

Datazione radiometrica (^{210}Pb e ^{137}Cs) di carote di sedimento del Lago di Tovel

Peter G. APPLEBY* & Gayane T. PILIPOSIAN

Department of Mathematical Sciences, University of Liverpool, PO Box 147, Liverpool L69 3BX, UK

*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: appleby@liverpool.ac.uk

RIASSUNTO - *Datazione radiometrica (^{210}Pb e ^{137}Cs) di carote di sedimento del Lago di Tovel* - Nell'ambito del progetto SALTO/BEST, avente come obiettivo principale la comprensione delle cause della scomparsa del fenomeno dell'arrossamento estivo del Lago di Tovel, sono state prelevate sei carote di sedimento in punti diversi del lago e sono state datate con ^{210}Pb e ^{137}Cs . Cinque carote avevano un buon record di questi radionuclidi da *fallout* ed è stato possibile ricostruire cronologie del sedimento recente. L'assenza di tali radionuclidi nella sesta carota è stata attribuita alla perdita di sedimento recente causata da una frana subacquea localizzata. Evidenze di tali eventi sono testimoniate da alcuni episodi maggiori di sedimentazione rapida registrati in una carota prelevata in prossimità della precedente, la quale, tuttavia, ha conservato il proprio record di radionuclidi da *fallout*. A parte queste situazioni, il tasso di sedimentazione nel lago sembra essere stato relativamente uniforme per la maggior parte del ventesimo secolo, nonostante ci siano indicazioni di un aumento sistematico negli ultimi decenni. Dai risultati ottenuti, la profondità nelle carote di sedimento alla quale è registrata la scomparsa del fenomeno dell'arrossamento estivo varia da 1,6 cm, in una carota prelevata sulla soglia che separa i due bacini del lago, a 5,2 cm, in una delle carote provenienti dalla Baia Rossa.

SUMMARY - *Radiometric dating of sediment records in Lake Tovel* - Sediment cores from six different locations in Lake Tovel, collected as part of the BEST/SALTO project investigating the recent disappearance of the characteristic red summer blooms in the lake, were dated radiometrically by ^{210}Pb and ^{137}Cs . Five of the cores had good records of these fallout radionuclides from which it was possible to construct reliable chronologies of the recent sediments. The absence of such records in the sixth core was attributed to a loss of recent sediments by a local slump event. Evidence of such events was recorded by a number of major episodes of rapid sedimentation in a nearby core that had nonetheless retained its fallout record. Excluding these events, sedimentation rates in the lake appear to have been relatively uniform throughout much of the 20th century, though there are indications of a systematic increase in recent decades. From the results obtained, the depths of the points in the sediment record at which the red summer blooms essentially disappeared were shown to vary from 1.6 cm in a core from the sill between two basins of the lake to 5.2 cm in one of the Red Bay cores.

Parole chiave: record nel sedimento, laghi di montagna, datazione al ^{210}Pb , radionuclidi artificiali, Lago di Tovel (Italia)
Key words: sediment records, mountain lakes, ^{210}Pb dating, artificial radionuclides, Lake Tovel (Italy)

1. INTRODUZIONE

Uno degli obiettivi principali del progetto SALTO/BEST (Borghi *et al.* 2006) era determinare la causa della recente scomparsa dell'arrossamento estivo delle acque del Lago di Tovel (Trentino). Tale colorazione era dovuta alla fioritura del dinoflagellato *Glenodinium sanguineum* March.; le prime testimonianze del fenomeno che ha reso famoso il lago risalgono alla seconda metà del diciannovesimo secolo (Freshfield 1875). Dal 1964, però, sono stati osservati solo arrossamenti occasionali e brevi. Nel corso del progetto sono state usate tecniche paleolimnologiche per ricostruire la storia dei maggiori cambiamenti nel

lago a partire dai records conservati nelle carote di sedimento raccolte in differenti aree del bacino lacustre. Al fine di perseguire questo obiettivo era essenziale determinare una cronologia affidabile dei sedimenti relativa almeno al secolo scorso.

