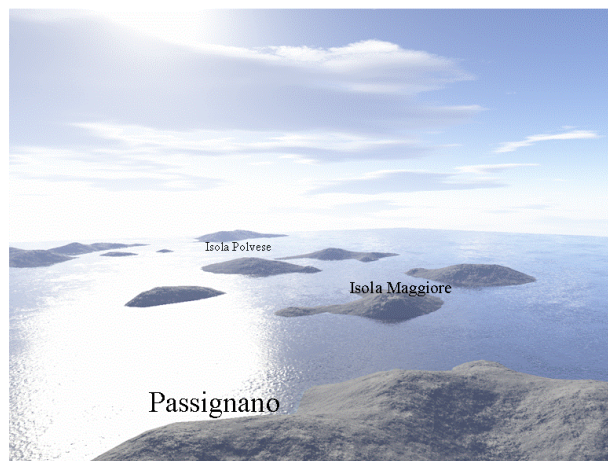
3. – RISULTATI

Il progetto di ricerca per la ricostruzione delle vicende spaziali e temporali del Lago Trasimeno ha permesso di acquisire conoscenze che prima non erano disponibili.

- Una carta batimetrica di dettaglio.



Il progetto di ricerca ha inoltre permesso agli Istituti di ricerca e alle Università di identificare altre possibili ricerche che potrebbero definire e dettagliare altre situazioni paleo-ambientali come quella mostrata di seguito.



Tutti i dati derivanti dalle ricerche eseguite devono essere resi fruibili per la loro divulgazione ed è pertanto necessaria una sede che permetta di raccogliere i risultati e le conoscenze acquisite. Pertanto una o più amministrazioni pubbliche dovrebbero quantomeno facilitare tale operazione.

- La determinazione degli spessori dei depositi del Lago Trasimeno con l'individuazione di una faglia che ribassa la parte orientale del lago mantenendo l'equilibrio tra il naturale interrimento e l'abbassamento dello stesso.
- Ricostruzioni paleo-ambientali del Lago Trasimeno.

Ringraziamenti

Si ringraziano tutte le persone e gli Enti che hanno collaborato nel corso dell'esecuzione delle varie campagne d'indagine eseguite sul Lago Trasimeno e per la predisposizione delle presentazioni.

La lunga storia del Lago Trasimeno: da golfo tirrenico a lago intramontano

MASSIMILIANO R. BARCHI (*)

1. – INTRODUZIONE

Gli studi sul Lago Trasimeno presentati in questa giornata sono nati e si sono sviluppati nell'ambito della cartografia geologica dell'Umbria, prodotta dalla Regione nell'arco di oltre 20 anni, tra il 1989 e il 2010. In particolare l'area del Lago ricade nel Foglio n. 310 ("Passignano sul Trasimeno") della nuova carta Geologica d'Italia, scala 1:50000. Il Foglio e le relative Note illustrative sono ormai di imminente pubblicazione.

tra la Regione Umbria e le Università di Perugia e di Pisa. Il Foglio è caratterizzato da una situazione geologica complessa, che ben si inquadra, come vedremo, nell'evoluzione di questo settore dell'Appennino. Il rilevamento geologico "tradizionale" è stato affiancato ed integrato da indagini geofisiche, condotte dal CNR-ISMAR di Bologna, e successivamente da un sondaggio, profondo circa 170 m, perforato sulla sponda sud-occidentale del Lago. L'insieme di queste indagini, dal 2007 a oggi, ha permesso di incrementare di molto le conoscenze geologiche sull'origine e l'evoluzione del Lago Trasimeno.

SCHEMA TETTONICO DEL FOGLIO 310 "PASSIGNANO SUL TRASIMENO"

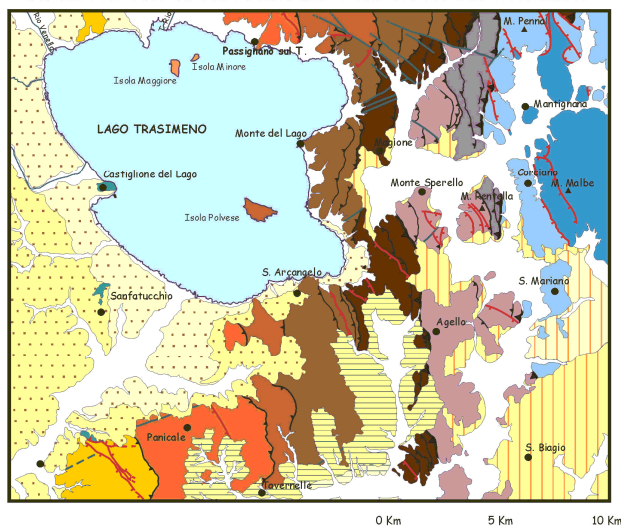


Figura 1 - Schema tettonico del Foglio 310 - Passignano sul Trasimeno.

2. – LA GEOLOGIA DEL LAGO TRASIMENO

Il Lago Trasimeno, il più esteso dei laghi dell'Italia peninsulare, è diverso per origine dagli altri laghi italiani. I laghi alpini (Lago di Garda, Lago Maggiore, Lago di Como, Lago d'Iseo) sono di origine glaciale e derivano dal riempimento di valli profondamente scavate da antichi ghiacciai durante il Quaternario. I laghi laziali (Laghi di Bolsena, Vico, Bracciano, ecc.) sono di origine vulcanica: le acque hanno riempito le caldere di vulcani, attivi qualche centinaio di migliaia di anni fa.

Nel caso del Lago Trasimeno, invece, le acque e i sedimenti da esse trasportati riempiono una

Il rilevamento geologico del Foglio Passignano sul Trasimeno è stato condotto in collaborazione

(*) Università di Perugia, Dipartimento di Scienze della Terra, Perugia.

depressione di origine tettonica, cioè una zona ribassata, delimitata da faglie. A differenza dei laghi alpini e di quelli laziali, il Trasimeno è un *lago laminare*: la profondità

dell'acqua è di pochi metri e basta un periodo di forte siccità a mettere a rischio l'esistenza stessa del lago.

