

**VARIAZIONI CLIMATICHE POST-GLACIALI
NEI SEDIMENTI LACUSTRI DEL LAGO DI LOCLAT (NEUCHÂTEL, SVIZZERA):
EVIDENZE SEDIMENTOLOGICHE, PALINOLOGICHE, MINERALOGICHE,
GEOCHIMICHE ED ISOTOPICHE - DATI PRELIMINARI**

M. Rolli⁽¹⁾ - M.L. Filippi⁽²⁾ - P. Hadorn⁽³⁾ - A. Moscariello⁽⁴⁾

⁽¹⁾Institut de Géologie, Université de Neuchâtel, Suisse

⁽²⁾Institut de Pétrographie e Minéralogie, Université de Lausanne, Suisse

⁽³⁾Service Archéologique Neuchâtelois, Neuchâtel, Suisse.

⁽⁴⁾Section de Sciences de la Terre, Université de Genève, Suisse

RIASSUNTO - *Variazioni climatiche post-glaciali nei sedimenti lacustri del lago di Loclat (Neuchâtel, Svizzera): evidenze sedimentologiche, palinologiche, mineralogiche, geochimiche ed isotopiche - Dati preliminari* - Il Quaternario 7(1), 1994, 335-342 - I sedimenti lacustri del lago di Loclat (Neuchâtel, Svizzera), riferibili all'intervallo di tempo compreso tra il post-glaciale e l'attuale, sono stati analizzati dal punto di vista sedimentologico, mineralogico, geochimico e isotopico. Tali analisi hanno messo in evidenza l'esistenza di due fasi distinte della vita del lago: la prima caratterizzata in modo decisivo da apporti detritici; la seconda (a partire da circa 13.000 anni B.P.) dall'instaurarsi della sedimentazione carbonatica biogenica autoctona. L'analisi pollinica ha permesso di individuare una successione graduale nella riforestazione del paesaggio. Dall'ambiente aperto post-glaciale del Dryas antico inferiore si passa alle diverse configurazioni floristiche che, a partire dall'età del Bronzo finale ad oggi, sono legate alla presenza antropica. Le analisi dei rapporti degli isotopi stabili eseguiti sui sedimenti carbonatici autigeni mostrano variazioni verticali del tutto confrontabili con altri casi noti, mettendo in evidenza come le anomalie negative siano riferibili a recrudescenze climatiche che bene si accordano con i dati palinologici.

ABSTRACT - *Post-glacial climatic variations in the lacustrine sediments of Lake Loclat (Neuchâtel, Switzerland): sedimentological, mineralogical, geochemical and isotopic evidence. - Preliminary data* - Il Quaternario 7(1), 1994, 335-342 - Sedimentological, mineralogical, geochemical and isotopic analyses have been carried out on late-glacial to present-day lacustrine sediments of Lake Loclat (Neuchâtel, Switzerland). Two phases of lake history have been identified: the first one is dominated by detrital inputs; the second (beginning around 13,000 yr BP) is characterised by autochthonous biogenic carbonate deposition. Pollen analyses reveal a gradual succession in landscape reforestation, with sparse vegetation from the Oldest Dryas to various flora associations in post-glacial times. At the end of Bronze Age, anthropogenic indicator species appear. Stable isotope variations on authigenic carbonate sediments are similar to the trend reported from other late-glacial profiles of central Europe. Negative shifts in $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ isotopic values are interpreted as a return to colder climates, and are consistent with palynological data.

Parole chiave: Depositi lacustri, pollini, isotopi stabili, Svizzera

Key words: Lacustrine deposits, pollen, stable isotopes, Switzerland

1. INTRODUZIONE

Lo studio dei sedimenti lacustri del lago di Loclat rappresenta un ulteriore contributo alla conoscenza delle variazioni geologiche e climatiche del passato dalla fine dell'ultima glaciazione ad oggi. Queste hanno indotto delle modificazioni percettibili nei sedimenti che si traducono, in funzione delle condizioni locali, in variazioni sedimentologiche, fluttuazioni mineralogiche e geochimiche, variazioni del contenuto pollinico e dei rapporti isotopici ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$) dei carbonati autigeni.

Nella presente nota sono riportati i dati preliminari di questo studio.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

Il lago di Loclat (St. Blaise) è un piccolo bacino situato a NE del lago di Neuchâtel, del quale costituiva probabilmente un'antica prolungamento (Baer, 1962).