Il principale metodo utilizzato per la datazione delle carote è stato il ^{210}Pb integrato dalle date di alcuni livelli stratigrafici riconosciuti sulla base dei profili dei radionuclidi artificiali ^{137}Cs e ^{241}Am .

Successivamente alla diffusione delle metodiche introdotte da Goldberg (1963) e Krishnaswami *et al.* (1971), il ^{210}Pb è divenuto uno degli strumenti abituali per la datazione dei sedimenti lacustri relativi almeno agli ultimi 100-150 anni. Il metodo è molto attendi-

bile in ambienti in cui il tasso di sedimentazione è rimasto relativamente uniforme durante questo periodo. In tali siti le concentrazioni della componente non supportata (derivante dall'atmosfera) dell'attività del ^{210}Pb totale diminuisce esponenzialmente con la profondità, con una velocità che è inversamente proporzionale al tasso di sedimentazione. Comunque, nei siti influenzati da cambiamenti ambientali naturali o antropogenici, il tasso di sedimentazione può essere variato in anni recenti, causando significative deviazioni da una semplice relazione esponenziale della concentrazione di ^{210}Pb non supportato lungo il profilo di profondità.

Sono stati sviluppati differenti modelli per quantificare tali deviazioni (Appleby & Oldfield 1978; Robbins 1978) e l'accuratezza della datazione al ^{210}Pb in una particolare applicazione dipenderà dalla validità del modello usato. A questo scopo generalmente si utilizzano records indipendenti di radionuclidi artificiali quali ^{137}Cs (Pennington *et al.* 1973) e ^{241}Am (Appleby *et al.* 1991), derivanti da ricadute atmosferiche (*fall-out*) e generati dai test condotti con armi nucleari o dall'incidente del reattore di Chernobyl del 1986. Un numero di tecniche per valutare la datazione al ^{210}Pb e calcolare una cronologia più accurata sono presenti in letteratura (per es. Appleby & Oldfield 1983; Oldfield & Appleby 1984; Appleby 2001). Uno degli aspetti chiave della metodologia per la datazione del ^{210}Pb è la valutazione dei processi dominanti attraverso i quali le ricadute atmosferiche hanno raggiunto il sito di carotaggio. Un potenziale problema nella datazione dei laghi alpini è il possibile impatto dell'effetto stagionale sull'uniformità del tasso di deposizione. Durante l'inverno il bacino idrografico e la colonna d'acqua del lago sono isolati dal flusso naturale atmosferico di ^{210}Pb che rimane intrappolato nella neve e nel ghiaccio e che viene rilasciato solo al momento del disgelo primaverile. Problemi possono derivare anche dalla ridistribuzione post-deposizionale del ^{210}Pb sul fondo del lago attraverso la concentrazione dei sedimenti nelle parti più profonde (*focussing*) o da eventi di frana. L'obiettivo principale di questo articolo è presentare una cronologia del sedimento per ognuna delle carote di Tovel che tenga conto di tali processi.

2. AMBIENTE DI STUDIO

Il Lago di Tovel (46°16'N, 10°55'E) è situato a un'altitudine di 1178 m s.l.m. nel cuore del Parco Naturale Adamello-Brenta, Italia. Ha una superficie di 0,38 km² e una profondità media di 19,3 m. Il suo bacino idrografico ha un'area di 39,11 km² e è costituito per la maggior parte da dolomie e calcari. La batimetria (Fig. 1) mostra che il lago ha due bacini. Il bacino principale occupa circa l'80% dell'area del lago e ha una profondità massima di 39 m, mentre il bacino



Fig. 1 - Lago di Tovel e localizzazione dei siti di prelievo delle carote datate tramite radionuclidi a vita breve, ^{210}Pb e ^{137}Cs .

Fig. 1 - Lake Tovel showing the locations of the cores dated radiometrically by ^{210}Pb and ^{137}Cs .

più piccolo, chiamato Baia Rossa, è localizzato nella parte sud-ovest del lago e ha una profondità massima di appena 5 m. Le precipitazioni medie annue a Tovel durante gli ultimi 25 anni sono state stimate in 1090 mm anno⁻¹.