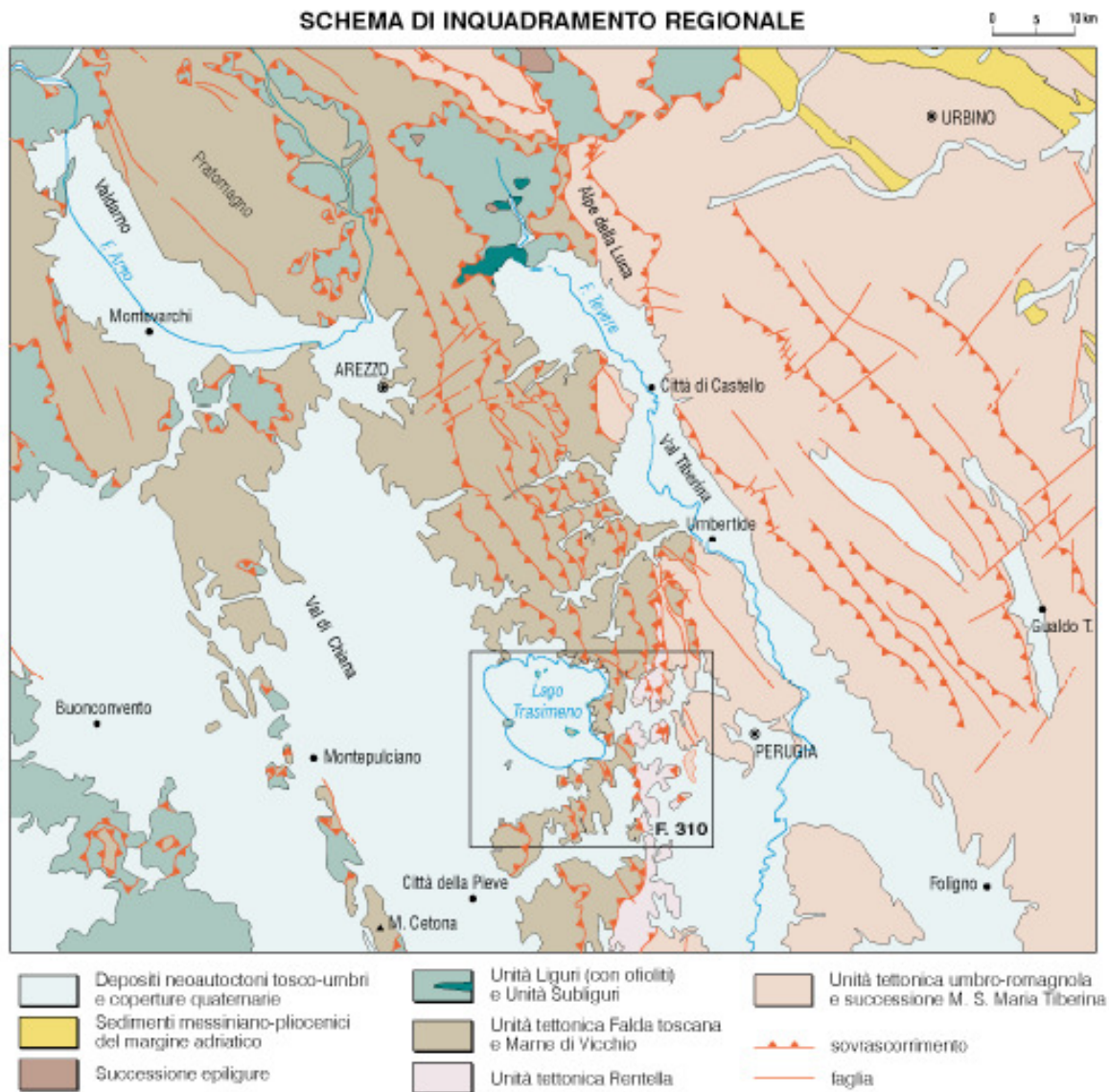


Figura 2 - Inquadramento regionale del Foglio "Passignano sul Trasimeno"

Dal punto di vista morfologico, la zona a cavallo tra l'Umbria occidentale e la Toscana orientale è interessata da due importanti depressioni, allungate in direzione NNO-SSE, parallela a quella dell'Appennino: la Val di Chiana e la Val Tiberina. Il Lago Trasimeno si trova al di sopra della dorsale, che separa le due valli, e più precisamente sul bordo orientale della Val di Chiana.

3. – DA GOLFO TIRRENICO A LAGO INTRAMONTANO

Dal punto di vista geologico, il Lago Trasimeno si trova nella zona interna dell'Appennino settentrionale, una *catena orogenica* la cui origine è legata allo scontro (*collisione*) tra la placca africana e la placca euroasiatica. Quando due placche litosferiche si scontrano, le rocce ai bordi delle placche si schiacciano, si piegano e si accavallano una sull'altra, andando a formare una catena di montagne: questo processo è detto *orogenesi*.

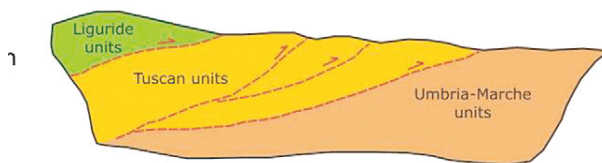


Figura 3 - La zona del Trasimeno alla fine della tettonica compressiva (circa 12 Milioni di anni fa)

La catena dell'Appennino Settentrionale è costituita da Unità tettoniche, sovrapposte una sull'altra, il cui nome deriva dalla loro originale posizione paleogeografica: spostandosi da Ovest verso Est, si parla di Unità Liguri, Unità Toscane e Unità Umbro-Marchigiane. Nella zona del Lago Trasimeno le fasi tettoniche compressive responsabili dell'accavallamento delle unità tettoniche e la conseguente emersione della catena sono avvenute nel corso del Miocene (*Burdigaliano-Serravalliano*), più o meno tra 18 e 12 Milioni di anni fa.

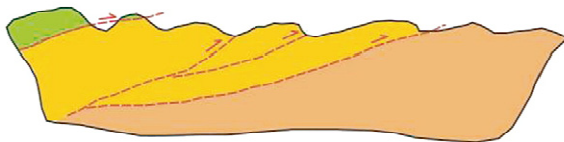


Figura 3 - La zona del Lago Trasimeno al termine della fase erosiva del Messiniano (5,6 Milioni di anni fa)

Una volta che la catena è emersa, inizia il processo di erosione da parte degli agenti esogeni. Nel caso dell'Italia, una fase erosiva particolarmente intensa si registra alla fine del Miocene (Messiniano, 5,6 Milioni di anni fa),

quando il Mar Mediterraneo rimane isolato dalla circolazione oceanica e viene rapidamente disseccato dalla evaporazione, con un abbassamento del livello marino di circa 1500 m. L'abbassamento del livello del mare provoca nelle zone più basse l'accumulo di depositi di sale e gesso; nelle aree continentali sollevate, invece, si ha un forte aumento dell'attività erosiva. In questa fase si scolpisce un paesaggio fluviale molto articolato: una delle valli principali, orientata da est verso ovest, si trovava in corrispondenza dell'attuale Trasimeno. Le indagini geofisiche hanno permesso di ricostruire la morfologia di questa valle, oggi sepolta sotto alcune centinaia di metri di sedimenti marini, fluviali e lacustri.

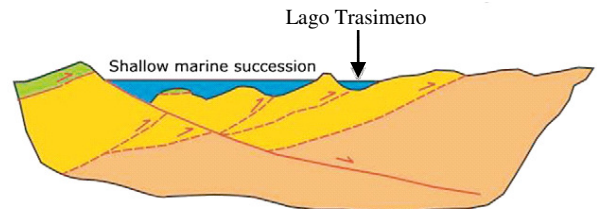


Figura 5 - La posizione del Lago Trasimeno dopo l'ingressione marina del Pliocene e l'inizio della fase tettonica distensiva

Con la fine della crisi Messiniana, il livello del mare risale rapidamente e all'inizio del Pliocene (circa 5 Ma) raggiunge il suo massimo livello (*trasgressione pliocenica*). Il Tirreno si insinua profondamente tra le strutture emerse dell'Appennino, in cui la successione di valli e dorsali riflette la forma delle pieghe tettoniche: così le zone più alte rimangono emerse, costituendo isole e penisole parallele alla costa, come avviene oggi in Croazia, nella costa dalmata dell'Adriatico settentrionale. Il tratto marino più orientale occupava l'attuale bacino della Valdichiana, e il Lago Trasimeno ne costituiva un Golfo, in cui il mare rientrava all'interno della costa, occupando la valle trasversale, scavata durante la fase erosiva precedente.

Nel frattempo il processo orogenico, responsabile della formazione dell'Appennino settentrionale, è migrato verso Nord-est, andando a costruire le montagne delle Marche e

della Romagna, e quelle oggi sepolte al di sotto dei sedimenti della Pianura Padana e del Mare Adriatico. In questa zona interna, alle fasi orogeniche (compressive) segue una nuova fase tettonica di tipo estensionale (o distensivo), in cui grandi faglie dirette (i geologi chiamano così le faglie dovute a distensione della crosta terrestre) delimitano valli intramontane allungate in direzione parallela alla catena (NNO-SSE), come la Val di Chiana e la Val Tiberina, separate da dorsali. Il lago Trasimeno si posiziona sul bordo



Figura 6 - La regione del Trasimeno durante il Quaternario

orientale del bacino della Valdichiana.

Verso la fine del Pliocene (circa 3 Milioni di anni fa) il mare si ritira temporaneamente dalla regione. La successiva ingressione marina, nel Pleistocene inferiore (circa 2 Milioni di anni fa), procede da Sud e non raggiunge la latitudine del Lago Trasimeno. I depositi marini più settentrionali di questa età sono stati riconosciuti con certezza nella zona di Monteleone di Orvieto. Qui si possono osservare i due cicli di sedimenti marini, Pliocenico e Pleistocenico, e la superficie di erosione che li separa.