Esso ha una superficie di circa 0,5 km², è contornato da rive ripide e presenta un fondo decisamente piatto. Il livello del lago è posto a q. 431,5 s.l.m. ed raggiunge una profondità massima di 9,6 m (Schweizer & Aragno, 1975) (Fig. 1).

Dal punto di vista geologico il bacino investigato è posto in una depressione alluvionale delimitata a NE dall'anticlinale di Châtoillon costituita da calcari e marne del Cretaceo (Valanghiano, Hauteriviano e Urgoniano; Bourquin *et al.*, 1968) e a SW dai depositi glaciali di fondo (würmiani) poggianti sulle marne arenacee oligoceniche della Molassa d'acqua dolce inferiore (Bourquin *et al.*, 1968).

3. DEPOSITI ESAMINATI

I depositi lacustri studiati sono stati prelevati tramite carotiere Streif-Livington, in occasione di una campagna di sondaggi organizzata dal Servizio Archeologico di Neuchâtel.

La carota Loclat (L-P1A), prelevata ad una profondità d'acqua di 9,20 m, si è rivelata la più significativa dal punto di vista sedi-

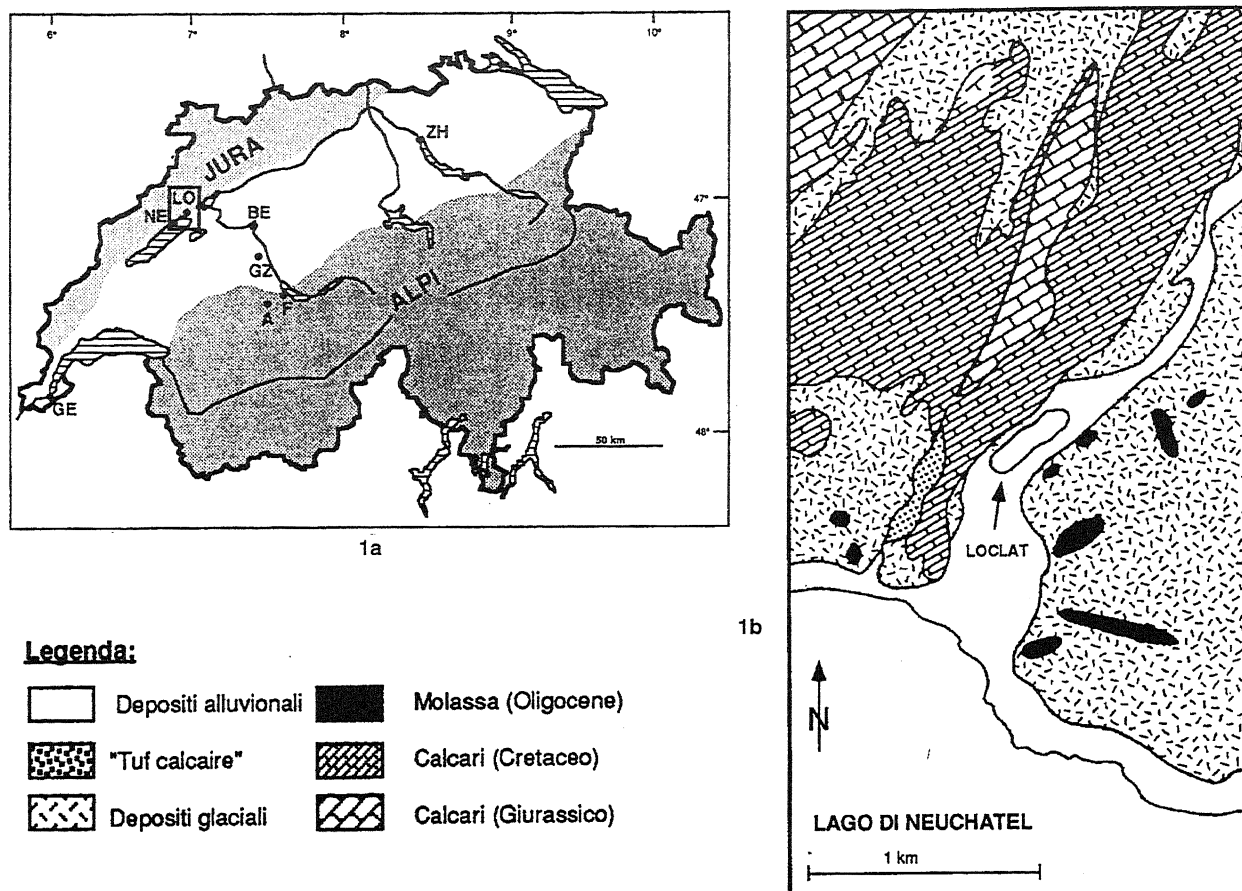


Fig. 1 - Inquadramento geografico (1a) con indicazione dei principali laghi e della zona studiata (nel riquadro); e carta geologica semplificata dell'area del lago di Loclat (1b). Laghi: A = Aegelsee; F = Faulenseemoos; GZ = Gerzensee; LO = Loclat. Località: BE = Berna; GE = Ginevra; NE = Neuchâtel; ZH = Zurigo. Unità geografiche: Jura; Plateau svizzero; Alpi.

Geographic map of Switzerland (1a) showing the most important lakes and the investigated area (inset) and simplified geological map (1b) of the area near lake Loclat. Lakes: A = Aegelsee; F = Faulenseemoos; GZ = Gerzensee; LO = Loclat. Sites: BE = Berna; GE = Ginevra; NE = Neuchâtel; ZH = Zurigo. Geographic Units: Jura; Swiss Plateau; Alps.

mentologico ed è quindi stata scelta per eseguirvi le successive analisi di laboratorio.

Su 12,5 m di lunghezza totale è stato effettuato il prelevamento di 90 campioni spazati di circa 10 cm e sottoposti nell'ordine ad analisi mineralogica, geochimica, pollinica ed isotopica.

La sequenza sedimentaria incontrata è costituita da (Fig. 2):

0,00 - 6,64 m: carbonati lacustri costituiti da cristalli di calcite autigena e subordinatamente da frammenti di gusci animali e vegetali (*craie* o *chalk*, contenuto in $\text{CaCO}_3 > 80\%$) alternati a livelli torbosi nerastri ricchi in sostanza organica.