3. METODI

Durante il corso del progetto, carote di sedimento sono state prelevate in numerosi punti nel lago (Kulbe *et al.* 2006). Sei carote estratte nei punti mostrati in figura 1 (ed elencati in Tab. 1) sono state selezionate per la datazione radiometrica. Le carote sono state sezionate a intervalli di 0,5 o di 1 cm e subcampioni di sedimento secco sono stati inviati al Liverpool Environmental Radioactivity Research Centre (ERL) dell'Università di Liverpool, dove sono stati analizzati per ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs e ^{241}Am attraverso rivelatori gamma coassiali tipo "well" al germanio intrinseco serie Ortec HPGe GWL (Appleby *et al.* 1986). Il ^{210}Pb è stato determinato attraverso l'emissione gamma a 46,5 keV e il ^{226}Ra attraverso i raggi gamma a 295 keV e 352 keV emessi dall'isotopo figlio ^{214}Pb dopo un periodo di tre settimane in contenitori sigillati per permettere il raggiungimento dell'equilibrio radioattivo. Il ^{137}Cs e il ^{241}Am sono stati misurati attraverso la loro emissione a 662 keV e 59,5 keV rispettivamente. Le efficienze assolute dei rivelatori sono state determinate utilizzando sorgenti di calibrazione e campioni di sedimento con attività nota. La correzione di questa efficienza è stata fatta per ridurre errori dovuti all'effetto dell'auto-assorbimento alle basse energie dei raggi gamma all'interno del campione e alle diverse altezze dei campioni (Appleby *et al.* 1992, 2004). Le

Tab. 1 - Carote di sedimento del Lago di Tovel analizzate per ^{210}Pb e ^{137}Cs presso l' ERL.
 Tab. 1 - Lake Tovel sediment cores analysed for ^{210}Pb and ^{137}Cs at the ERL.

ID Carota	Data	Località	Profondità
TOV01-1/V	2001	Vicino a promontorio Centro Visitatori PNAB	8 m
TOV01-5/V	2001	Bacino Principale (NE)	40 m
TOV01-7A/I	2001	Bacino Principale (NE)	40 m
TOV03-19	2003	Vicino a promontorio Centro Visitatori PNAB	16,6 m
TOV04-RB3	2004	Baia Rossa (SO)	4 m
TOV04-RB5	2004	Baia Rossa (SO)	4,5 m

età radiometriche furono calcolate dai records di ^{210}Pb e ^{137}Cs , utilizzando le procedure descritte in Appleby (2001).

4. RISULTATI

La tabella 2 riassume alcuni parametri radiometrici determinati per ogni carota di sedimento di Tovel. Il ^{210}Pb supportato in ogni campione è stato assunto in equilibrio con il ^{226}Ra *in situ* e il ^{210}Pb non supportato calcolato attraverso la sottrazione dell'attività del ^{226}Ra dal ^{210}Pb totale. Sono stati calcolati gli inventari radiometrici, integrando numericamente l'attività sui profili di profondità rispetto al peso secco cumulativo. Il flusso di ^{210}Pb è il tasso di apporto medio necessario per sostenere l'inventario misurato del ^{210}Pb non supportato.

4.1. Attività del ^{210}Pb supportato

Nella maggior parte delle carote di sedimento i valori di attività supportata del ^{210}Pb (o del ^{226}Ra) erano relativamente uniformi con la profondità. I valori medi nelle due carote della Baia Rossa erano significati-

vamente più elevati che nelle carote provenienti dal Bacino Principale o dalla zona di sella tra i due bacini, suggerendo che i sedimenti di questa parte del lago avevano una diversa composizione mineralogica.