Più a nord, nella zona del Trasimeno, i depositi del Pleistocene inferiore sono invece di tipo continentale, e permettono di riconoscere un complesso sistema fluvio-lacustre, simile a quello che si sviluppa più a Nord, nella Val d'Arno, e più a est, nel Bacino Tiberino.

Ci troviamo quindi vicino alla costa tirrenica, e la depressione oggi occupata dal Trasimeno fa parte di un sistema fluviale, che trasporta verso il mare i sedimenti erosi dalle colline circostanti.

La tettonica, però continua ad essere attiva, mentre il clima continua a cambiare.

Verso la fine del Pleistocene inferiore (fra 1.4 e 0.7 Milioni di anni fa) il mare si ritira definitivamente dalla regione, che subisce un lento, ma costante sollevamento (pochi decimi di millimetro ogni anno). In questa fase si formano una serie di piccoli bacini lacustri o palustri, più o meno isolati, la cui subsidenza (l'abbassamento

del suolo) è legata al proseguire dei movimenti tettonici.

In uno di questi bacini, quello di Pietrafitta, si depone uno spesso banco di lignite, da cui un milione e mezzo di anni dopo i paleontologi estrarranno i resti fossili di una ricca fauna, oggi conservata nel rinnovato Museo. Molti altri bacini lacustri, grandi e piccoli, si sviluppano nella regione, da Ellera a Gubbio, da Colfiorito a Norcia. Il Trasimeno è uno di questi laghi: a differenza di tutti gli altri, però, il Trasimeno è destinato a rimanere un lago fino ai giorni nostri.

I movimenti tettonici di tipo estensionale proseguono fino al tempo attuale, e sono responsabili della sismicità, che oggi si concentra un po' più a est, nella zona della catena appenninica. Esempi di questa sismicità sono i terremoti di Norcia (1979), Gubbio (1984) e Colfiorito (1997).

4. – CONCLUSIONI

L'evoluzione tettonica della zona del Trasimeno non è diversa da quella della regione che lo comprende, l'Appennino Settentrionale. La peculiarità del Lago è la capacità di registrare fedelmente questi cambiamenti, grazie alla eccezionale continuità di subsidenza, e quindi di sedimentazione, che caratterizza l'area oggi coperta dalle acque del Lago. Proprio per questo abbiamo continuato a studiare questa successione sedimentaria, attraverso una campagna geofisica e eseguendo una perforazione a carotaggio continuo. I risultati di questi studi, che oggi vengono presentati in forma preliminare, raccontano una lunga storia di cambiamenti tettonici e climatici, in gran parte ancora da scoprire.

Cosa c'è sotto? Le nuove immagini acustiche profonde del Lago Trasimeno

LUCA GASPERINI (*)

1. – INTRODUZIONE

Nell'ambito della compilazione del Foglio Geologico n.310, *Passignano sul Trasimeno* è stato realizzato uno studio geologico-geofisico del Lago Trasimeno, utilizzando tecniche sperimentali di Geologia Marina. L'acquisizione di dati geofisici in un ambiente caratterizzato da profondità d'acqua estremamente basse ha costituito la difficoltà principale, affrontata con soluzioni *ad hoc*. Vengono qui presentati i risultati più interessanti di questa ricerca.

2. –IL LAGO TRASIMENO

Il Lago Trasimeno è il più ampio specchio lacustre dell'Italia peninsulare, con una superficie di oltre 120 km², ed è situato interamente in territorio umbro. Il suo bacino è localizzato a nord-ovest della costa settentrionale del lago, e confina con quello del Fiume Tevere collegato al Trasimeno attraverso l'emissario artificiale ed i corsi d'acqua Caina e Nestore. Dal punto di vista tettonico il Trasimeno si trova all'interno della catena appenninica settentrionale, caratterizzata nel corso della sua evoluzione da una migrazione verso est dei pattern di deformazione, marcati dalla presenza di bacini di avanfossa progressivamente più giovani verso l'esterno.

Vari modelli di evoluzione strutturale sono stati proposti per il Lago Trasimeno, ritenuto anticamente di origine alluvionale; i lavori scientifici più recenti, però, mostrano un certo accordo nel proporre per la fossa del Trasimeno un'origine causata da processi tettonici, a partire dal tardo Pliocene (Ambrosetti *et alii*, 1989; Cattuto & Gregori, 1993; Cattuto *et alii*, 1995; Gasperini *et al.*, 2010). Infatti, dopo che il sollevamento generale del substrato al fronte della catena ha causato l'emersione del territorio ed il ritiro del mare verso ovest (processo completato definitivamente nel Pleistocene inferiore), le fosse tettoniche al retro della catena hanno richiamato il deflusso idrico superficiale in aree più o meno circoscritte dove si sono formati ambienti palustri, la cui evoluzione ha occupato un lungo intervallo temporale.

Possiamo quindi immaginare che tutto il territorio circostante il Lago Trasimeno si sia venuto a trovare in questa situazione paleogeografica dal Pliocene (o più frequentemente dal Pleistocene inferiore) fino ai giorni nostri: il lago costituirebbe quindi l'ultimo lembo di questi ambienti palustri preservato dal colmamento.

(*) Istituto di Scienze Marine, ISMAR-CNR, Geologia Marina, Via Gobetti 101, 40129, Bologna.

3. – METODI

Il rilievo geofisico del Lago Trasimeno è stato realizzato in due fasi successive, la Campagna TRASI-04 e la Campagna TRASI-05 (Bortoluzzi et al., 2005), nel Dicembre 2004 e nel Giugno 2005, rispettivamente. Nel corso delle due campagne realizzate da ISMAR-Bologna nell'ambito di una convenzione con il Servizio Geologico della Regione Umbria, sono stati acquisiti dati di: a) batimetria e morfologia del fondale per mezzo di ecoscandagli a fascio singolo e multifascio; b) sismica a riflessione superficiale, utilizzando un sistema *Chirp-Sonar* che ha permesso di ottenere immagini acustiche dei primi 30-40 m del sottofondo lacustre con risoluzione decimetrica; c) sismica a riflessione profonda, con una sorgente di tipo "water-gun" e un cavo di ricezione multicanale.

I dati geofisici sono stati integrati dal campionamento di sedimenti del fondo lago, ottenuti utilizzando una benna e un carotiere acqua-sedimento. Una carota SW, della lunghezza di 53 cm, è stata analizzata per determinare il tasso di sedimentazione a scala secolare.

4. – RISULTATI

La nuova carta batimetrica del Lago Trasimeno (Figura 1) mostra come dal punto di vista morfologico il lago abbia l'aspetto di una conca piatta, con una lievissima pendenza verso la zona centrale dove si osservano profondità massime di circa -6 m rispetto allo zero idrometrico. La caratteristica più interessante è la presenza di due depocentri, uno approssimativamente baricentrico rispetto alle coste, il secondo localizzato nel settore nord-occidentale del lago. I gradienti topografici sono molto bassi e costanti quasi ovunque, eccetto che nei pressi della costa e delle isole dove si osserva un addensamento molto rapido delle isobate. L'analisi della riflettività superficiale, validata dalla raccolta di campioni dei sedimenti del fondo, ha permesso di

dare indicazioni sulla distribuzione areale dei sedimenti (Figura 2). Il fondale del lago è caratterizzato da una grande omogeneità litologica, dominata dalla presenza di sedimenti a granulometria fine (silt e argilla).

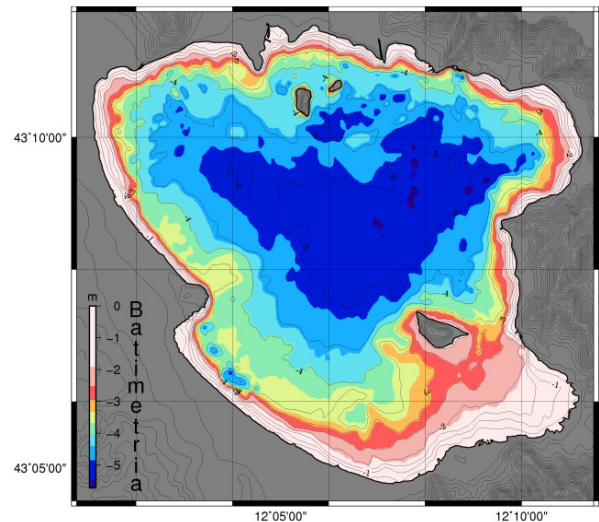


Figura 1. La nuova Carta Batimetrica del Lago Trasimeno. In blu, le profondità maggiori.

