



Giulia Giorgetti
Luca Gasperini
Giuseppe Stanghellini
Franco Corticelli
Alina Polonia

INDAGINE STRATIGRAFICA PRELIMINARE DEL LAGO DI CAVAZZO (FRIULI)

PRELIMINARY STRATIGRAPHIC STUDY OF LAKE CAVAZZO
(FRIULI VENEZIA GIULIA, NE ITALY)

Riassunto breve - Il Lago di Cavazzo (o Lago dei Tre Comuni) è il lago naturale più esteso del Friuli-Venezia Giulia e rappresenta una risorsa idrica fondamentale per tutta la regione. Attraverso l'analisi stratigrafica preliminare di tre carote di sedimento prelevate dal fondale del lago, abbiamo cercato di ricostruire i cambiamenti ambientali del lago e del territorio circostante durante le ultime decadi. In assenza di datazioni assolute, la presenza di varve stagionali, anche se non troppo affidabili in un ambiente che ha perso le sue condizioni di naturalità, ci ha consentito di ottenere un riferimento cronostatigrafico per la successione degli eventi sedimentari registrati nelle carote.

Negli ultimi 60 anni, il territorio intorno alla conca lacustre ha subito varie vicissitudini, naturali e antropiche, che includono l'impatto degli scarichi di una centrale idroelettrica, la costruzione di un viadotto autostradale e il verificarsi di una sequenza sismica particolarmente distruttiva con epicentri in prossimità delle rive. Questi eventi sono registrati nei sedimenti del lago, e queste prime analisi sono suggestive di una grande potenzialità del metodo, sebbene dovranno essere confermate da dati cronologici indipendenti.

Parole chiave: Lago di Cavazzo, Stratigrafia, Geochimica, Ostracodi, Friuli, NE Italia.

Abstract - Lake Cavazzo (or Lake of the Three Municipalities) is the largest natural lake in Friuli-Venezia Giulia (NE Italy) and represents a fundamental water resource for the whole region. Through a preliminary stratigraphic analysis of three sediment cores taken from the lake bottom, we have attempted to reconstruct environmental changes of the surrounding area during the last decades. In the absence of absolute dating, we based our interpretation on the presence of seasonal varve, although not very reliable in an environment that has lost its natural conditions. The resulting chronostratigraphic reference framework, is important to reconstruct the succession of sedimentary events as recorded in the cores stratigraphy.

During the last 60 years, the territory around the lake basin underwent various vicissitudes, natural and anthropic, which include the effects of a hydroelectric power station, the construction of a motorway viaduct, and the occurrence of a particularly destructive seismic sequence, with epicenters near the lake shores. These first analyses, however significant and suggestive of the method potential, will have to be confirmed by independent chronological data.

Key words: Cavazzo Lake, Stratigraphy, Geochemistry, Ostracods, Friuli, NE Italy.

1. Introduzione

Il Lago di Cavazzo (Fig. 1), noto anche come Lago dei Tre Comuni in quanto bagna il territorio comunale di Trasaghis, Bordano e Cavazzo (in provincia di Udine), è il lago di origine naturale più esteso del Friuli Venezia Giulia.

Si tratta di un bacino intramontano originatosi nel Pleistocene Medio (ZANFERRARI et al. 2013), in un'area attualmente caratterizzata da una complessa storia sismica e da precipitazioni abbondanti; è inoltre esposto ad intensa pressione antropica, che ha avuto un incremento importante durante l'ultimo secolo. In questi ultimi anni, nel bacino lacustre e nel territorio circostante sono stati condotti studi multidisciplinari, principalmente a carattere ambientale, in risposta alla preoccupazione della popolazione locale che ha

osservato un cambiamento significativo dell'ambiente naturale a seguito dell'installazione dell'impianto idroelettrico di Somplago, avvenuta nel 1958, sulla sponda settentrionale del lago (AA. VV. 1990; BENANTELLI et al. 2011; FRANZIL 2012).

L'ultimo studio del lago, in ordine di tempo, è stato condotto dall'Istituto di Scienze Marine (ISMAR) del CNR di Bologna, per mezzo di una convenzione stipulata tra l'Istituto e il comune di Trasaghis, che ha incluso un rilievo geologico-geofisico del fondale lacustre e il prelievo di campioni di sedimento (GASPERINI et al. 2015).

In questo articolo proponiamo una prima ricostruzione dell'evoluzione ambientale recente del Lago di Cavazzo basata sull'analisi sedimentologica, geochimica e micropaleontologica dei sedimenti prelevati da ISMAR in tre punti del fondale del Lago di Cavazzo.

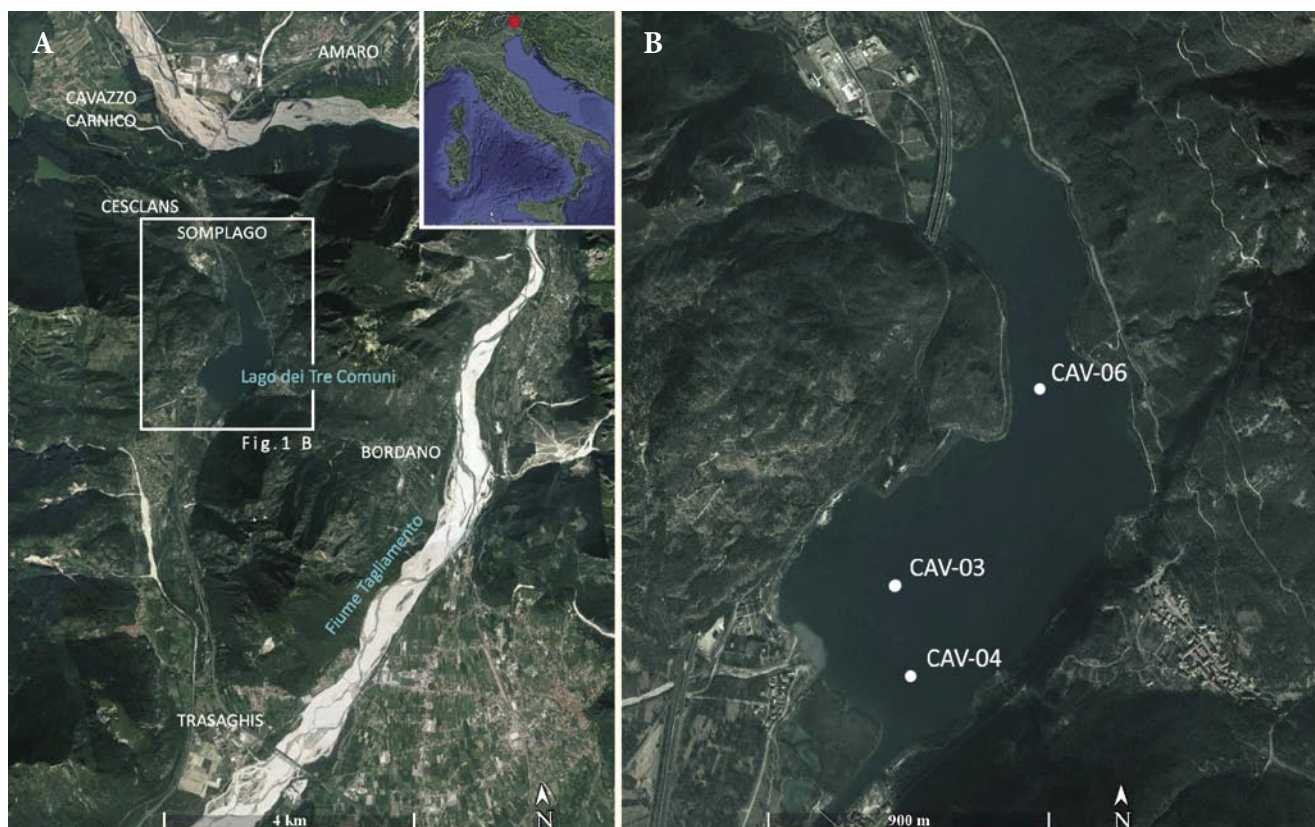


Fig. 1 - A) Veduta aerea del lago dei Tre Comuni o di Cavazzo e dell'area circostante; B) Veduta aerea del lago mostrante la collocazione delle carote di sedimento esaminate in questo studio. (Immagini Google Earth).