A 5,77 m è stato individuato un livello di *tephra* dello spessore di 1 mm costituito essenzialmente da scorie di vetro, feldspati e minerali femici.

6,64 - 7,32 m: limi carbonatici detritici e autigeni separati dall'intervallo superiore da un livello torboso spesso 2 cm;

7,32 - 10,55 m: limi argillosi;

10,55 - 12,50 m: limi sabbiosi alternati a sabbie fini.

4. ANALISI POLLINICA E INQUADRAMENTO CRONOLOGICO DEI DEPOSITI

L'analisi palinologica (Hadorn, 1992) ha permesso di riconoscere le diverse associazioni polliniche già note per il Plateau Svizzero. Queste sono state suddivise in Zone Polliniche Locali che sono state confrontate con le zone polliniche regionali (Amman, 1989) e sono comprese tra il Dryas antico inferiore e il Subatlantico recente (Firbas, 1949-1952). I risultati sono esposti in Figura 2.

L'inquadramento cronologico è stato inoltre confermato dal rinvenimento del sottile livello di tephra riferibile all'eruzione esplosiva freatomagmatica del Laacher See Volcano (Sud di Bonn, Valle del Reno) datata circa 11.000 anni B.P. La registrazione di tale evento è ben nota nei sedimenti lacustri dell'Europa centrale e settentrionale e costituisce un marker cronologico di riferimento (Bogaard & Schmincke, 1985) che si colloca all'interno della biozona Allerød.

5. ANALISI MINERALOGICA E GEOCHIMICA

Le analisi mineralogiche sono state effettuate al diffrattometro Scintag XDS 2000; l'analisi geochemica su roccia totale è stata eseguita tramite specazione dei carbonati (con attacco ad HCl 10% per 20 min a temperatura di ebollizione). Il residuo insolubile è stato analizzato in parte per assorbimento atomico (*Atomic Absorption Spectrometer* per gli elementi K, Na, Mg, Sr e Mn), in parte per colorimetria (*Flow Injection Analysis* per SiO₂, PO₄, Al e Fe) e per titolazione (Ca).

I risultati hanno permesso di distinguere due fasi di sedimentazione separate da una fase intermedia di transizione. La prima, compresa tra il Dryas antico inferiore e il Bølling (6,73+12,00 cm) dominata da minerali detritici (quarzo, feldspato, plagioclasio, mica, clorite, dolomite, calcite); la seconda, compresa tra il Bølling e l'attuale, dominata da precipitazione biochimica carbonatica autoctona (calcite e aragonite).