4.2. Attività del ^{210}Pb non supportato

I profili di attività del ^{210}Pb non supportato di tutte le carote tranne la TOV01-7A/I sono riportati nella figura 2. Nella TOV01-7A/I l'attività non supportata del ^{210}Pb era sotto il limite di detenzione in tutta la carota di sedimento, ad eccezione del livello più superficiale, e la concentrazione massima (nello strato superficiale) era un ordine di grandezza più bassa che nelle altre carote (Tab. 2). La profondità dell'orizzonte datato con il ^{210}Pb (corrispondente a un'età di circa 120 anni) era a circa 5-8 cm, tranne che nella TOV01-5/V, dove esso corrispondeva a una profondità di circa 13 cm. In tutte le carote, tranne che nella TOV01-1/V (che non si è potuta analizzare in dettaglio a causa della brevità del record e dello spessore di 1 cm dell'intervallo sezionato), il profilo del ^{210}Pb deviava significativamente da una relazione esponenziale semplice. TOV01-5/V aveva un certo numero di tratti non monotonici che suggerivano episodi ricorrenti di sedimentazione accelerata. I pro-

Tab. 2 - Parametri dei radionuclidi per le carote di sedimento del Lago di Tovel. *= escluso TOV01-7A/I.

Tab. 2 - Radionuclide parameters for Lake Tovel sediment cores. *= except TOV01-7A/I.

Carota*	^{210}Pb non supportato			^{137}Cs		^{226}Ra			
	Attività massima Bq kg ⁻¹	±	Inventario Bq m ⁻²	±	Flusso Bq m ⁻² y ⁻¹	±	Inventario Bq m ⁻²	±	Attività media Bq kg ⁻¹
TOV01-1V2	301	47	1880	184	59	5	7259	317	48
TOV01-5V	202	9	1061	49	33	2	2101	46	41
TOV01-7A/I	36	7	96	22	3	1	325	12	46
TOV03-19	468	19	2297	85	72	3	5644	138	58
TOV04-RB3	287	20	1780	60	55	2	3546	76	81
TOV04-RB5	282	16	1170	57	37	2	1941	55	82
Media*	308		1640		51		4100		59

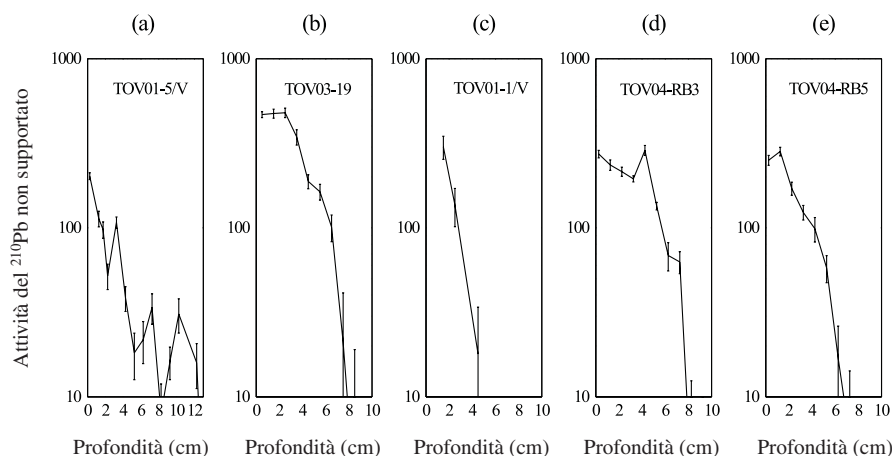


Fig. 2 - Records di ^{210}Pb di fallout nelle carote del Lago di Tovel. I diagrammi mostrano concentrazioni di ^{210}Pb non supportato in relazione alle profondità delle sezioni di sedimento.

Fig. 2 - Fallout ^{210}Pb records in Lake Tovel sediment cores showing unsupported ^{210}Pb concentrations versus depth.

fili delle altre carote erano generalmente più regolari, sebbene avessero un ridotto gradiente nelle sezioni più superficiali che potrebbe indicare un aumento del tasso di sedimentazione negli ultimi decenni.