- A) Aerial view of the Tre Comuni Lake, or Cavazzo Lake, and the surrounding area; B) Aerial view of the Lake, displaying the locations of the sediment cores analysed in this study. (Aerial view by Google Earth).

1.1 Inquadramento geografico e geologico

Collocato ad un'altitudine di 195 m s.l.m., il Lago di Cavazzo ha una forma irregolare, allungata in direzione nord-sud per una estensione massima di circa 2,5 km. Il bacino raggiunge la profondità di 40 m in corrispondenza di una strozzatura collocata nella zona centrale, che mostra la distanza minima tra le ripide rive orientali e occidentali (Fig. 1 B). Le aree in prossimità delle rive settentrionali e meridionali, le più esposte alla pressione antropica (SGOBINO 1987), sono invece caratterizzate da pendii poco acclivi, che permettono la crescita e preservazione di aree umide intensamente vegetate. La zona meridionale, in particolare, è interessata dalla presenza di tipiche alghe lacustri dette macrofite, che colonizzano il fondale sommerso fino a circa 10 metri di profondità (AA. VV. 1990; COLIZZA et al. 1990).

Dal punto di vista geologico, il substrato che costituisce i rilievi in prossimità del lago è formato principalmente da calcari e dolomie di età Triassico-Cretacica (Dolomia Principale, Calcari di Dachstein, Formazione di Monte Zugna). Le rive settentrionali e meridionali sono interessate dalla presenza di unità di origine fluviale e fluvio-glaciale, a nord, e da depositi paludosi, a sud, la cui origine risale al Pleistocene. I depositi di versante collocati lungo le rive orientali e occidentali

risalgono allo stesso periodo di formazione (ZANFERRARI et al. 2013).

Il Lago di Cavazzo ha origine glaciale, e occupa una paleo-valle del fiume Tagliamento. Si tratta di una origine simile a quella di gran parte delle valli alpine e prealpine, modellate e scavate dai cicli di avanzata e ritiro dei ghiacciai durante il Pleistocene. Una frana verificatasi nei pressi dell'attuale Cesclans (Ud) nel Pleistocene medio ha bloccato lo sbocco settentrionale della valle causando l'accumulo di un corpo d'acqua. Successivamente, l'obliterazione dello spartiacque tra l'antico fiume Tagliamento e il fiume Fella, collocato nei pressi del centro di Amaro (Ud), dovuto all'avanzata glaciale, ha provocato lo spostamento del paleo-corso del Tagliamento dalla valle di Cavazzo alla posizione che occupa attualmente (ZANFERRARI et al. 2013).

1.2 Aspetti limnologici e idrologici

In epoca precedente alla costruzione della centrale di Somplago, il Lago di Cavazzo veniva alimentato unicamente dal Rio Schiazzasse, unico tributario a carattere permanente, e da una serie di tributari a carattere stagionale (COLIZZA et al. 1990), risultando quindi un corpo d'acqua relativamente isolato. Nel 1958, a seguito della messa in opera della centrale, è

stata realizzata una connessione tra il lago di Cavazzo e due bacini artificiali collocati a monte, i bacini dell'Ambiesta e di Sauris (PIRONIO 1989). Ciò ha determinato l'immissione costante di acque più fredde, che hanno causato un abbassamento della temperatura media e un cambiamento della naturale stratificazione delle acque (PIRONIO 1989).

Prima del 1958, il corpo d'acqua mostrava una stratificazione termica durante l'estate e l'inverno, ed era caratterizzato da condizioni isoterme in autunno e primavera (AA. VV. 1990; PIRONIO 1989): fin dai primi studi era infatti definito un "lago temperato" (MARINELLI 1894). L'influsso di acque fredde operato dalla centrale di Somplago ha portato ad avere una temperatura di 6-7°C durante l'intero corso dell'anno (AA. VV. 1990; PIRONIO 1989). Questo valore risulta inferiore alla media delle temperature estive e superiore alla media delle temperature registrate durante l'inverno (AA. VV. 1990; PIRONIO 1989; COLIZZA et al. 1990). Un effetto molto importante legato alle immissioni della centrale è stato un aumento degli episodi di torbidità delle acque, con massima frequenza durante l'autunno (AA. VV. 1990). Inoltre, il lago subisce variazioni giornaliere di livello che raggiungono il metro, dovute alla combinazione di fattori ambientali e antropici (CESCHIA & GIORGETTI 1980). Attualmente, il Lago di Cavazzo può essere classificato come "bacino oligotrofico" (AA. VV. 1990).

La configurazione idrografica attuale del lago è dominata dalla presenza delle immissioni da parte dello scarico della Centrale di Somplago (nella riva settentrionale) e dalla presenza di un emissario artificiale realizzato in seguito alla costruzione di quest'ultima, che convoglia le acque in eccesso al torrente Leale (PIRONIO 1989). Da quando la centrale è entrata in attività, si è verificata una riduzione della superficie del lago, da 1,74 km² a 1,2 km² (GASPERINI et al. 2015); questa variazione ha portato all'esposizione di una vasta area nei pressi della riva meridionale e di una porzione della riva settentrionale (GASPERINI et al. 2015).

Tra le varie vicissitudini, naturali e antropiche, che hanno interessato in tempi recenti l'area circostante il lago, ricordiamo l'alluvione che ha colpito la Carnia (insieme ad altre aree in Italia) nel novembre del 1966, la costruzione del Viadotto di Somplago, che corre lun-

go la sponda nord-ovest del lago, e la crisi sismica del 1976, caratterizzata da numerose scosse di magnitudo fino a 6,5 gradi della scala Richter (ZANFERRARI et al. 2013), con epicentri non lontano dalla valle del Lago di Cavazzo.

2. Materiali e metodi

2.1 Carote di sedimento

Le analisi stratigrafiche oggetto di questo lavoro sono state condotte su tre carote di sedimento (CAV-03, 04 e 06) prelevate durante una campagna geologico-geofisica effettuata dal CNR-ISMAR di Bologna a maggio 2015 (GASPERINI et al. 2015). Le carote sono state ottenute in tre siti diversi (Fig. 1B), scelti sulla base di una analisi preliminare dei dati geofisici, mediante un carotiere a gravità con diametro di 6 cm di tipo *sediment-water interface*, che permette di lasciare indisturbata l'interfaccia acqua-sedimento. Le carote hanno lunghezza variabile tra 42 e 64 cm. e sono state prelevate a profondità variabile tra 10 e 40 metri (Tab. I). La successione stratigrafica osservata nelle carote è stata descritta in primo luogo tramite una analisi visiva, tenendo conto del colore del sedimento, della granulometria, della consistenza e delle strutture sedimentarie. Le carote mostrano una laminazione data dall'alternanza di livelli chiari e scuri, particolarmente evidente in CAV-03 e CAV-06. Tale laminazione è riconducibile alle variazioni stagionali tipiche di ambiente lacustre (varve), in cui la successione di un livello chiaro e uno scuro costituisce l'intervallo corrispondente ad un anno; sulla base del colore e del numero delle lamine è stato possibile effettuare una ricostruzione cronologica che ha permesso di ipotizzare un intervallo temporale di deposizione dei sedimenti presenti nelle carote.

2.2 Osservazioni di campioni con stereo-microscopio

Sono stati prelevati 51 campioni di sedimento dalle carote per osservazioni allo stereo-microscopio. In particolare, sono stati analizzati 9 campioni da CAV-03, 20 da CAV-04 e 22 da CAV-06, considerati significativi dell'intera successione stratigrafica sulla base della prima analisi visiva.

La carota CAV-03 è stata campionata esclusivamente per le analisi composizionali, mentre i campioni di CAV-04 e CAV-06 sono stati utilizzati anche per analisi geochimiche non distruttive.