La fase di transizione corrispondente al Bølling dove si registra una diminuzione degli elementi detritici parallelamente ad un aumento della precipitazione biochimica carbonatica.

Tale ripartizione mineralogica concorda con la distribuzione degli elementi chimici. Alla fase detritica sono infatti associati gli elementi Si, Al, K, Fe, Mn e Mg, mentre alla fase carbonatica sono associati gli elementi Ca, Mg e Sr (Fig. 3).

6. ANALISI ISOTOPICHE ($\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)

La composizione degli isotopi stabili è stata determinata con la procedura convenzionale di McCrea (1950), usando un fattore di frazionamento tra H₃PO₄ e CaCO₃ di 1.01025 a 25 °C (Sharma & Clayton, 1965). Sono stati analizzati 52 campioni di roccia totale nei primi 8 m di sedimento, alcuni dei quali (12), sono stati trattati con NaOCl 5% per <24 h (Charef & Sheppard, 1984) per eliminare la materia organica, e quindi rianalizzati.

Tutti i rapporti isotopici sono stati misurati con uno spettrometro di massa Finnigan MAT 251. La riproducibilità delle misure dello strumento è stata controllata con analisi regolari dello standard NBS 19 (Coplen *et al.*, 1983). Tutti i valori sono espressi in ‰ come deviazione relativa dallo standard PDB:

dove per l'ossigeno $R = ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, e per il carbonio $R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$.

In base ai valori ottenuti dall'analisi isotopica, messi in relazione con i dati biostratigrafici derivanti dall'analisi pollinica, si possono fare alcune considerazioni.

Dal Dryas antico inferiore al Bølling i valori dei rapporti isotopici sono influenzati dalla natura detritica dei sedimenti. Tale situazione non permette una corretta valutazione paleoclimatica. I valori ottenuti (compresi tra -8 e -6 ‰) sono molto meno negativi rispetto

$$\delta \text{ in } \text{‰} = \frac{R_{\text{campione}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \cdot 1000$$

a quelli riferibili allo stesso intervallo cronologico (passaggio Dryas antico inferiore - Bølling) riscontrati in altri laghi svizzeri.

Questa deviazione potrebbe essere dovuta all'influenza dei rapporti isotopici originari delle rocce carbonatiche mesozoiche affioranti nel bacino idrografico.

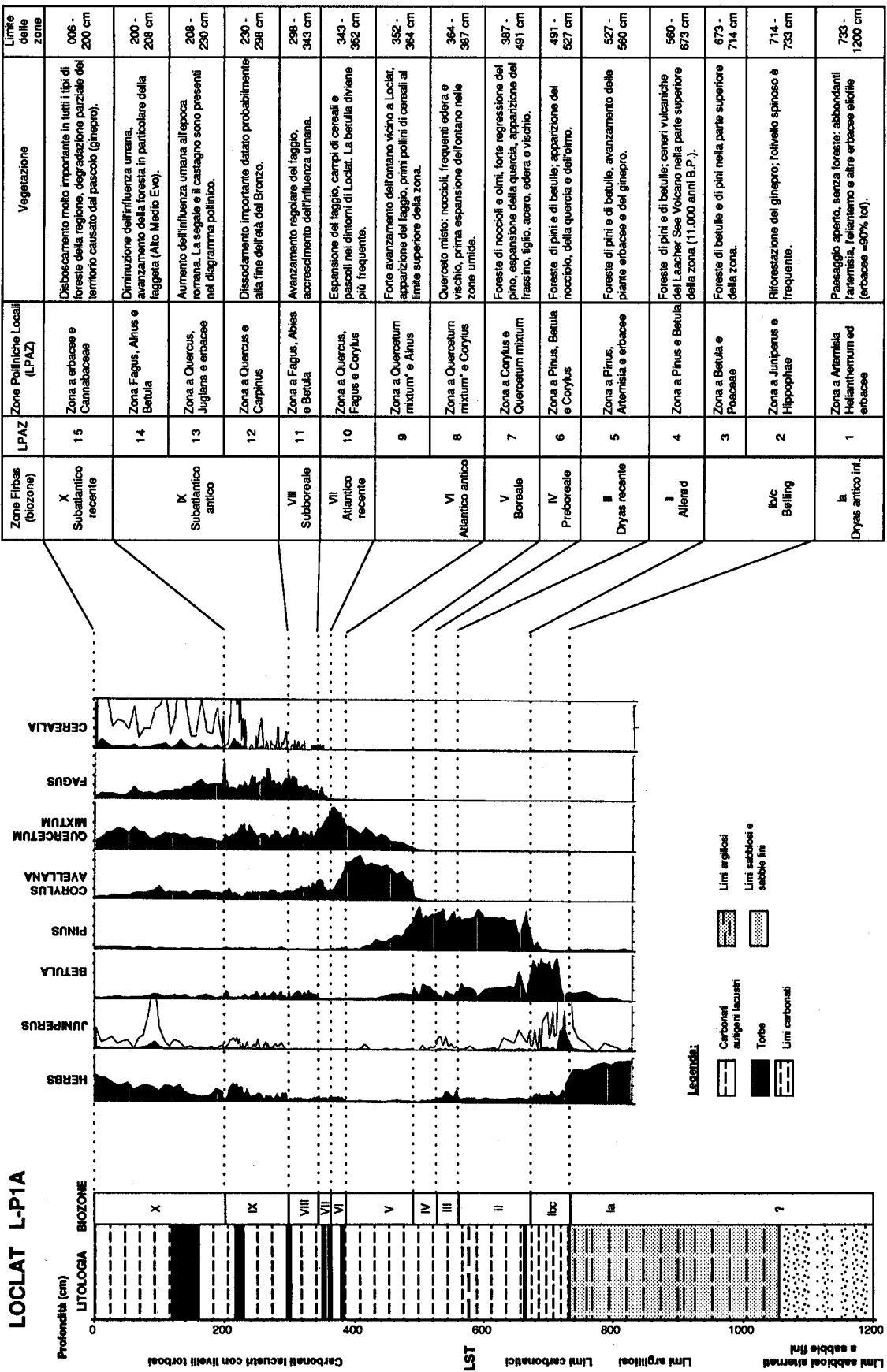
Dall'Allerød all'attuale, in coincidenza con l'inizio della sedimentazione carbonatica autoctona, i rapporti isotopici ottenuti mostrano un andamento confrontabile ad esempi noti in letteratura (Lotter *et al.*, 1992).