4.3. Attività del ^{137}Cs

La figura 3 illustra la variazione dell'attività del ^{137}Cs lungo la profondità in ogni carota (tranne che nella TOV01-7A/I, la quale aveva uno scarso record di fallout). Tutte le carote, tranne la TOV01-1/V avevano distinti picchi sotto la superficie, quasi certamente dovuti al record di fallout dell'incidente di Chernobyl del 1986, testimoniati dalle alte concentrazioni e da un alto rapporto tra gli inventari di ^{137}Cs e ^{210}Pb . La mancanza di un tale picco in TOV01-1/V è proba-

bilmente dovuta alla bassa risoluzione risultante dagli intervalli di sezionamento della carota troppo grossolani in relazione al basso tasso di accumulo del sedimento. Il picco di ^{137}Cs appare alla profondità 1,5-2 cm, tranne che nella TOV04-RB3 dove esso appare nella sezione 4-4,5 cm. Non c'è invece un chiaro segnale del fallout del 1963 relativo agli esperimenti atomici in atmosfera, presumibilmente a causa nella migrazione verso il basso del ^{137}Cs di Chernobyl. La concentrazione di ^{241}Am era sotto il limite di rilevanza.

4.4. Cronologia dei sedimenti

In quattro delle cinque carote datate (TOV01-5/V, TOV01-1/V, TOV03-19 e TOV04-RB5) la datazione al

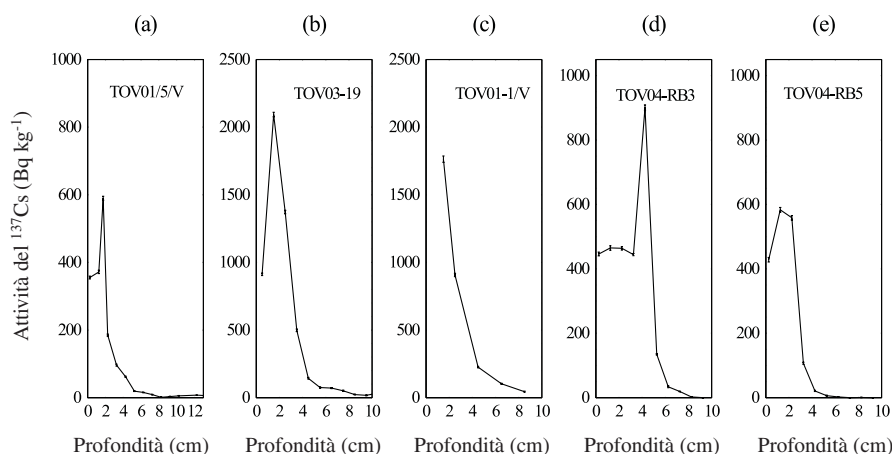


Fig. 3 - Records di ^{137}Cs di fallout nelle carote del Lago di Tovel. I diagrammi mostrano concentrazioni di ^{137}Cs in relazione alle profondità delle sezioni di sedimento.

Fig. 3 - Fallout ^{137}Cs records in Lake Tovel sediment cores showing ^{137}Cs concentrations versus depth.