Per preparare i campioni all'osservazione, è stata applicata la procedura standard per le analisi micropaleontologiche: tutti i campioni sono stati essiccati in forno alla temperatura di 50°C per 24 ore e successivamente pesati. In un secondo momento, i campioni sono stati immersi per 24 ore in acqua demineralizzata,

Carota	coordinate Longitude	Latitudine	profondità (m)
CAV-03	13,0700165037°	46,3268070170°	-24,80
CAV-04	13,0707736704°	46,3241830169°	-10,00
CAV-06	13,0763325040°	46,3328415174°	-40,00

Tab. I - Coordinate, espresse in gradi decimali, e profondità delle tre carote di sedimento esaminate all'interno di questo studio.
- Coordinates (in decimal degrees) and depth of the three sediment cores analysed throughout this study.

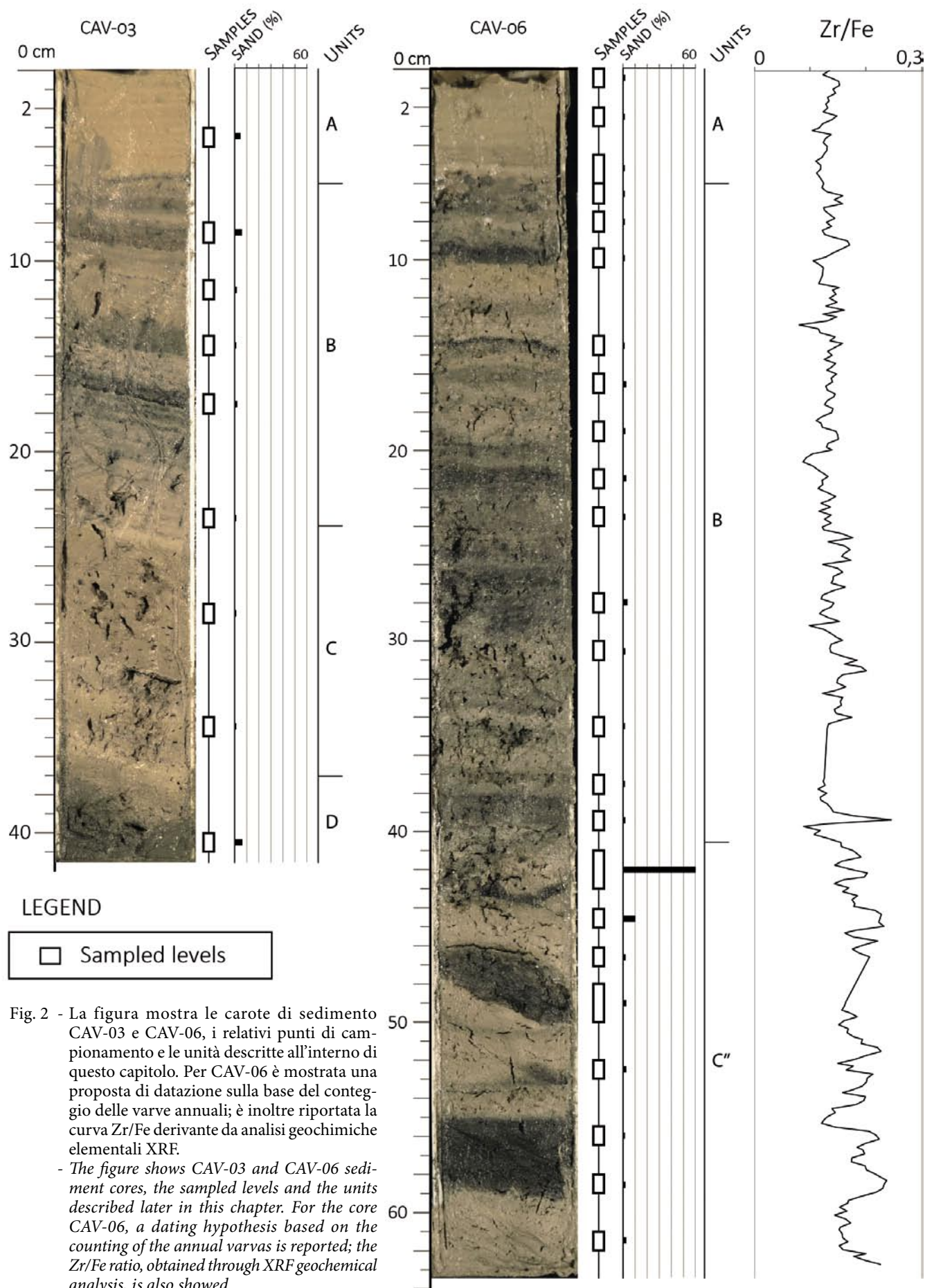


Fig. 2 - La figura mostra le carote di sedimento CAV-03 e CAV-06, i relativi punti di campionamento e le unità descritte all'interno di questo capitolo. Per CAV-06 è mostrata una proposta di datazione sulla base del conteggio delle varve annuali; è inoltre riportata la curva Zr/Fe derivante da analisi geochemiche elementari XRF.

- The figure shows CAV-03 and CAV-06 sediment cores, the sampled levels and the units described later in this chapter. For the core CAV-06, a dating hypothesis based on the counting of the annual varvas is reported; the Zr/Fe ratio, obtained through XRF geochemical analysis, is also showed.

al fine di favorire il setacciamento a umido con maglie a 63 µm. Il residuo di ogni campione è stato filtrato, seccato in forno a 50°C per circa 5 ore, pesato e inserito in appositi sacchetti di polietilene.

L'analisi qualitativa dei campioni è stata eseguita seguendo lo schema qui riportato, che include le caratteristiche e gli accessori più comuni tipicamente presenti nei campioni di sedimento lacustre:

- i) colore (della lamina in carota e del residuo setacciato);
- ii) presenza e natura dei clasti;
- iii) accessori vegetazionali (frustoli vegetali, frammenti di corteccia, frammenti di foglie, frammenti di alghe, oospore);
- iv) *thanatocenosi* (frammenti di gusci, gusci di molluschi, valve di ostracodi).

Gli ostracodi sono crostacei dotati di un esoscheletro composto da due valve articolate. Sono diffusi in ambienti a differenti salinità ed è possibile, quindi, trovare le valve all'interno della colonna di sedimento, in quanto costituiscono un elemento delle comunità bentoniche di mari, ambienti parali e corpi di acqua dolce continentali. A seconda della specie, possono condurre stili di vita differenti, quindi fornire informazioni sulle condizioni esistenti sul fondale al momento della sedimentazione.

Le valve rinvenute hanno permesso una classificazione fino al genere o, in alcuni casi, fino alla specie, attraverso il riconoscimento della loro morfologia; si è tenuto conto del profilo delle valve, dell'ornamentazione del carapace, della forma dei vestiboli e delle impronte muscolari, quando visibili. La classificazione è stata operata sulla base della guida sugli ostracodi di acqua dolce britannici (HENDERSON 2002) e sull'analisi degli ostracodi presenti in Friuli Venezia Giulia (PIERI 2009), anche se, come mostrato nel lavoro di MAZZINI et al. (2014), sul genere *Ilyocypris* l'analisi delle valve può non essere sufficiente per definire le specie. Gusci e opercoli di molluschi gasteropodi sono stati classificati sulla base delle informazioni riportate da BENANTELLI et al. (2011). I fusti di alghe bentoniche, le oospore da loro prodotte e le precipitazioni carbonatiche derivanti dalla loro attività biologica sono stati riconosciuti e classificati tramite il libro "Il lago di Cavazzo e la sua valle" (AA. VV. 1990), il manuale "The physiology of Characean cells" (BEILBY & CASANOVA 2014) e il lavoro di APOLINARSKA et al. (2011).

2.3 Analisi granulometriche

Mediante i pesi dei 51 campioni ottenuti durante la setacciatura a umido descritta nel paragrafo precedente è stato ricavato il contenuto in sabbia sotto forma di percentuale:

$$\% \text{ sabbia} = \frac{\text{peso netto frazione sabbiosa}}{\text{peso netto totale}} \times 100$$

Inoltre, durante le operazioni di campionatura, sono state effettuate osservazioni granulometriche speditive dal punto di vista tattile.