È interessante notare lo *shift* netto e ben confinato verso valori negativi (-12 ‰) in corrispondenza del Dryas recente, periodo caratterizzato, in base ai reperti pollinici, da un deterioramento del clima.

Cronologicamente anteriore a questo sono da osservare due fluttuazioni negative, meno marcate della precedente, alla base e al tetto dell'Allerød (-11,5 e -10,5 ‰), probabilmente riferibile a due brevi recrudescenze climatiche già osservate in altri sedimenti lacustri svizzeri e note rispettivamente come "oscillazione di Aegelsee" (Lotter *et al.*, 1992) e "oscillazione di Gerzensee" (Eicher, 1980).

Proseguendo verso l'alto è evidente il brusco spostamento verso valori meno negativi al passaggio tra l'Atlantico recente e il Subboreale, che può essere messo in relazione a variazioni ambientali locali (clima, composizione dell'acqua...) sottolineate dalla presenza di torbe.

A partire dal Subatlantico non si registrano delle grandi variazioni dal punto di vista dei rapporti isotopici.



* Quercetum mixtum: quercia, olmo, tiglio, frassino e acero.

Fig. 2 - Schema stratigrafico semplificato della carota Loclat (L-P1A) e risultati dell'analisi pollinica con evidenziata l'evoluzione della vegetazione (per maggiori dettagli si veda la Tabella a destra). Simplified stratigraphy of Loclat core (L-P1A) and results of the palynological analysis showing the vegetation evolution. For details see the Table on the right (Hadorn, 1992, modified). LPZ = Local pollen assemblage zones; LST = Laacher See Tephra (11,000 yr BP).

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio interdisciplinare sulla carota del lago di Loclat ha permesso di ricostruire l'evoluzione post-glaciale e olocenica dei sedimenti del lago. In particolare le variazioni verticali dello spettro pollinico e dei rapporti isotopici $\delta^{18}\text{O}$ hanno messo in evidenza come variazioni climatiche legate ad oscillazioni della temperatura, alla scala del migliaio di anni, siano state registrate in maniera puntuale sia dalla vegetazione che si sviluppava intorno al bacino lacustre e sia nei sedimenti del lago stesso.

Il confronto con studi analoghi eseguiti in altri laghi svizzeri ha confermato i dati ottenuti in questo studio.