I sedimenti più riflettivi, che raggiungono la granulometria massima delle sabbie, sono concentrati lungo le coste.

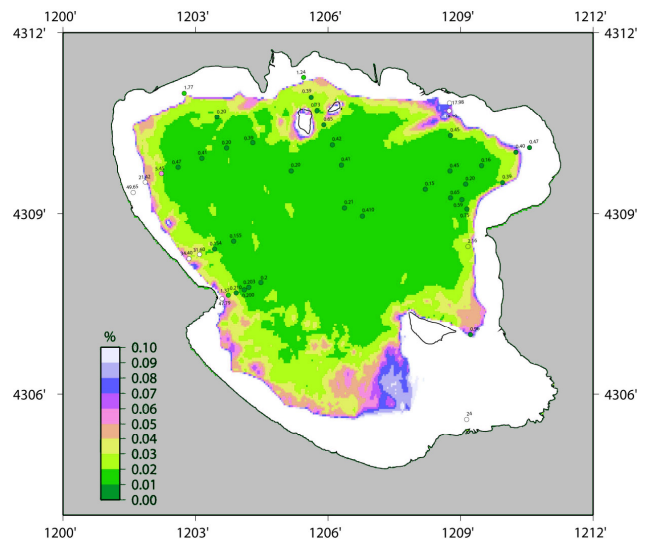


Figura 1. Carta della riflettività superficiale del fondale del Lago Trasimeno. I settori a più alta riflettività (colore Bianco) sono indicativi di sedimenti a granulometria maggiore.

Lo studio integrato tra i dati superficiali e i dati geofisici profondi ha messo in evidenza come il lago sia interessato da subsidenza progressivamente maggiore da est a ovest: la progressiva “rotazione” verso est del substrato crea lo spazio per l’accumulo di uno spesso cuneo di sedimenti le cui geometrie interne sono controllate dalle variazioni di livello del lago (Figura 3). La presenza di una marcata discontinuità erosiva e di un corpo progradazionale sepolto sotto sedimenti più trasparenti è probabilmente da mettere in relazione ad uno o più episodi di variazione del livello del lago, e in particolare ad una fase abbastanza prolungata e persistente di stazionamento basso.

L’acquisizione di profili sismici multicanale “profondi” (fino a 600 m di profondità) ha permesso di studiare l’intera successione sedimentaria al di sotto del fondale lacustre. È stata riconosciuta una principale *unconformity* che separa due unità a *facies sismica* molto differenziate al di sopra del basamento acustico completamente “sordo”: 1) un’unità inferiore, che mostra la presenza di riflettori marcati, di grande ampiezza e continuità laterale, tipici di depositi marini o transizionali; 2) un’unità superiore, che marca l’instaurarsi di condizioni lacustri e la presenza di sedimenti omogenei acusticamente trasparenti, che raggiungono lo spessore massimo di 250 metri in vicinanza della costa orientale del lago. Entrambe le unità appaiono progressivamente ruotate verso E, e registrano una subsidenza regionale guidata da un sistema di faglie normali ad alto angolo.

Le correlazioni con i dati stratigrafici raccolti a terra (Barchi e Marroni, 2007; Gasperini et al., 2005) ci indicano che, a partire dal Pliocene

inferiore, ma per tutto il Pleistocene e il Quaternario, il bacino del Trasimeno è stato interessato da una tettonica estensionale che ha contribuito a preservare il lago dal colmamento depositando una successione quasi continua di depositi lacustri omogenei.

Le nuove “immagini acustiche” del fondale e soprattutto del sottofondo lacustre, che raggiungono profondità di diverse centinaia di metri nel substrato, ci danno indicazioni sulla storia geologica del lago e sulla sua funzione di archivio naturale in una posizione chiave del bacino Mediterraneo.

5. – CONCLUSIONI

L’analisi dei dati raccolti ci ha consentito di fornire informazioni utili alla compilazione del Foglio 310 che permettono di ricostruire la storia del bacino sedimentario del Lago Trasimeno a partire dal Pliocene inferiore. D’altra parte, la raccolta di questi dati ha permesso di stimolare altre linee di ricerca, che vanno dall’analisi ambientale all’archeologia, e ci fanno ritenere che il Lago Trasimeno, come potenzialmente molti altri bacini continentali, siano ambienti molto promettenti per studi di questo tipo, sia per la qualità dei dati geofisici che si riescono ad ottenere, che per la presenza di successioni sedimentarie relativamente continue che possono preservare *record* geologici espansi e dettagliati.

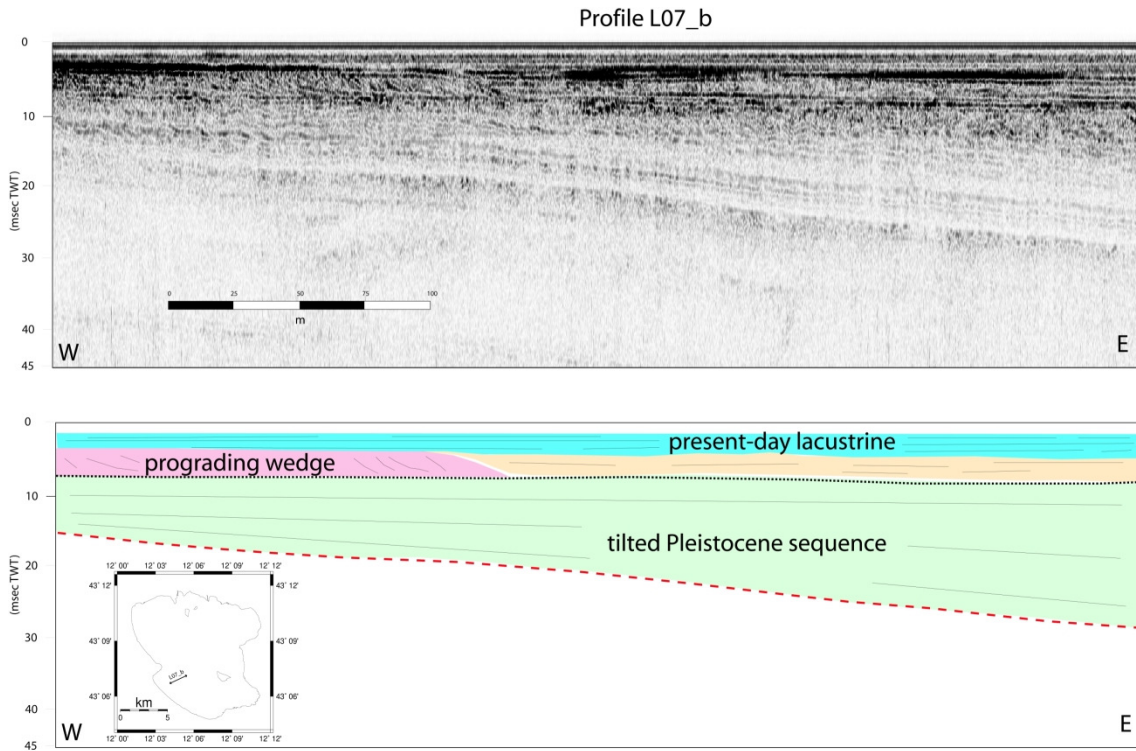


Figura 2. Profilo sismico a riflessione ad alta risoluzione acquisito in prossimità della costa occidentale del lago. Si notino la successione sedimentaria Pleistocenica ruotata verso E, e la presenza di un corpo progradazionale al di sopra di una superficie erosiva (una antica spiaggia ora sommersa) che marca un episodio recente di stazionamento basso del livello del lago.