2.4 Analisi SEM-EDS

Il SEM (*Scanning Electron Microscope*) modello Zeiss EVO LS10 SEM EDS è stato utilizzato presso l'Istituto di Microelettronica e Microsistemi del CNR di Bologna (IMM) per condurre osservazioni di dettaglio sui principali elementi accessori individuati tramite lo stereoscopio.

È stata acquisita una fotografia panoramica relativa alle valve di ogni specie di ostracode precedentemente identificato, ponendo particolare attenzione alle impronte muscolari; sono state inoltre realizzate fotografie di elementi di interesse quali resti di alghe, oospore e clasti carbonatici. Su questi ultimi sono state condotte analisi geochimiche elementali (X-ray EDS spectrometer) per determinarne la composizione.

2.5 Analisi geochimiche elementali XRF

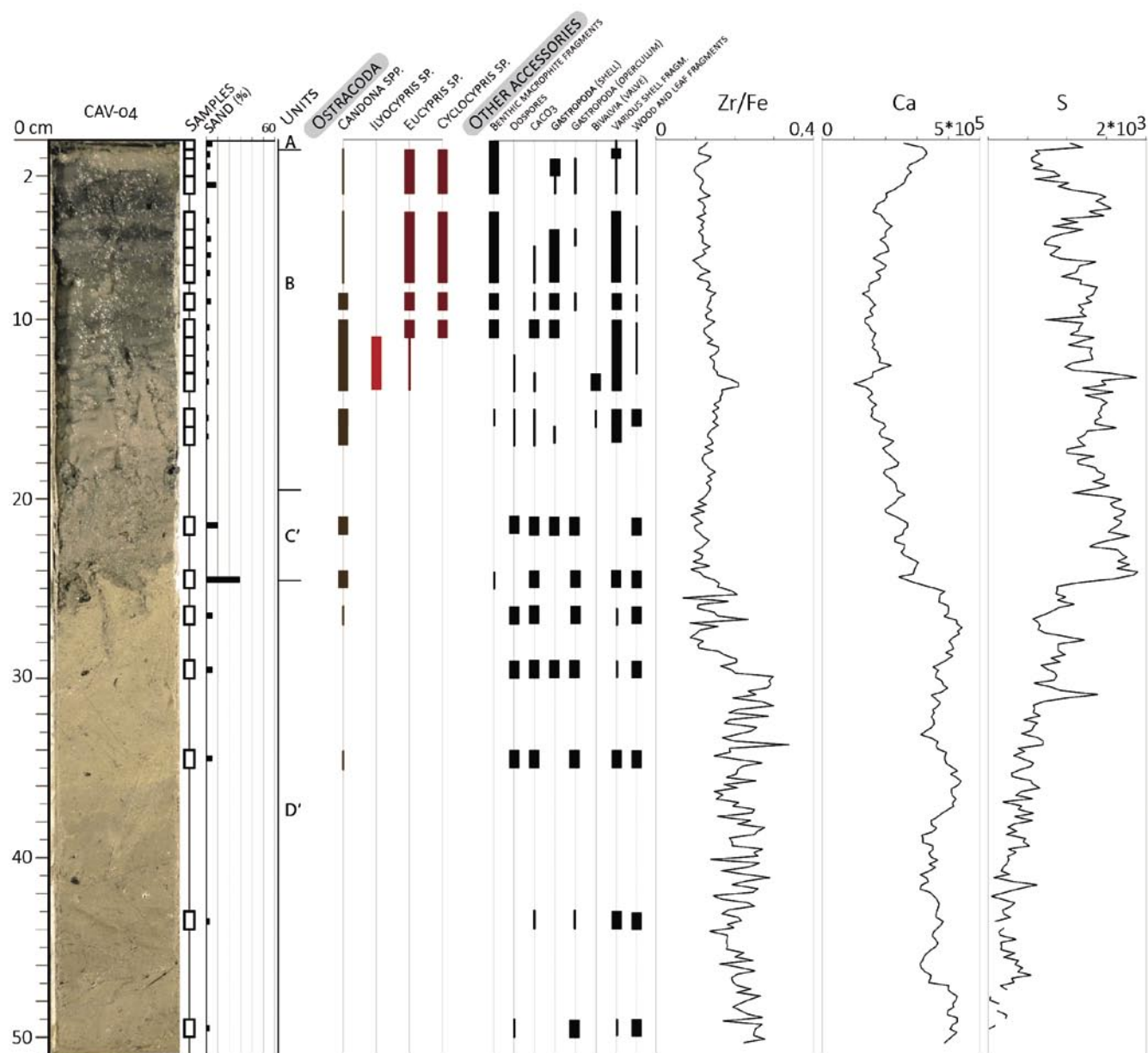
La composizione chimica del sedimento è stata ottenuta usando un core-scanner Avaatech XRF con una risoluzione di 1 cm per le carote CAV-04 e CAV-06. Le analisi sono state eseguite utilizzando tre impostazioni strumentali a 10, 30 e 50 kV. Questo metodo consente un'analisi semi-quantitativa del contenuto degli elementi analizzati.

3. Risultati

3.1 Analisi stratigrafiche

Sulla base delle caratteristiche analizzate, la successione stratigrafica osservata all'interno delle tre carote è stata suddivisa in una serie di unità, definite come: A, B, C, C', C'', D, D'.

La sommità di tutte e tre le carote è costituita da una unità recente (unità-A), generalmente chiara, con percentuale sabbiosa inferiore al 10%, finemente laminata e di spessore variabile, da circa 6 cm in CAV-03 e CAV-06, a meno di un centimetro in CAV-04 (Figg. 2 e 3). Al di sotto di questa unità è visibile un'alternanza di bande sub-orizzontali millimetriche o talvolta centimetriche, di colore chiaro e scuro, a granulometria prevalentemente siltoso-argillosa (unità-B, Figg. 2 e 3) che caratterizzano l'unità-B. In CAV-03, i livelli risultano clinostratificati (Fig. 2); in CAV-04 questa unità può essere suddivisa in un intervallo sommitale scuro (1-10 cm circa) e un intervallo inferiore più chiaro (10-20 cm) (Fig. 3). L'unità-B ha uno spessore di circa 15 cm in CAV-03, 20 cm in CAV-04 e di 34 cm in CAV-06 (Figg. 2 e 3).



LEGEND

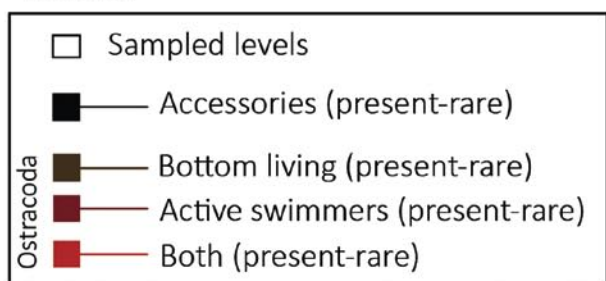


Fig. 3 - La figura mostra la carota CAV-04, i punti di campionamento e le unità descritte in seguito all'interno del capitolo. Sono inoltre riportati vari tipi di materiale accessorio osservati tramite lo stereo-microscopio e tre curve ottenute tramite analisi geochimiche.

- The figure shows CAV-04 sediment core, the sampled levels and the units described later in this chapter. Several types of accessory material, observed through the stereo-microscope, and three geochemical parameters, are also reported.

Al di sotto dell'unità-B, in CAV-03 si trova un'unità compatta omogenea (unità-C) caratterizzata da un colore chiaro leggermente variabile che, tra 36 e 40 cm passa gradualmente ad una unità dalla consistenza spugnosa di colore molto scuro che definiamo come unità-D (Fig. 2).

La carota CAV-04 (Fig. 3), nell'intervallo compreso tra 20 e 25 cm, mostra un'unità caotica di colore scuro caratterizzata da percentuale sabbiosa tra il 10 e il 30%, a base erosiva (unità-C') e, al di sotto, un'unità compatta di colore chiaro, priva di strutture riconoscibili e con una percentuale sabbiosa che si aggira intorno al 5% (unità-D').