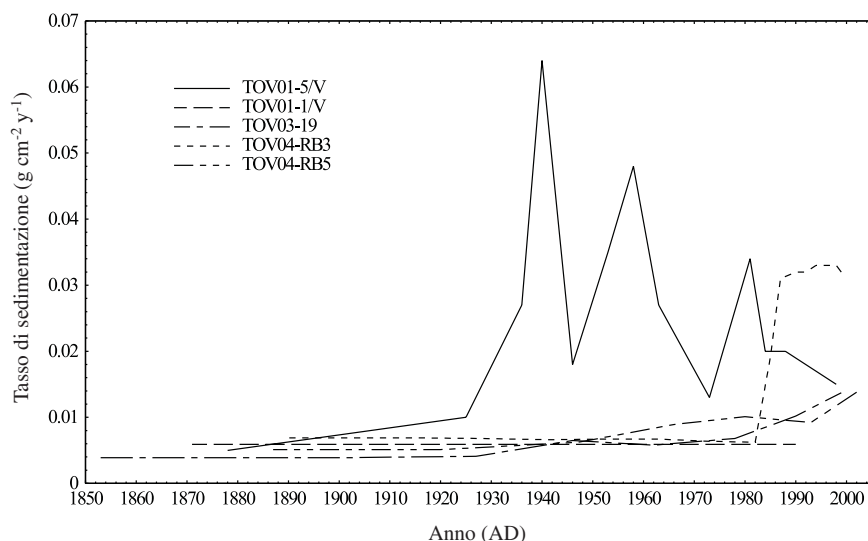


Fig. 4 - Tassi di sedimentazione per le carote di sedimento del Lago di Tovel.

Fig. 4 - Sedimentation rates versus time in Lake Tovel sediment cores.

^{210}Pb è risultata relativamente sicura. Nei siti in cui era presente un buon record di ^{137}Cs (TOV01-5/V, TOV03-19, TOV04-RB5), il modello di datazione CRS del ^{210}Pb era in buon accordo con le datazioni derivanti dal ^{137}Cs . Nella TOV01-1/V, dove non è stato possibile identificare il picco del ^{137}Cs del 1986, il tasso di sedimentazione sembrava essere relativamente uniforme e non c'era una differenza significativa tra la cronologia al ^{210}Pb basata sul modello CRS e CIC. Nel quinto sito (TOV04-RB3) c'era una significativa discrepanza tra la datazione al ^{210}Pb e al ^{137}Cs . In questo caso è stato comunque possibile calcolare una datazione al ^{210}Pb corretta utilizzando come riferimento la datazione al ^{137}Cs . Non è stato possibile datare il sesto sito (TOV01-7A/I) a causa del bassissimo contenuto di radionuclidi da *fallout*. La figura 4 illustra i tassi di accumulo del sedimento (in $\text{g cm}^{-2} \text{anno}^{-1}$) rispetto al tempo per ognuna delle carote datate. Nella maggior parte dei siti, i tassi di sedimentazione erano bassi e relativamente uniformi dalla metà del diciannovesimo secolo fino al 1980 circa. Dal 1980 c'è stato un significativo aumento del tasso di accumulo in tutti i siti (con la possibile eccezione di TOV01-1/V); probabilmente, nella TOV04-RB5 questa variazione si verifica prima, all'incirca nel 1950. Dopo il 1980 gli aumenti sono stati più repentini nella TOV04-RB3, probabilmente a causa di un evento di frana o di un cambiamento nelle caratteristiche di sedimentazione.

L'eccezione più evidente a questo *pattern* è rappresentata dalla TOV01-5/V, dove sembra esserci stato un numero maggiore di episodi di sedimentazione rapida durante la maggior parte del ventesimo secolo. Poiché questa carota è stata prelevata in un luogo vicino al margine SE della parte centrale pianeggiante del Bacino Principale, questi episodi possono essere associati a eventi di frana avvenuti nell'adiacente ri-

pida scarpata. A causa della presenza di uno di questi eventi vicino alla base del record di ^{210}Pb , è difficile determinare con certezza le età dei sedimenti più profondi o estrapolare la datazione al ^{210}Pb sotto l'orizzonte datato. Eventi simili possono spiegare i risultati anomali derivanti dalla carota TOV01-7A/I. Questa carota è stata prelevata nella stessa zona del lago ed eventi di frana possono aver rimosso una buona parte del record nei sedimenti recenti determinando l'assenza virtuale del ^{210}Pb e del ^{137}Cs da *fallout* in tutta la carota tranne che nella sua sezione più superficiale.

La tabella 3 riassume i tassi di sedimentazione medi in ogni carota. Il più basso valore appartiene ai due siti che si trovano nella zona di transizione fra i bacini adiacenti. Il tasso medio di sedimentazione nella Baia Rossa è del 50% più alto che nella zona di transizione. Nonostante il più alto valore si trovi nella TOV01-5V nel Bacino Principale, poiché questo

Tab. 3 - Tassi medi di sedimentazione medi e profondità corrispondente al 1964 nelle carote di sedimento del Lago di Tovel.