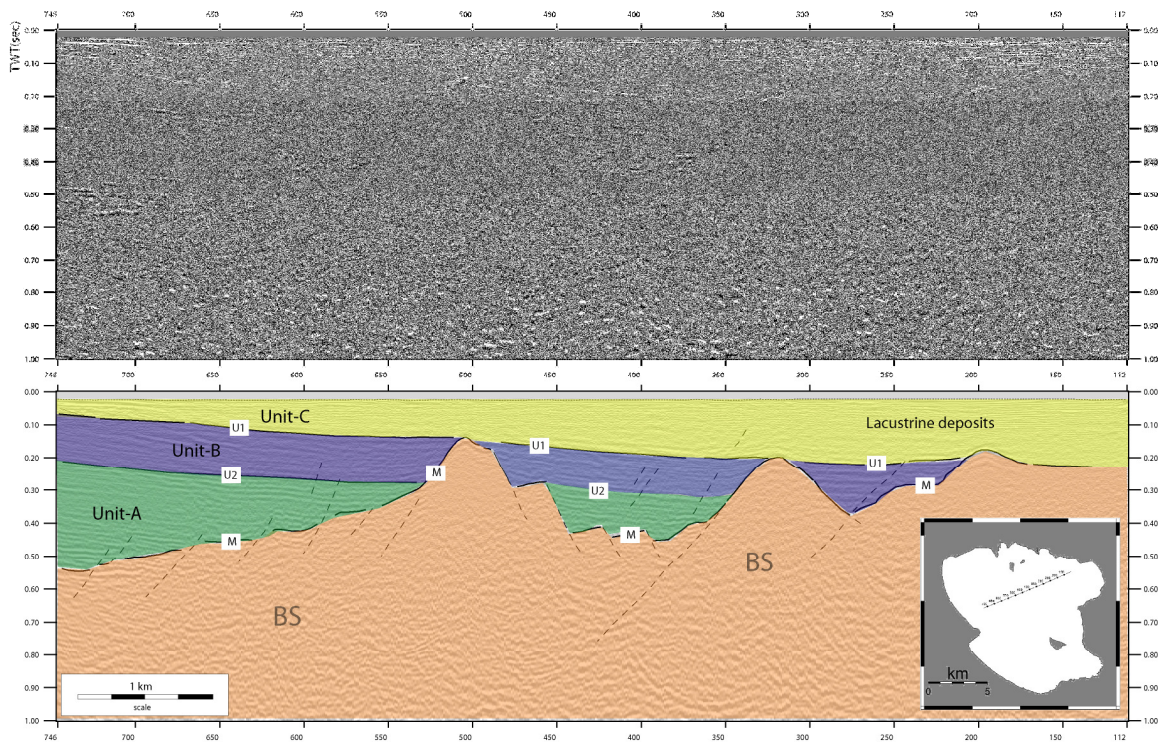


Figura 3. Profilo sismico a riflessione attraverso il lago. Le unità sedimentarie A, B, C, sono ruotate verso il basso in misura maggiore sulla sponda orientale del lago, per effetto di una faglia estensionale non visibile nella sezione. Questo lento ma continuo movimento ha creato lo spazio necessario perché si accumulasse una cospicua serie sedimentaria, e in ultima analisi a preservato il Lago Trasimeno come tale fino ai giorni nostri.

(*) Istituto di Scienze Marine, ISMAR-CNR, Geologia Marina, Via Gobetti 101, 40129, Bologna.

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti i partecipanti all'acquisizione e all'analisi dei dati. Il "Progetto Trasimeno" è frutto principalmente dell'impegno di Arnaldo Boscherini e Andrea Motti, del Servizio Geologico della Regione Umbria, che non solo ne hanno deciso l'esecuzione e la pianificazione, ma hanno contribuito a realizzarlo con idee e lavoro sul campo.

La sedimentazione nel Lago Trasimeno: un miracolo di conservazione negli ultimi due milioni di anni

FAUSTO PAZZAGLIA (*)

1. – INTRODUZIONE

Tra i bacini di acque dolci i più adatti agli studi paleoclimatici sono quelli chiusi e in particolare quelli poco profondi. Ogni variazione nei sedimenti sul fondo di questi laghi è dovuta a variazioni paleoambientali dell'area circostante, a loro volta innescate dalle modificazioni del clima. Il Lago Trasimeno è perfetto da questo punto di vista. Il suo bacino imbrifero ha una superficie ridotta rispetto a quella dello specchio d'acqua (383 km² contro 124 km² della superficie lacustre) e praticamente coincide con il bacino idrogeologico. Nel bacino imbrifero affiorano litotipi a bassa permeabilità, per cui è alimentato solamente dalle piogge che cadono al suo interno. Ciò comporta forti oscillazioni a scala pluriennale ed annuale del livello del lago, strettamente legate alla variazione degli apporti meteorici e quindi alle condizioni climatiche (Dragoni, 2004). Lo studio dei sedimenti (granulometrie, strutture sedimentarie, variazioni composizionali) è di fondamentale importanza per ricostruire il paleoambiente e le sue dinamiche.

2. – IL POZZO PANICAROLA, I DATI PREGRESSI E LE PRIME ANALISI

L'esecuzione del sondaggio profondo (pozzo Panicarola) effettuato nel novembre 2010 in

località Panicarola, circa 1 km a sud dall'attuale sponda meridionale del Lago Trasimeno, ha permesso di analizzare i sedimenti del Lago per uno spessore di 174,5 m.

L'area si colloca all'interno di quella cartografata nel Foglio n. 310 ("Passignano sul Trasimeno") della nuova carta Geologica d'Italia, scala 1:50000 (Barchi & Marroni, 2007). Le unità post-orogeniche affioranti sono riconducibili a quelle depositatesi nel bacino della Valdichiana dal Pleistocene inferiore all'attuale in un ambiente fluvio-lacustre (Fig. 1).



Fig. 1: Stralcio della Foglio 310 "Passignano sul Trasimeno" con posizione dei pozzi Panicarola e Poderone

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Perugia, P.zza Università 1, 06100, Perugia.

In particolare il sondaggio si posiziona sull'argine del F.so dell'Anguillara, nella fascia che è stata cartografata come appartenente all'unità stratigrafica TMO₁ (subsistema di Macchie, del sistema del Trasimeno) di età Pleistocene medio-superiore (fra 750000 e 110000 anni fa). I pochi affioramenti presenti sono costituiti da sabbie medio-fini di colore giallo-marrone alternate ad argille limoso-sabbiose dello stesso colore. La fascia collinare presente ad Ovest del pozzo Panicarola è stata cartografata invece come unità di Moiano (SFA_a) e di Gioiella (SFA_c) appartenenti al sistema di Sanfaticchio (Pleistocene inferiore, fra 1,8 e 1,4 Milioni di anni fa). I sedimenti che le costituiscono sono sabbie e sabbie limose gialle o avana, con intercalati livelli ghiaioso-conglomeratici a geometria canalizzata ed argille e limi argillosi.

I rapporti stratigrafici tra queste unità, interpretate come depositi di ambiente di piana alluvionale sono di sovrapposizione di TMO₁ su SFA_a e SFA_c che si sono deposte quasi in contemporanea e sono quindi in parte eteropiche tra loro (Fig. 2).

Le geometrie e gli spessori (maggiori a 200 m) sono state ricostruite in base ai dati di campagna e a quelli sismici (Barchi & Marroni, 2007; Gasperini *et al.*, 2010; Gasperini, 2012).