La carota CAV-06 (Fig. 2) presenta, tra 40 cm e il fondo, un'unità caratterizzata da bande pluri-centimetriche fortemente irregolari e ad alto contrasto cromatico; in particolare, è visibile un picco in contenuto in sabbia (60%) a 41 cm (unità-C'').

Un'alternanza di bande chiare e scure è visibile in ognuna delle tre carote; in CAV-03 e CAV-04 presentano, tuttavia, un carattere irregolare e le lamine non sono sempre distinguibili. Diverso è il caso della carota CAV-06, dove è possibile distinguere nettamente 94 lamine comprese nell'intervallo tra 0 e 41 cm. Di norma, ogni coppia di lamine rappresenta un anno di sedimentazione lacustre, quindi, in questo caso, l'intero intervallo corrisponderebbe a 47 anni; tuttavia, non è possibile escludere deviazioni da questa regolarità nella sedimentazione visto che il lago di Cavazzo è fortemente antropizzato.

3.2 Osservazioni di campioni con stereo-microscopio

Elementi di origine vegetale

All'interno dei campioni prelevati da tutte e tre le carote sono stati rinvenuti resti di origine vegetale di varia natura:

- Frammenti di legno (rami, corteccia e foglie, oltre a frammenti non identificabili);
- Frammenti di fusti di alghe macrofite bentoniche appartenenti al genere *Chara* e di altri elementi correlati alla loro attività biologica, quali oospore e frammenti di CaCO_3 (Fig. 4).

Nei campioni di CAV-03 sono stati riscontrati frustoli vegetali millimetrici e sub-millimetrici nella totalità dei campioni, con particolare abbondanza nei livelli 8-9 cm, 14-15 cm, 34-35 cm e 40-41 cm. In quest'ultimo intervallo sono state anche osservate oospore in buono stato di conservazione.

La carota CAV-04 presenta una maggiore diversificazione degli elementi di origine vegetale (Fig. 3). Nei campioni compresi tra 0 e 11 cm (unità-A e parte sommitale di -B) sono stati riscontrati abbondanti frammenti di fusti di alghe macrofite bentoniche, il cui stato di conservazione, come le dimensioni, decresce con la profondità: alla sommità della carota risultano

frammenti pluri-millimetrici con colorazione verdastra mentre, nei campioni sottostanti, i frammenti risultano sbiancati e di dimensioni inferiori al millimetro. Frammenti lignei sono riscontrati sporadicamente a partire da 7 cm, ma risultano prevalenti all'interno dei campioni tra 22 e 50 cm (unità-C' e -D'), in particolare all'interno dell'unità-C', dove è visibile una tendenza *fining-upward* dei frammenti lignei. In prossimità della base erosiva, i frammenti raggiungono dimensioni pluri-centimetriche, mentre risultano millimetrici nell'intervallo 21-22 cm. Le oospore sono presenti nella parte inferiore dell'unità-B e all'interno delle unità -C' e -D': sono presenti in ogni campione tra 12 cm e il fondo della carota, in particolare tra 21 e 35 cm. Negli intervalli 6-11 cm e 13-44 cm compaiono, come elemento accessorio, frammenti sub-millimetrici di CaCO_3 associabili all'attività delle alghe; risultano abbondanti nei campioni tra 21 e 35 cm.

La quasi totalità dei campioni di CAV-06 contiene frammenti lignei e di foglie di dimensioni variabili; risultano abbondanti all'interno delle 3 unità, principalmente negli intervalli 2-6 cm (unità-A), 15-22 cm (unità-B) e 39-62 cm (unità-C'').

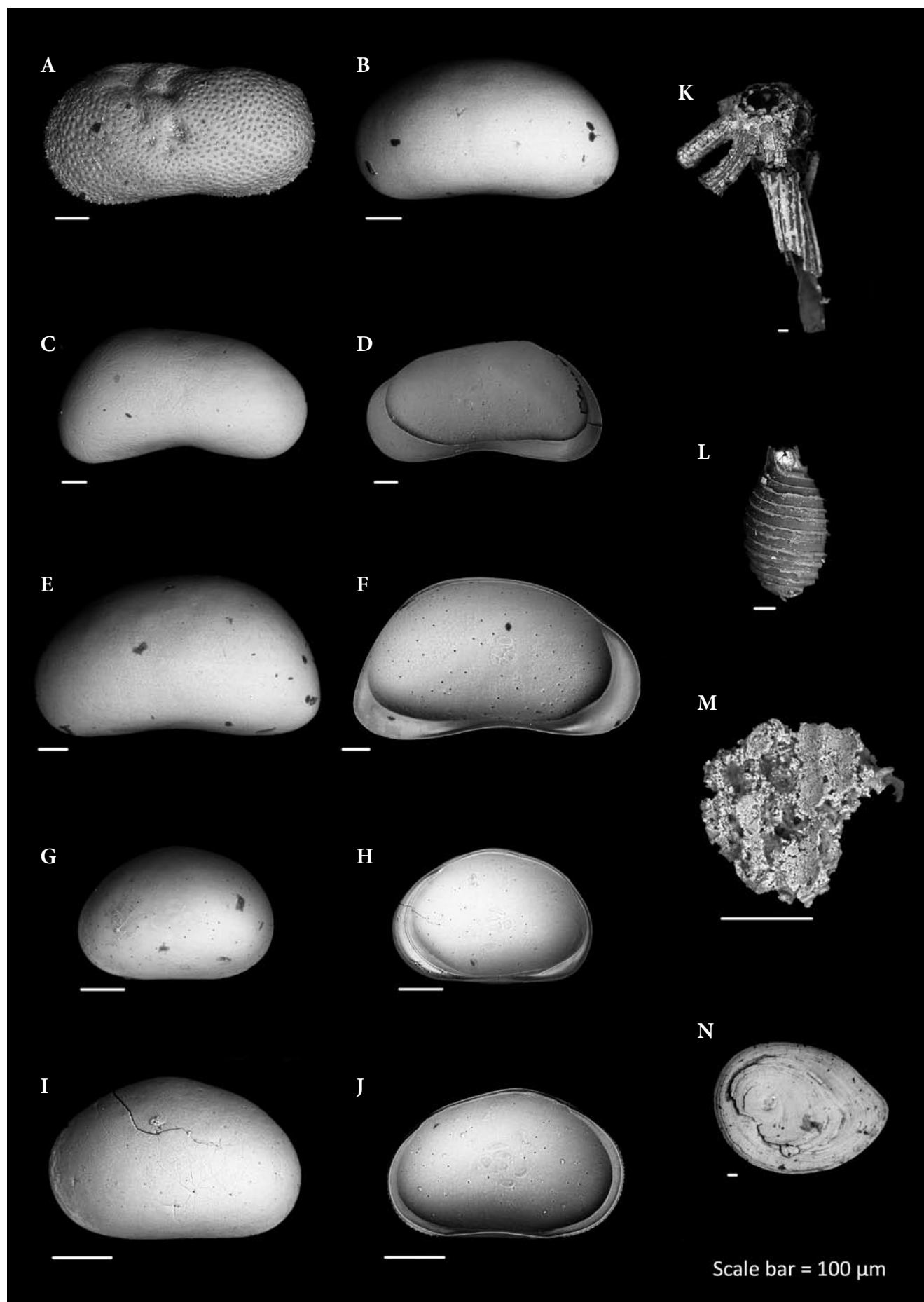
Benthos

È stata effettuata una analisi qualitativa della *thanatocenosi* tramite la classificazione delle valve e dei gusci depositatisi insieme al sedimento, ponendo particolare attenzione al loro stato di conservazione. Maggiore attenzione è stata dedicata alla classificazione di valve di ostracodi (Figg. 3 e 4); altre forme presenti risultano essere gusci e opercoli di gasteropodi (Figg. 3 e 4) e, raramente, valve di bivalvi (Fig. 3).

Ostracodi

Il fondale del Lago di Cavazzo è stato interessato dalla presenza sporadica di ostracodi. Sono stati riscontrati, negli intervalli 3-4 cm (unità-A), 8-9, 11-12 e 17-18 cm (unità-B) di CAV-03, frammenti di gusci e rarissime valve intere giovanili appartenenti al genere *Candona*; l'intervallo 40-41 cm (unità-D) è caratterizzato da maggiore presenza sia di frammenti, che di valve intere e ben conservate di esemplari appartenenti al genere *Candona* (*Candona candida* e *Candona* sp.) (Fig. 4), con dimensioni fino a circa 0,5 mm.