Tab. 3 - Mean sedimentation rates and 1964 depths in the Lake Tovel sediment cores.

Carote	Tasso medio di sedimentazione		Profondità 1964 cm
	$\text{g cm}^{-2} \text{anno}^{-1}$	cm anno^{-1}	
TOV01-5/V	0,018	0,10	4,0
TOV01-1/V	0,0059	0,035	1,6
TOV03-19	0,0047	0,045	3,2
TOV04-RB3	0,0075	0,058	5,2
TOV04-RB5	0,0077	0,057	3,1

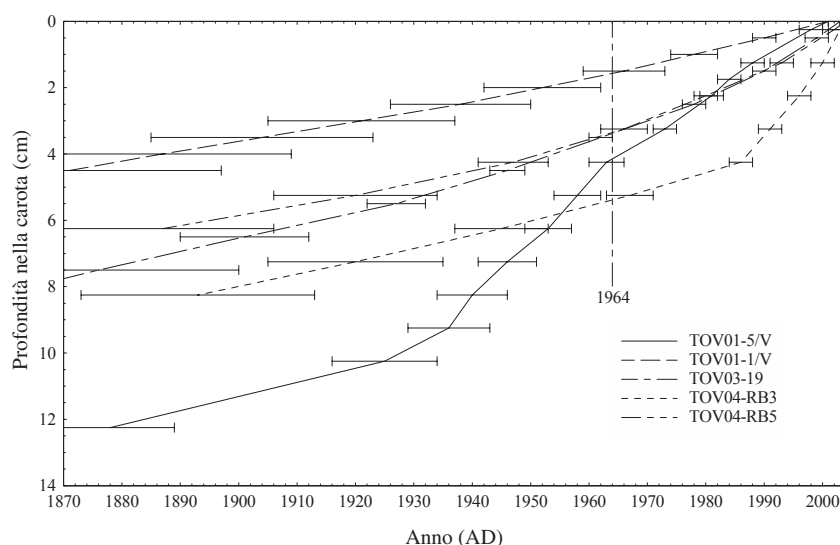


Fig. 5 - Profondità ed età delle carote di sedimento del Lago di Tovel. La linea verticale con la scritta "1964" identifica i punti del record sedimentario nei quali si è verificata la scomparsa delle fioriture estive rosse.

Fig. 5 - Sediment depths versus time in the Lake Tovel sediment cores. The vertical line marked "1964" identifies the points in the sediment record at which the red summer blooms essentially disappeared.

è principalmente dovuto agli eventi di frana, esso non può essere rappresentativo dell'interno bacino.

La figura 5 presenta le profondità dei sedimenti in ogni carota in funzione del tempo. Questo diagramma indica anche il punto nei record di sedimento corrispondente al 1964, anno nel quale scomparve il fenomeno dell'arrossamento estivo. Queste profondità, illustrate in tabella 3, variano da 1,6 cm nella TOV01-1/V a 5,2 cm nella TOV04-RB3.

5. CONCLUSIONI

I risultati presentati in questo lavoro suggeriscono che i sedimenti del Lago di Tovel trattengono generalmente un record relativamente buono della storia del lago, tranne le carote provenienti dal settore sudorientale del Bacino Principale adiacente al ripido pendio del fondo del lago. Escludendo questi eventi, i tassi di sedimentazione nel lago sembrano essere relativamente uniformi per la maggior parte del ventesimo secolo, nonostante ci siano indicazioni di un aumento sistematico degli stessi negli ultimi decenni. La maggiore fonte di dubbi per questi risultati è il flusso relativamente basso di ^{210}Pb nel record di sedimento. Il valore medio di $51 \text{ Bq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ (Tab. 2) è meno della metà del flusso atmosferico stimato per questa regione. I motivi di questa discrepanza potrebbero essere la perdita di una frazione significativa del *fallout* invernale durante il disgelo primaverile o una compattazione durante l'estrazione delle carote. In quest'ultimo caso, tuttavia, la cronologia delle carote sarebbe rimasta