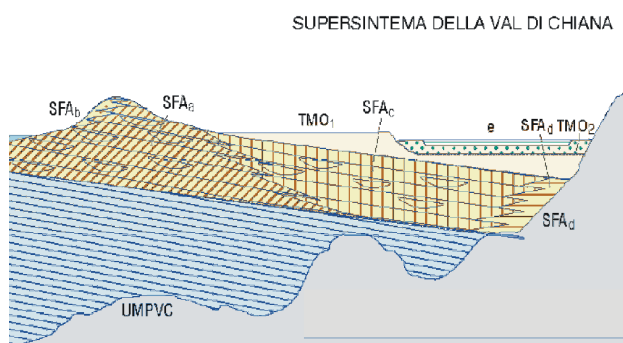


Figura 2. Schema dei rapporti stratigrafici tra le unità affioranti nell'area in esame

Altro dato pregresso è quello della stratigrafia di un pozzo (pozzo Poderone) scavato per la ricerca di acqua circa 3 km a sud del pozzo Panicarola. In questo pozzo, al di sotto di un modesto spessore di depositi alluvionali recenti, sono stati incontrati circa 120 m di argille nerastre e grigio-cerulee, con lignite nei primi 30 m (probabile ambiente di piana alluvionale e palustre). Seguono poi altri 40 m di argille con frammenti

di arenarie, di difficile interpretazione ambientale ed infine il substrato miocenico marnoso-arenaceo (circa 20 Milioni di anni).

Una prima analisi speditiva effettuata durante la perforazione del Pozzo ha mostrato una prevalenza di sedimenti argillosi, con livelli limosi e rarissimi sabbiosi. A più riprese, soprattutto nella parte alta, sono risultati evidenti arrossamenti, alterazioni e carboncini. È risultata evidente l'abbondante presenza di sostanza organica e torba, mentre la malacofauna (bivalvi e gasteropodi) è presente solo in limitati intervalli della carota. Inoltre i sedimenti hanno mostrato un'apparente assenza di laminazioni. In base a questi primi dati è stato possibile ipotizzare il permanere di condizioni di sedimentazione in acque molto basse tipiche di piane alluvionali e paludi.

Una delle prime cose da fare quando si ha a che fare con dei sedimenti è cercare di inquadrarli da un punto di vista temporale. Considerando l'età presunta dei sedimenti e il materiale a disposizione, si è cercato di applicare un sistema di datazione assoluta (uso di metodologie fisiche). Il metodo applicato è stato quello del ¹⁴C (Carbonio 14), che rientra tra i metodi di datazione radiometrica. Questi utilizzano i fenomeni della radioattività naturale, cioè la trasformazione spontanea di isotopi instabili di una data specie in nuclei stabili. Conoscendo il tempo di decadimento di un certo radionuclide, è teoricamente possibile usare il suo decadimento come orologio per misurare un intervallo di tempo. La radiodatazione si basa, quindi, sulla misura dei nuclei residui in materiali nei quali, al momento della formazione, sono rimaste inglobate sostanze radioattive. L'intervallo temporale indagabile dipende dal tempo di dimezzamento del radionuclide. Esso è generalmente è circa 10 volte il tempo di decadimento. Per quanto riguarda il ¹⁴C il tempo di decadimento è di circa 5.730 anni e il limite massimo di età indagabile con buona precisione sono circa 43.500 anni. Il metodo è applicabile a tutti i reperti provenienti da organismi viventi.

I primi campioni ad essere analizzati presso uno dei migliori centri di datazione del mondo (Beta Analytic Inc. di Miami) sono state delle torbe prelevate alle profondità di 31, 60 ed 87 metri. Il risultato è stato che ci si trovava al di fuori

dell'intervallo temporale indagabile già a 31 m. Ciò ci ha spinto ad organizzare lo studio della carota in modo da effettuare alcune analisi su tutta la sua lunghezza ed effettuare analisi multidisciplinari di maggior dettaglio (in particolare quelle riguardanti sedimenti, pollini e sostanza organica) e ulteriori tentativi di datazione con il ^{14}C nei primi 30m.

Inoltre si è cercato un metodo alternativo di datazione assoluta per la restante parte. Considerando l'intensa attività esplosiva dei vulcani della Provincia Magmatica Romana e di quella Campana negli ultimi 800.000 anni (Peccerillo, 2005) e la presenza di ceneri vulcaniche nei sedimenti di laghi lontani varie centinaia di chilometri da essi (tefra distali), come ad esempio nel Lago dell'Accesa in Toscana (Fig. 3), risulta molto probabile la presenza di esse nella carota.



Figura 3. Esempi di distribuzione di tefra distali. In alto distribuzione dei tefra legati all'evento vulcanico Agnano Pomice Principali (da Sulpizio *et al.*, 2010). In basso distribuzione del tefra distale dell'Ignimbrite Campana risalente a circa 40000 anni fa (da Giaccio, 2006).

All'esame visivo non sono evidenti chiari tefra, ma i tefra distali possono avere spessori anche millimetrici (Wulf *et al.*, 2008). Un metodo che si utilizza per la ricerca di questi criptotefra è l'analisi della suscettività magnetica. Questo

metodo evidenzia l'anomala presenza di minerali tipici di eventi vulcanici.

3. – RISULTATI

Le ulteriori datazioni con ^{14}C sono state effettuate su sedimenti ricchi in sostanza organica alle profondità di 7,45 m e 8,80 m, che hanno dato età rispettivamente di circa 21.000 e circa 28.000 anni. In base a questi due dati è stato possibile calcolare il tasso di sedimentazione, che è risultato di 0,18 mm/anno. Questo dato è coerente con quello di laghi simili al Trasimeno, come ad esempio il Lago Balaton, il più grande lago laminare d'Europa.

Se considerassimo costante un tale tasso di sedimentazione i sedimenti della carota coprirebbero un intervallo temporale di circa 1 Milione di anni. C'è però da considerare le informazioni provenienti dalla palinologia (Buratti, 2012), che definiscono per i sedimenti compresi fra 18 e 23 metri un'età pleistocenica media (fra 781.000 e 126.000 anni), superiore a quella attesa con il tasso di sedimentazione calcolato (Pleistocene superiore, fra 107.000 e 78.000 anni). Ciò implica la presenza di gap di sedimentazione dovuti ad erosione e/o a non deposizione.

L'analisi sedimentologica della carota ha infatti evidenziato la presenza di intervalli fortemente arrossati probabile testimonianza di momenti di emersione.



Figura 4. A sinistra livello arrossato a circa 12 m indicativo di una probabile emersione. A destra laminazioni a circa 22 m.

Un'analisi più approfondita rispetto a quella effettuata in campagna ha inoltre mostrato la presenza di un maggior numero di livelli,

comunque generalmente sottili, di sabbie e sabbie fini. Inoltre sono presenti alcuni interessanti intervalli laminati tra i 21 e i 26 metri, al momento ancora in fase di studio (Fig. 4).

Le analisi sedimentologiche fin qui eseguite comunque evidenziano una grande variabilità di ambiente di sedimentazione (piana di alluvionamento, palude, lago poco profondo) e l'assenza di chiare indicazioni di ambiente lacustre profondo.

4 – CONCLUSIONI

Gli studi stratigrafico-sedimentologici fatti evidenziano risultati interessanti.

1. La carota di Panicarola occupa un intervallo temporale presumibilmente di più di 1 Milione di anni.

2. Il Lago Trasimeno durante questo periodo, non ha mai avuto profondità elevate.
3. La sua conservazione nell'arco della sua esistenza è un miracolo di equilibrio tra la sedimentazione e la subsidenza tettonica.

Per quanto riguarda i primi 30m della carota restano da raffinare le analisi sedimentologiche, da correlare i dati ricavabili da queste con quelli palinologici, da effettuare e completare analisi sul contenuto paleontologico, da completare analisi isotopiche.

Sono inoltre in fase di elaborazione ed interpretazione i dati di suscettività magnetica delle misure effettuate per tutta la lunghezza della carota presso l'ISMAR-CNR di Bologna.

La risposta del Lago Trasimeno alle variazioni climatiche ed ecologiche nel passato geologico (Pleistocene): una storia che si ripete?