La carota CAV-04 presenta una maggiore diversificazione dell'associazione di acqua dolce rispetto alle altre due carote; valve intere e ben conservate sono state riscontrate soprattutto nelle unità-A e -B. Nell'unità-A e nella porzione sommitale dell'unità-B (intervallo di colore scuro, 0,5-11 cm) sono prevalenti valve appartenenti ai generi tipicamente natanti *Eucypris* e *Cyclocypris* (Fig. 4) (HENDERSON 2002); valve di *Candona* (*C. candida*, *C. neglecta*, *Candona* sp.) (Fig. 4), un genere che conduce uno stile di vita a contatto con il fondale, (HENDERSON 2002) sono presenti ma in maniera



subordinata e discontinua; queste ultime prevalgono nell'intervallo di colore chiaro 9-16 cm, dove sono state riscontrate insieme al genere *Ilyocypris* (Fig. 4) (che conduce uno stile di vita prevalentemente bentonico, come riportato da HENDERSON 2002), concentrato nell'intervallo 11-14 cm. Rare valve appartenenti ai generi *Cyclocypris* e *Ilyocypris* sono state anche osservate tra 11 e 16 cm. Nelle unità -C' e -D' sono presenti rare valve di *Candona* sp. in stato di conservazione non ottimale, sbiancate e frammentate nei campioni 24-25, numerose tra 26-27 e 34-35 cm.

La distribuzione degli ostracodi in CAV-06 risulta discontinua all'interno delle tre unità, in quanto sono presenti rarissime valve di *Candona candida*, sia in buono stato di conservazione che frammentate negli intervalli 0-1, 2-3 e 39-40 cm.

Altri gusci

All'interno delle quattro unità di CAV-04 sono presenti gusci, frammenti di gusci e opercoli (Fig. 4) di molluschi di acqua dolce, in particolare gasteropodi appartenenti al genere *Bythinia*, tipico di acque debolmente correnti (BENANTELLI et al. 2011). Nell'intervallo 0-16 cm (unità-A e parte sommitale di -B) sono abbondanti i gusci interi e frammenti, di dimensioni variabili (da pochi millimetri a 1 cm ca.), mentre sono rari gli opercoli. Nei campioni prelevati dalle unità-C' e -D' risultano meno frequenti i gusci interi, mentre sono frequenti frammenti di gusci e opercoli pluri-

millimetrici con segni di abrasione, in particolare in corrispondenza della base dell'unità-C'.

3.3 Analisi geochimiche elementari XRF

L'elaborazione di curve ottenute tramite le analisi geochimiche elementari XRF condotte su CAV-04 e CAV-06 hanno evidenziato alcune variazioni nella colonna di sedimento: il rapporto Zr/Fe, utilizzato in uno studio analogo (RAPUC et al. 2019) come indice correlato alle variazioni di granulometria, mostra, in CAV-04, una significativa differenza tra la parte superiore (0-25 cm), caratterizzata da un valore basso del rapporto Zr/Fe, e la parte inferiore (25-51 cm) dove questo rapporto è più alto (Fig. 3). È possibile osservare un andamento analogo in CAV-06, dove nell'intervallo superiore (0-41 cm) il rapporto assume un valore relativamente inferiore all'intervallo 41-64 cm (Fig. 2).

CAV-04 mostra, inoltre, un particolare andamento delle curve di Ca e S, che risulta opposto, con una inversione in corrispondenza di 25 cm (Fig. 3). La curva del Ca assume valori mediamente inferiori nell'intervallo 0-25 cm, e superiori nell'intervallo 25-51 cm; la curva di S segue un andamento opposto.

4. Evoluzione ambientale del lago

L'analisi stratigrafica effettuata sulle carote di sedimento del Lago di Cavazzo, per quanto preliminari, permettono di formulare alcune ipotesi sull'evoluzione a scala decennale della sedimentazione, che ha registrato cambiamenti dell'ambiente lacustre. Gli elementi che si sono rivelati più utili a questo scopo sono le variazioni di colore del sedimento, il contenuto in sabbia, la distribuzione degli elementi accessori e alcuni parametri geochimici, che hanno fornito una prima serie di informazioni sulle condizioni ambientali del fondale al momento della deposizione.

Le unità stratigrafiche sommitali, comuni alle tre carote (unità-A e -B), hanno caratteristiche litologiche simili ad un primo esame visivo e granulometrico; gli elementi accessori, tuttavia, differiscono a causa della collocazione del punto di prelievo all'interno del bacino.

La carota CAV-03 è stata prelevata nella porzione sud-orientale del lago, a 24,8 m di profondità, in una zona scarsamente vegetata; la carota CAV-04 è stata prelevata nella porzione meridionale, a 10 m di profondità, in corrispondenza di una zona a bassa energia idrodinamica, intensamente vegetata e occupata da alghe macrofite bentoniche. Il punto di prelievo di CAV-06 è invece collocato nei pressi del depocentro del bacino, in corrispondenza della foce di alcuni canali immissari stagionali: un contesto caratterizzato da alta energia e alto tasso di sedimentazione e che, per questo motivo,

Fig. 4 - Pagina a fianco. Fotografie dei principali elementi accessori realizzate tramite microscopio elettronico Zeiss EVO LS10 SEM EDS. A-J: gusci di ostracodi; K-N: altri materiali accessori. A) *Ilyocypris* sp., vista laterale esterna; B) *Candona* sp., vista laterale esterna; C) *Candona neglecta*, vista laterale esterna; D) *Candona neglecta*, vista laterale interna; E) *Candona candida*, vista laterale esterna; F) *Candona candida*, vista laterale interna; G) *Cyclocypris* sp., vista laterale esterna; H) *Cyclocypris* sp., vista laterale interna; I) *Eucypris* sp., vista laterale esterna; J) *Eucypris* sp., vista laterale interna; K) Frammento di fusto di alga macrofita bentonica appartenente al gen. *Chara*; L) Oospore di *Chara* sp.; M) Frammento di carbonato autoctono; N) Opercolo di gasteropode appartenente al gen. *Bythinia*. La barra di scala corrisponde a 100 µm.

- Page on the left, Photos of the main accessories taken using the scanning electron microscope Zeiss EVO LS10 SEM EDS. A-J: ostracoda valves; K-N: other accessories. A) *Ilyocypris* sp., external lateral view; B) *Candona* sp., external lateral view; C) *Candona neglecta*, external lateral view; D) *Candona neglecta*, internal lateral view; E) *Candona candida*, external lateral view; F) *Candona candida*, internal lateral view; G) *Cyclocypris* sp., external lateral view; H) *Cyclocypris* sp., internal lateral view; I) *Eucypris* sp., external lateral view; J) *Eucypris* sp., internal lateral view; K) Thallus fragment of benthic macrophyte algae belonging to gen. *Chara*; L) Oospore of *Chara* sp.; M) Fragment of autochthonous carbonate; N) Operculum of a gastropod belonging to gen. *Bythinia*. Scale bar equals to 100 µm.

registra una successione sedimentaria più espansa rispetto a quella osservata nelle altre due carote.

Le carote acquisite in posizioni diverse all'interno del bacino lacustre suggeriscono tassi di sedimentazione e processi sedimentari variabili all'interno dei vari domini, differenze che si riscontrano sia a livello sedimentologico, che rispetto alle osservazioni del materiale accessorio.

L'unità-A rappresenta la sedimentazione lacustre più recente (attuale). Lo spessore millimetrico delle lamine sub-orizzontali, visibili principalmente in CAV-03 e -06, suggerisce un basso tasso di sedimentazione (<0,5 cm/anno dedotto grazie alla conta delle lamine e assumendo siano varve). Il colore tendenzialmente omogeneo indica l'assenza di una netta diversificazione della sedimentazione nel bacino nel corso dell'anno. Tale unità ha spessori diversi coerentemente con la collocazione del punto di prelievo di ogni carota. La carota CAV-04, collocata in un'area laterale a bassa energia presenta uno spessore dell'unità-A pari a 1 cm, mentre in CAV-03 e CAV-06 lo spessore risulta maggiore, in quanto collocate in punti del bacino interessati da maggior energia idrodinamica.