sostanzialmente inalterata, nonostante i potenziali effetti della compattazione sul calcolo dei tassi medi di sedimentazione.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato condotto nell'ambito del Progetto BEST/SALTO (*Blooms & Environment: Science for Tovel* / Studio sul mancato arrossamento del Lago di Tovel) finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento (Servizio Università e Ricerca Scientifica). Desideriamo ringraziare i molti colleghi che hanno reso possibile il presente contributo, in particolare la dott.ssa Morena Lazzara (Sezione di Limnologia e Algologia del Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento) che si è fatta carico della traduzione in italiano del testo e il dott. Leonardo Langone (Istituto di Scienze Marine del C.N.R., Bologna) per una revisione critica della traduzione.

BIBLIOGRAFIA

- Appleby P.G., 2001 - Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last W.M. & Smol J.P. (eds), *Developments in Paleoenvironmental Research. Vol. 1, Tracking Environmental Change using Lake Sediments: Physical and Chemical Techniques*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands: 171-203.
- Appleby P.G. & Oldfield F., 1978 - The calculation of ^{210}Pb dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *Catena*, 5: 1-8.

- Appleby P.G. & Oldfield F., 1983 - The assessment of ^{210}Pb data from sites with varying sediment accumulation rates. *Hydrobiol.*, 103: 29-35.
- Appleby P.G. & Piliposian G.T., 2004 - Efficiency Corrections for Variable Sample Height in Well-Type Germanium Gamma Detectors. *Nucl. Inst. & Methods B*, 225: 423-433.
- Appleby P.G., Nolan P.J., Gifford D.W., Godfrey M.J., Oldfield F., Anderson N.J. & Battarbee R.W., 1986 - ^{210}Pb dating by low background gamma counting. *Hydrobiologia*, 141: 21-27.
- Appleby P.G., Richardson N. & Nolan P.J., 1991 - ^{241}Am dating of lake sediments. *Hydrobiologia*, 214: 35-42.
- Appleby P.G., Richardson N. & Nolan P.J., 1992 - Self-absorption corrections for well-type germanium detectors. *Nucl. Inst. & Methods B*, 71: 228-233.
- Borghi B., Borsato A., Cantonati M., Corradini F. & Flaim G., 2006 - Studio sul mancato arrossamento del Lago di Tovel. Il Progetto SALTO (2001-2004). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 1-4.
- Freshfield D.W., 1875 - *Italian Alps. Sketches in the mountains of Ticino, Lombardy, the Trentino and Venetia*. London, Longmans: 385 pp.
- Goldberg E.D., 1963 - Geochronology with ^{210}Pb . In: IAEA (ed.), *Symposium on Radioactive Dating*. International Association of Hydrological Sciences Publication, Vienna, Austria: 122-130.
- Krishnaswami S., Lal D., Martin J.M. & Meybeck M., 1971 - Geochronology of lake sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 11: 407-414.
- Kulbe T., Anselmetti F., Cantonati M. & Sturm M., 2006 - Drastiche variazioni di livello ed evoluzione sedimentaria nel Lago di Tovel (Trentino, Parco Naturale Adamello-Brenta) *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 75-87.
- Oldfield F. & Appleby P.G., 1984 - Empirical testing of ^{210}Pb dating models. In: Haworth E.Y. & Lund J.G. (eds), *Lake Sediments and Environmental History*. Leicester Univ. Press: 93-124.
- Pennington W., Cambray R.S. & Fisher E. M., 1973 - Observations on lake sediments using fallout ^{137}Cs as a tracer. *Nature*, 242: 324-326.
- Robbins J.A., 1978 - Geochemical and geophysical applications of radioactive lead. In: Nriagu J.O. (ed.), *Biogeochemistry of Lead in the Environment*. Elsevier Scientific, Amsterdam: 285-393.