NICOLETTA BURATTI (*)

1. – INTRODUZIONE

Questo studio si inquadra nell'ambito di un progetto che ha lo scopo di ricostruire le variazioni ambientali e climatiche avvenute nel corso del Pleistocene (da circa 2,6 a 0,01 milioni di anni) nell'area del lago Trasimeno. I sedimenti che si sono depositati nel lago nel tempo rappresentano un database di informazioni riguardanti i cambiamenti ambientali avvenuti sia all'interno del lago che nel suo bacino imbrifero. Nel corso della sua evoluzione il lago Trasimeno è stato caratterizzato da una subsidenza piuttosto continua che ha preservato il bacino dal riempimento da parte dei sedimenti, permettendo la registrazione degli eventi geologici che si sono susseguiti nel tempo (Gasperini *et al.*, 2010).

Lo studio della vegetazione rappresenta il metodo più efficace per la ricostruzione del clima del passato. Questo contributo si basa sull'analisi dei frammenti di vegetali, pollini e spore (sostanza organica) contenuti all'interno dei sedimenti. La sorgente primaria di sostanza organica nel lago è il detrito di piante superiori, più o meno degradato, prodotto sia al suo interno (piante acquatiche) che sulla terraferma (piante vascolari). Cambiamenti nelle comunità vegetali sia all'interno che intorno al lago, si riflettono in variazioni nella composizione e nella quantità

della sostanza organica preservata nei sedimenti (Meyers & Lallier-Vergès, 1999).

I pollini hanno dato un notevole contributo alla conoscenza dell'evoluzione climatica delle nostre regioni soprattutto per gli ultimi 5 milioni di anni (Pliocene-Quaternario); in questo periodo, infatti, il clima ha subito molti cambiamenti, passando più volte da condizioni temperate calde a condizioni glaciali. Ogni fase climatica ha creato le condizioni per l'insediarsi della vegetazione adatta e i depositi continentali l'hanno registrata attraverso i pollini. Alcune specie vegetali durante i vari periodi sono scomparse, altre hanno migrato, determinando dei cambiamenti nella vegetazione riconoscibili e databili con l'ausilio dei pollini stessi e di altri strumenti (es. magnetostatigrafia, tephrostatigrafia).

2. – IL LAGO TRASIMENO OGGI

La ricostruzione di un ambiente esistito nel passato, così come quella del clima che ne ha influenzato l'evoluzione, si basa sul principio dell'attualismo, secondo il quale i fenomeni (climatici) regolano le dinamiche vegetazionali attuali nello stesso modo in cui le hanno influenzate nel passato. La ricostruzione del paleoambiente che caratterizzò il lago Trasimeno non può quindi prescindere da

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Perugia, P.zza Università 1, 06100, Perugia.

un'analisi accurata dell'ecosistema attuale e delle variabili che lo controllano.

Il lago Trasimeno è un lago laminare meso-eutrofico, di ampia estensione (124km²) caratterizzato da una profondità massima di 6.3m. Il bilancio idrico del lago è fortemente influenzato dal regime pluviometrico in quanto il bacino imbrifero ha un'estensione limitata (383 km²) rispetto alla superficie occupata dal lago e coincide grosso modo con il bacino idrogeologico (Ludovisi & Gaino, 2010; Dragoni, 2004). Come tutti i laghi laminari è ampiamente colonizzato da macrofite dalle quali deriva la maggior parte della produzione organica, sia dalle piante semi-sommerse (elofite) che crescono intorno al lago che dalle idrofite sommerse. Si tratta per lo più di Angiosperme, Pteridofite, Briofite e macroalghe. La comunità macrofittica è ampiamente diffusa da riva al centro lago ed è dominata da specie tipiche di ambienti con valori di trofia medio-alti. Queste piante sono estremamente produttive, infatti le zone litoranee poco profonde (da pochi cm a qualche metro al massimo) sono quelle che hanno il maggior tasso di fissazione del carbonio.

3. – RISULTATI

I risultati preliminari di questo studio hanno permesso di individuare le sorgenti del detrito vegetale deposto nel lago e di capire come il tipo di sostanza organica sia legato al clima. Le associazioni polliniche inoltre hanno permesso di individuare dei trend di variazione climatica e hanno fornito indicazioni sull'età dei sedimenti studiati. In particolare, l'integrazione dell'analisi pollinica con lo studio quantitativo del detrito vegetale ha permesso di individuare il susseguirsi di una fase glaciale, di un interglaciale e ancora di un glaciale nell'intervallo di carota che va da 18 a 23 metri (Fig.1).

Le fasi glaciali sono caratterizzate da piante prevalentemente erbacee (es. Chenopodiaceae, Asteraceae Asteroideae, Poaceae, Cyperaceae) (Fig.2). Il detrito vegetale deposto nel lago proviene dalla vegetazione che ne colonizzava i fondali, come le Characeae ad esempio. La componente di detrito vegetale di derivazione dal suolo (esterna al lago) è presente in quantità

inferiori, suggerendo uno scarso apporto di questo detrito da parte dei corsi d'acqua che confluivano nel lago (periodo relativamente secco).

La produttività di detrito vegetale da parte delle Characeae può essere consistente visto che si tratta di organismi che possono raggiungere un'elevata biomassa. Le Characeae possono ridurre l'effetto della risospensione del sedimento, favorendo la chiarificazione delle acque e limitando l'ossigenazione della colonna d'acqua. La presenza nei sedimenti di pirite framboide, un minerale sinsedimentario che precipita proprio in condizioni riducenti potrebbe supportare questo ruolo delle Characeae anche nel passato. Oggi infatti le Characeae colonizzano il settore sud-orientale del lago, il settore a maggiore biodiversità e con elevata trasparenza delle acque.

Il passaggio ad una fase interglaciale è testimoniato dall'evoluzione di un ambiente forestato dominato da *Quercus* deciduo, *Ulmus* e *Zelkova* e Juglandaceae quali *Carya*, *Pterocarya* e *Juglans* associati a conifere per lo più rappresentate da *Pinus* e *Cedrus*, in associazione con subordinate percentuali di *Tsuga*, *Abies* e *Picea* (Fig.3). La presenza di *Carya* una specie subtropicale termofila, rivela una fase di clima caldo e molto piovoso. Oggi infatti questa specie arborea è distribuita in zone ad elevata piovosità come il Nord America, l'Asia orientale con valori di precipitazioni intorno ai 1000 mm annui.

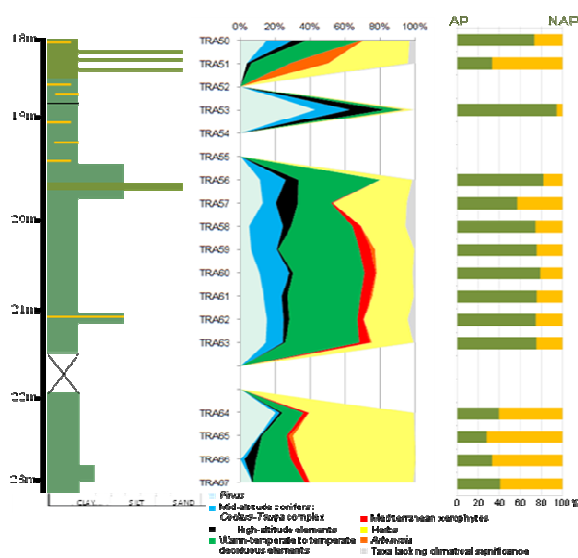


Fig. 1: diagramma pollinico sintetico (AP: piante arboree; NAP: piante erbacee).