L'unità-B, caratterizzata dall'alternanza di lamine centimetriche e millimetriche di colore chiaro e scuro, è riconducibile ad una sedimentazione fortemente influenzata dalla stagionalità e da un maggiore flusso sedimentario rispetto all'unità sovrastante.

Nel punto di prelievo di CAV-04, tuttavia, è possibile notare come le lamine siano differenziate in maniera meno netta, dando luogo ad una successione condensata; inoltre, l'unità-B della stessa carota presenta un colore più scuro nella metà superiore, che schiarisce in maniera graduale procedendo verso il basso. Grazie alla notevole presenza di resti di macrofite bentoniche nel record sedimentario in corrispondenza del tetto dell'unità-B, è possibile ipotizzare che la sedimentazione, in corrispondenza del punto di prelievo di CAV-04, fosse influenzata dalla presenza di un fitto manto vegetazionale, che coprendo il fondale ha causato un calo nel livello di ossigenazione. Un alto livello di S visibile nella curva dei dati XRF (Fig. 3) corrobora questa ipotesi. In condizioni di scarsa ossigenazione, infatti, lo zolfo tende ad accumularsi sul fondale sotto forma di solfuri. L'ipotesi di una scarsa ossigenazione, oltre che dal colore scuro del sedimento, è supportata dalla prevalenza, nei primi 11 cm, di generi di ostracodi tipicamente natanti, a discapito delle specie che vivono a stretto contatto con il fondale. Con il progressivo cambio di colore verso il basso, si nota un aumento graduale delle specie tipicamente bentoniche rispetto alle specie natanti, in corrispondenza con una diminuzione della dimensione e dell'abbondanza dei resti di alghe macrofite bentoniche. Queste ultime ricoprono, nei laghi di acqua dolce, un importante ruolo di riparo per forme di vita bentoniche, oltre a svolgere una attività di fitodepu-

razione rimuovendo inquinanti e nutrienti dalle acque, e contribuendo alla sedimentazione lacustre mediante il rilascio di frammenti di CaCO_3 precipitati lungo i fusti (APOLINARSKA et al. 2011; BEILBY & CASANOVA 2014; MATSUDA et al 2015). Inoltre, quanto evidenziato è in linea con le osservazioni riportate da COLIZZA et al. (1990), i quali riscontrano *thanatocenosi* a ostracodi più abbondanti in corrispondenza della zona vegetata lungo le sponde meridionali del lago.

Le unità sottostanti la -B presentano caratteristiche differenti a seconda della carota.

La carota CAV-03 è caratterizzata da due unità di incerta attribuzione (unità-C e -D), nelle quali non si osservano strutture sedimentarie o elementi accessori diagnostici.

Nella carota CAV-04 è visibile un deposito (unità -C') caratterizzato da base erosiva e tendenza *fining-upward* visibile sia in carota, sia tramite analisi qualitativa dei campioni allo stereo-microscopio. All'interno di -C' sono presenti vari elementi accessori che suggeriscono una mobilizzazione del sedimento ad opera di un evento ad alta energia. Infatti, questa unità, caratterizzata da granulometria maggiore, oltre a contenere frammenti lignei di dimensioni notevoli, comprende anche opercoli di gasteropodi e gusci di ostracodi danneggiati; sono presenti, inoltre, oospore e carbonati prodotti da macrofite bentoniche. Questi ultimi due elementi, in particolare, tendono a depositarsi ad una profondità maggiore rispetto a quella di area vegetata che dovrebbe caratterizzare la sedimentazione autoctona, in quanto vengono tipicamente trasportati ad opera delle correnti (BEILBY & CASANOVA 2014). Il deposito potrebbe quindi essere riconducibile ai maggiori eventi in grado di causare una ri-mobilizzazione di sedimento in un lasso di tempo tra l'attuale e la seconda metà del 1900, cioè l'installazione della centrale di Somplago, nel 1958, l'alluvione del 1966, o le scosse di terremoto verificatesi nel 1976; è possibile che gli ultimi due eventi abbiano prodotto effetti cumulativi sui depositi formati in precedenza. Il terremoto, in particolare, può rappresentare un meccanismo di innesco di processi di instabilità gravitativa e frane anche in ambiente subacqueo, come dimostrato nel Mar Ionio per i maggiori terremoti italiani (POLONIA et al. 2016).

L'unità-D' potrebbe risalire a un periodo precedente la messa in opera della Centrale di Somplago, quando il Lago di Cavazzo era un bacino isolato non influenzato dalle acque dell'Ambiesta e di Sauris, e il suo livello era maggiore di circa 10 m rispetto all'attuale. L'unità-D presenta caratteristiche visibilmente differenti da tutte le altre, corrispondenti a un diverso contesto ambientale, e non ha corrispondenti nelle altre carote, che probabilmente integrano un periodo di tempo inferiore. Nonostante i depositi appaiano massivi e privi di strutture sedimentarie, all'interno dei campioni sono stati riscontrati numerosi accessori, tra cui oospore,

carbonati autoctoni, valve di ostracodi e frammenti di gusci, probabilmente originatisi a profondità minore e trasportati a opera delle correnti. La rarissima presenza di ostracodi in questa unità è attribuibile alla loro tendenza a prediligere fondali a granulometria più fine, siltoso-fangosi, e zone caratterizzate da bassa energia idrodinamica (HENDERSON 2002). Come mostrato dal rapporto Zr/Fe, infatti, la parte inferiore di CAV-04 è caratterizzata da granulometria maggiore rispetto alla parte superiore.

L'unità basale della carota CAV-06 (unità-C") è riconducibile ad un evento ad alta energia, come suggerisce l'alta percentuale sabbiosa nei campioni a tetto e la presenza di strati inclinati e deformati e di numerosi resti lignei, oltre che da livelli con alto rapporto Zr/Fe.

Se il lago si trovasse nella sua condizione di sedimentazione originaria, un conteggio delle varve operato sulla carota CAV-06 porterebbe all'individuazione di una corrispondenza tra il livello a profondità di 41 cm e l'anno 1968. Tale cifra deriva dalla differenza tra il 2015, anno di acquisizione delle carote, meno i 47 anni corrispondenti al numero di varve osservate fino a quel livello; questo consentirebbe di ipotizzare una correlazione tra l'unità-C" e gli eventi antropici e naturali avvenuti nella regione del lago tra la fine degli anni '50 e gli anni '70. Tuttavia, resta da verificare il tenore della sedimentazione annuale in un lago fortemente interessato da modificazioni ad opera antropica come quello in esame.

La presenza di una superficie erosiva collocata a 25 cm in CAV-04, insieme all'osservazione di un deposito caotico nei centimetri immediatamente superiori, delimita una netta differenza nelle condizioni di sedimentazione del fondale. È possibile ipotizzare una correlazione tra tale superficie e l'inizio di uno degli eventi verificatisi nell'intervallo di tempo compreso tra il 1958 e il 1976. La differenza tra i sedimenti nella parte inferiore e superiore è visibile non solo attraverso le caratteristiche litologiche e granulometriche, ma anche dai parametri geochimici considerati, che subiscono una variazione netta in corrispondenza di tale profondità, visibile in particolare nella curva del Ca (Fig. 3). Nella parte inferiore ai 25 cm la curva del Ca assume valori in media superiori; successivamente, è aumentata la componente silicoclastica del sedimento e, come evidenziato dalla curva del rapporto Zr/Fe, nella porzione superiore, la componente fine risulta essere maggiore (il rapporto Zr/Fe assume valori inferiori).