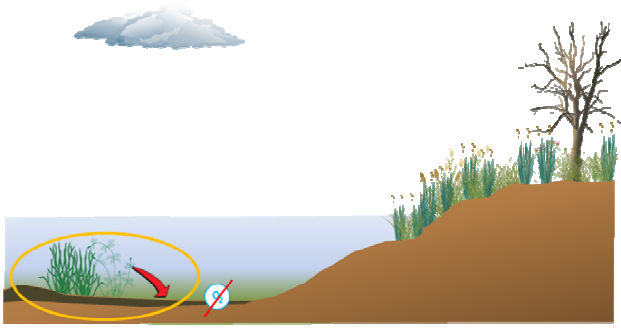


Figura 2. Ricostruzione paleoambientale della fase glaciale, dominata da piante erbacee e caratterizzata da un clima freddo e secco. Il detrito vegetale è prodotto all'interno del lago dalle piante acquatiche che ne colonizzano i fondali. Simboli usati nel disegno dal sito web ian.umces.edu/symbols/

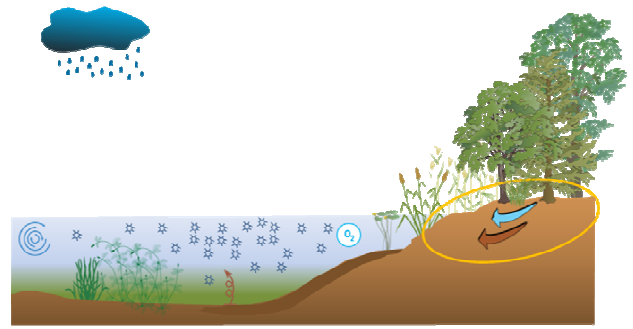


Figura 3. Fase interglaciale caratterizzata da un clima caldo-temperato e piovoso con foreste decidue e specie termofile subtropicali. Il detrito vegetale depositato nel lago è dominato da fitoclasti trasportati nel bacino dai corsi d'acqua. Simboli usati nel disegno dal sito web ian.umces.edu/symbols/

Il detrito vegetale è per lo più trasportato dai corsi d'acqua all'interno del lago. Inoltre si osserva un'elevata percentuale di materiale algale rappresentato dall'alga verde *Pediastrum* (Cloroficee). Le specie presenti sono tipiche di ambienti eutrofici dove l'input di acque di ruscellamento e di nutrienti nel lago favorisce la proliferazione di fitoplancton. Oggi il lago Trasimeno è caratterizzato da un'accentuata monotonia del popolamento fitoplanctonico (dominato da cianobatteri e cloroficee), con assoluta dominanza di poche specie che ricorda quella dei laghi laminari subtropicali eutrofici.

Dall'analisi dei pollini contenuti nei sedimenti è stato possibile osservare che la vegetazione presente al lago Trasimeno era molto diversa rispetto a quella attuale, per la presenza di specie arboree che si sono estinte in Italia nel corso del Pleistocene medio (es. *Carya*, *Tsuga*, *Pterocarya*, *Cedrus*, *Zelkova*). Le modeste percentuali di *Carya* potrebbero rappresentare la fase di declino di questa specie arborea, avvenuta proprio nel corso del Pleistocene medio. Anche il ritrovamento sporadico della conifera *Tsuga* conferma che l'intervallo di carota fra 18 e 23 metri può essere collocato nel Pleistocene medio (da 0,7 e 0,1 milioni di anni fa) quando la sua espansione più importante avvenuta nel Pleistocene inferiore era già conclusa.

4. – CONCLUSIONI

Questo studio mette in evidenza che esistono delle forti analogie fra le condizioni ambientali che hanno caratterizzato il lago nel Pleistocene e nell'ecosistema attuale. Ne sono un esempio la presenza di macrofite acquatiche (stessi generi dominanti), la mescolanza e quindi l'ossigenazione della colonna d'acqua ad opera del vento (il lago era anche in passato un lago laminare!), gli eventi di bloom di alghe Cloroficee. Alcune differenze sono altresì evidenti: la produzione di detrito vegetale oggi deriva essenzialmente dalle macrofite acquatiche, mentre nelle fasi interglaciali pleistoceniche il detrito era prevalentemente alloctono cioè trasportato nel lago dai corsi d'acqua; questo suggerisce che nel passato per alcuni periodi il lago era un sistema "vivo" caratterizzato da apporti copiosi.

I risultati ottenuti in queste fasi preliminari del progetto sottolineano come gli eventi a lungo termine, osservabili nel record geologico e il loro confronto con quello che accade negli ecosistemi attuali possa avere un valore predittivo su ciò che potrebbe accadere in futuro. Questo può fornire informazioni preziose nella gestione e nel monitoraggio di un sito di grande importanza naturalistica come è il lago Trasimeno.

BIBLIOGRAFIA

- AMBROSETTI P., C. CATTUTO & L. GREGORI (1989) - *Lineamenti geomorfologici dell'area a sud del L. Trasimeno: bacino di Tavernelle/Pietrafitta*. *Il Quaternario*, **2** (1), 57-64.
- ARPA UMBRIA (2012) - *Tutela ambientale del Lago Trasimeno*. Perugia.
- BARCHI M.R., BELLUCCI L.G., BORTOLUZZI G., BOSCHERINI A., GASPERINI L., LIGI M., MOTTI A., PAUSELLI C., SAVORANI E. (2006) - *A geological/geophysical study of the Trasimeno lake in the frame of the Italian geological map project (CARG)*. 5° Congress on regional geological cartography systems, 108-109. Barcellona.
- BARCHI M.R., MARRONI M. & ALII (2007) - *Note illustrative del Foglio 310 - Passignano sul Trasimeno*. Progetto CARG (CARTografia Geologica), Regione Umbria-ISPRA.
- BORTOLUZZI ET AL. (2005) - *Ricerche Geofisiche nel Lago Trasimeno*, ISMAR-CNR Bologna, Rapporto Tecnico N.97, Novembre 2005, Bologna
- CATTUTO C. & L. GREGORI (1993) - *Origine ed evoluzione del Lago Trasimeno*. Conferenza Auditorium Urbani. 15 Marzo (Assessorato della cultura - Passignano S.T. Università degli Studi di Perugia).
- CATTUTO C. & L. GREGORI (2009) - *Evoluzione geomorfologica del Lago Trasimeno*. *Mem. Soc. Geogr. It.*, **87**, 379-392.
- DRAGONI W. (2004) - *Il Lago Trasimeno e le Variazioni Climatiche*. Progetto informativo dell'assessorato all'Ambiente della Provincia di Perugia, Servizio Gestione e Difesa Idraulica, pp. 60, Perugia.
- GIACCIO B. (2006) - *l'eruzione dell'Ignimbrite Campana, oscillazioni climatiche sub-orbitali e i cambiamenti biculturali dell'OIS 3 europeo*. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Napoli Federico II.
- GREGORI L. (2009) - *Il Lago Trasimeno: dalla carta storica al DEM*. *Bollettino dell'A.I.C.*, 121-122, 175-213.
- GASPERINI L., M.R. BARCHI, L.G. BELLUCCI, G. BORTOLUZZI, M. LIGI, C. PAUSELLI (2010) - *Tectonostratigraphy of Lake Trasimeno (Italy) and the geological evolution of the Northern Apennines*. *Tectonophysics*, **492**, 164-174.
- LUDOVISI A. & GAINO E. (2010) - *Meteorological and water quality changes in Lake Trasimeno (Umbria, Italy) during the last fifty years*. *J. Limnol.*, **69**, (1), 174-188.
- MEYERS P.A. & LALLIER-VERGÈS E. (1999) - *Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates*. *Journal of Paleolimnology*, **21**, 345-372.
- REGIONE UMBRIA-SERVIZIO GEOLOGICO E SISMICO, CNR-ISMAR BOLOGNA (2004-2009) - *Rapporti di ricerca TRASI-04, TRASI-05, TRASI-07, TRASI-08, TRASI-09*. Perugia.
- REGIONE UMBRIA-SERVIZIO GEOLOGICO E SISMICO, ISPRA (2010) - *Foglio Geologico n. 310 "Passignano sul Trasimeno"*. In print.
- REGIONE UMBRIA-SERVIZIO GEOLOGICO E SISMICO, (2010) - *Rapporto di esecuzione del sondaggio esplorativo profondo 175 metri a Panicarola di Castiglione del Lago*. Perugia.
- SULPIZIO R., VAN WELDEN A., CARON B. AND ZANCHETTA G. (2010) - *The Holocene tephrostratigraphic record of Lake Shkodra (Albania and Montenegro)*. *Journal of Quaternary Science*, **25**(5), 633-650.
- WULF S., KRAML M., KELLER J. (2008) - *Towards a detailed distal tephrostratigraphy in the Central Mediterranean: The last 20,000 yrs record of Lago Grande di Monticchio*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **177**, 118-132.
-