5. Conclusioni e sviluppi futuri

L'analisi stratigrafica presentata in questo lavoro costituisce uno studio preliminare sui cambiamenti della sedimentazione nel Lago di Cavazzo in epoca recente, e ha lo scopo di offrire, tramite l'osservazione di caratteri

sedimentologici, elementi accessori e parametri geochimici, un primo tentativo di correlazione tra i depositi osservabili in carota e alcuni dei maggiori eventi ambientali che hanno caratterizzato gli ultimi decenni della storia del lago e del territorio circostante. Alcuni di questi, come l'inizio dell'attività della centrale di Somplago e l'alluvione del 1966, sembra abbiano lasciato una traccia importante nella successione sedimentaria del bacino, che può essere utilizzata come chiave per lo studio ambientale della regione. Per avere un controllo cronostatigrafico più preciso e stabilire ulteriori parametri di correlazione tra le carote, sarà necessario effettuare datazioni radiometriche su campioni opportunamente scelti. Questo permetterà di distinguere senza ambiguità gli effetti sedimentari di eventi che hanno interessato la seconda metà del 1900 (la costruzione del viadotto, l'alluvione del 1966 e le scosse di terremoto del 1976). Inoltre, uno studio quantitativo della *thanatocenosi* a ostracodi ha il potenziale di definire parametri ecologici che caratterizzavano il bacino prima dei significativi recenti impatti. Dobbiamo infine sottolineare come le ipotesi di correlazioni cronostatigrafiche siano basate attualmente solo sul conteggio delle varve stagionali che, in un ambiente fortemente antropizzato, presenta ampi margini di errore. Per questo, concludiamo definendo questo studio "preliminare", in attesa di un inquadramento cronologico più affidabile che potrà venire solo da datazioni assolute dei campioni.

Manoscritto pervenuto il 19.III.2020, accettato il 23.IX.2020.

Ringraziamenti

Si ringraziano la dott.ssa Alessandra Asioli e la dott.ssa Lucilla Capotondi, responsabili dei laboratori Rocce e Microscopia Ottica di CNR-ISMAR (sede di Bologna), presso i quali sono state svolte gran parte delle analisi presentate in questo studio. Si ringraziano le molte persone che hanno contribuito alla campagna di acquisizione dati e in particolare, Angelo Colussi, Giovanni di Gregorio e Alessandro Ricchi. Il Comune di Trasaghis e i comitati per la tutela delle acque del bacino montano del Tagliamento e per la difesa e valorizzazione del lago, hanno supportato in modo decisivo il lavoro sul campo.

Ringraziamo in particolare, in rappresentanza delle molte persone, Franceschino Barazzutti, ispiratore e coordinatore del lavoro, Augusto Picco, già sindaco di Trasaghis, che ha promosso l'iniziativa in molti modi. Augusto ci ha lasciati prematuramente durante le ultime fasi del lavoro, che dedichiamo quindi alla sua memoria di sindaco illuminato e uomo innamorato del suo territorio. Mandi Augusto!

Bibliografia

- AA. VV. 1990. *Il lago di Cavazzo e la sua valle*. Udine: Comune di Bordano, Arti Grafiche Friulane.
APOLINARSKA, K., M. PELECHATY & A. PUKACZ. 2011. CaCO₃ sedimentation by modern charophytes (Characeae): can

- calcified remains and carbonate $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ record the ecological state of lakes? - a review. *Studia Limnologica et Telmatologica* 5 (2): 55-66.
- BEILBY, M.J., & M.T. CASANOVA. 2014. *The Physiology of Characean Cells*. Berlino: Springer-Verlag.
- BENANTELLI, F., T. BUSATTO, C. COMOGLIO, G. LA PIANA, G. MAIO, E. MARCONATO, E. PIZZUL, S. SALVIATI, M. TOMMASSELLA & P. VEZZA. 2011. *Progetto impianto idroelettrico di Somplago (UD). Risultati indagine conoscitiva preliminare*. Politecnico di Torino, Università degli Studi di Trieste, Aquaprogram s.r.l.
- CESCHIA, G., & G. GIORGETTI. 1980. *Studio-ricerca sul Lago di Cavazzo e su alcuni corsi d'acqua del suo bacino idrografico*. Udine: Comunità Montana del Gemonese.
- COLIZZA, E., G. P. FANZUTTI, R. MELIS, S. POLANO & N. PUGLIESE. 1990. Primi risultati sui sedimenti e sulle Ostracofaune del lago di Cavazzo o dei Tre Comuni (Udine). 1990. *Atti Tavola Rotonda "Ecologia e paleontologia"*, 51-80. Monfalcone: Quaderno speciale del Museo Geologico e Paleontologico di Monfalcone.
- FRANZIL, D. 2012. *Lago, energia, ambiente. Salviamo il lago, come e perché*. <https://www.peraltrestrade.it/old/download>.
- GASPERINI, L., A. RICCHI, G. STANGHELLINI, F. DEL BIANCO, G. DI GREGORIO, A. POLONIA, U. TINIVELLA, L. BRANDELLO, M. GROSSI, F. FANZUTTI, M. GIUSTINIANI, A. PICCO, A. COLUSSI & F. BARAZZUTTI. 2015. *Rilievo Geologico/Geofisico del Lago di Cavazzo (o dei Tre Comuni), Friuli-Venezia Giulia*. Bologna: ISMAR-CNR Rapporto Tecnico 134.
- HENDERSON, P.A. 2002. *Freshwater ostracods*. Lymington and Pennington: Pisces conservation Ltd.
- MARINELLI, O. 1894. Studi sul Lago di Cavazzo. *Bollettino della Società Geografica Italiana*: 174-214.
- MATSUDA, J.T., F.A. LANSAC-TOHA, K. MARTENS, L.F. MACHADO VELHO, R.P. MORMUL & J. HIGUTI. 2015. Association of body size and behaviour of freshwater ostracods (Crustacea, Ostracoda) with aquatic macrophytes. *Aquatic Ecology* 49: 321-31.
- MAZZINI, I., E. GLIOZZI, G. ROSSETTI & V. PIERI. 2014. The *Ilyocypris* puzzle: a multidisciplinary approach to the study of phenotypic variability. *International Review of Hydrobiology* 99: 395-408.
- PIERI, V., K. MARTENS, F. STOCH & G. ROSSETTI. 2009. Distribution and ecology of non-marine ostracods (Crustacea, Ostracoda) from Friuli Venezia Giulia (NE Italy). *Journal of limnology* 68 (1): 1-15.
- PIRONIO, P. 1989. *Condizioni fisiche del Lago di Cavazzo o dei Tre Comuni*. Udine: Comune di Bordano, Arti Grafiche Friulane.
- POLONIA, A., H.C. NELSON, S. ROMANO, S.C. VAIANI, E. COLIZZA, G. GASPAROTTO, L. GASPERINI. 2016. A depositional model of seismo-turbidites in confined basins based on Ionian Sea deposits. *Marine Geology* 384: 177-98.
- RAPUC, W., P. SABATIER, F. ARNAUD, A. PLAUMBO, A.L. DEVELLE, J.L. REYSS, L. AUGUSTIN, E. RÉGNIER, A. PICCIN, E. CHAPRON, J.P. DUMOULIN & U. V. GRAFENSTEIN. 2019. Holocene-long record of flood frequency in the Southern Alps (Lake Iseo, Italy) under human and climate forcing. *Global and Planetary Change* 175: 160-72.
- SGOBINO, F. 1987. Le origini del lago e la sua attuale situazione idraulica. In *"Obiettivo lago - Il Lago di Cavazzo o dei Tre Comuni: un patrimonio da salvare e valorizzare"*. Atti del convegno tecnico-scientifico, Alesso di Trasaghis, 31-6.
- ZANFERRARI, A., D. MASETTI, G. MONEGATO & M.E. POLI. 2013. *Note illustrative del Foglio 049 Gemona del Friuli*. Roma: ISPRA-Servizio Geologico d'Italia e Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

Indirizzi degli Autori - Authors' addresses:

- Giulia GIORGETTI
 - Luca GASPERINI
 - Giuseppe STANGHELLINI
 - Franco CORTICELLI
 - Alina POLONIA
- Istituto di Scienze Marine (ISMAR) - CNR
via Gobetti 101, I-40129 BOLOGNA
e-mail: giulia.giorgetti@studio.unibo.it