Malgrado sia stata effettuata una campionatura con una maglia più larga (10 campioni/m) rispetto a quella utilizzata negli altri laghi, le variazioni verticali del rapporto isotopico $\delta^{18}\text{O}$ in corrispondenza del Dryas recente sono ugualmente ben visibili.

La differenza relativa tra il Dryas recente e il Preboreale è di circa 2 ‰, cioè dello stesso ordine di grandezza riscontrato negli altri laghi svizzeri.

L' "oscillazione del Gerzensee" (G), evidente a Loclat e ben nota in molti laghi del plateau svizzero, è stata ugualmente osservata in America del Nord (oscillazione di Killarney; Levesque *et al.* 1993). Tale coincidenza potrebbe indicare un carattere emisferico o globale (?) e non solo regionale della fluttuazione stessa.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori sono grati a M. Egloff (archeologo cantonale) e B. Arnold (archeologo aggiunto) del Servizio archeologico di Neuchâtel per aver fornito il materiale studiato e al laboratorio LASUR per le analisi geochimiche. Un particolare ringraziamento è rivolto a J. Hunziker, Z. Sharp e J. Spangenberg per il prezioso contributo scientifico e tecnico per quanto riguarda lo studio degli isotopi stabili.

Il lavoro è stato realizzato con il contributo finanziario del FNRS (*Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique*), FN n° 20-30837.91 (Rolli) e del PNR 31 (*Programme National de la Recherche Scientifique*) n° 4031-033204 (Filippi e Moscarillo).

BIBLIOGRAFIA

- Amman B., 1989 - *Late Quaternary palynology at Lobsigensee. Regional vegetation history and local lake development*. Dissertationes Botanicae 137, 157 p.
- Bogaard v.d. P. & Schmincke H.-U., 1985 - *Laacher See Tephra: a widespread isochronous late Quaternary tephra layer in central and northern Europe*. Geological Society of America Bulletin, **96**, 1554-1571.
- Bourquin Ph., Buxtorf R., Frei E., Lütthi, Muhlethaler C., Ryniker K. & Suter H., 1968 - *Atlas géologique de la Suisse au 1:25,000, Feuille 51, Val-de-Ruz*. Comm. géol. suisse.
- Baer, J. G., 1962 - *Le Loclat*. Dans: "Saint-Blaise au bord de l'eau" Saint-Blaise (Ed. commission du 3-Février).
- Charef A. & Sheppard S.M.F., 1984 - *Carbon and oxygen isotope analysis of calcite or dolomite associated with organic matter*. Isotope Geoscience, **2**, 325-333.
- Coplen T.B., Kendall C. & Hopple J., 1983 - *Comparison of stable isotope reference samples*. Nature, **302**, 236-238.
- Dansgaard W., Clausen H.B., Gundestrup N., Hammer C.U., Johnsen S.F., Kristinsdottir P.M. & Reeh N., 1982 - *A new Greenland deep ice core*. Sciences, **218**, pp. 1273-1277.
- Eicher U., 1980 - *Pollen-und-Sauerstoffisotopenanalysen an spätglazialen Profilen vom Gerzensee, Faulenseemoos und vom Regenmoos bei Boltigen*. Mitteilungen Naturforschende Gesellschaft Bern N.F., **37**, 65-80.
- Eicher U. & Siegenthaler U., 1976 - *Palynological and oxygen isotope investigations on Late-Glacial sediments cores from Swiss lakes*. Boreas, **5**, 109-117.
- Firbas, F., 1949-1952 - *Waldgeschichte Mitteleuropas*, I & II. Gustav Fischer, Jena.
- Hadorn, Ph., 1992 - *Vegetationsgeschichtliche Studie am Nordufer des Neuenburgersee. Pollenanalytische Untersuchungen im Loclat, in der Bucht Hauterive/St-Blaise und in den neolithischen Ufersiedlungen von St-Blaise/Bains des Dames*. Thèse Fac. Sciences, Université de Bern.
- Hadorn, Ph., 1994 - *Archéologie Neuchâteloise* (in prep.)
- Lotter A.F., Eicher U., Siegenthaler U. & Birks H.J.B., 1992 - *Late-glacial climatic oscillations as recorded in Swiss lake sediments*. J. of Quaternary Science, **7** (3), 187-204.
- Levesque A.J., Mayle F.E., Walker I.R. & Cwynar Les C., 1993 - *A previously unrecognized late-glacial cold event in eastern North America*. Nature, **361**, 623-626.

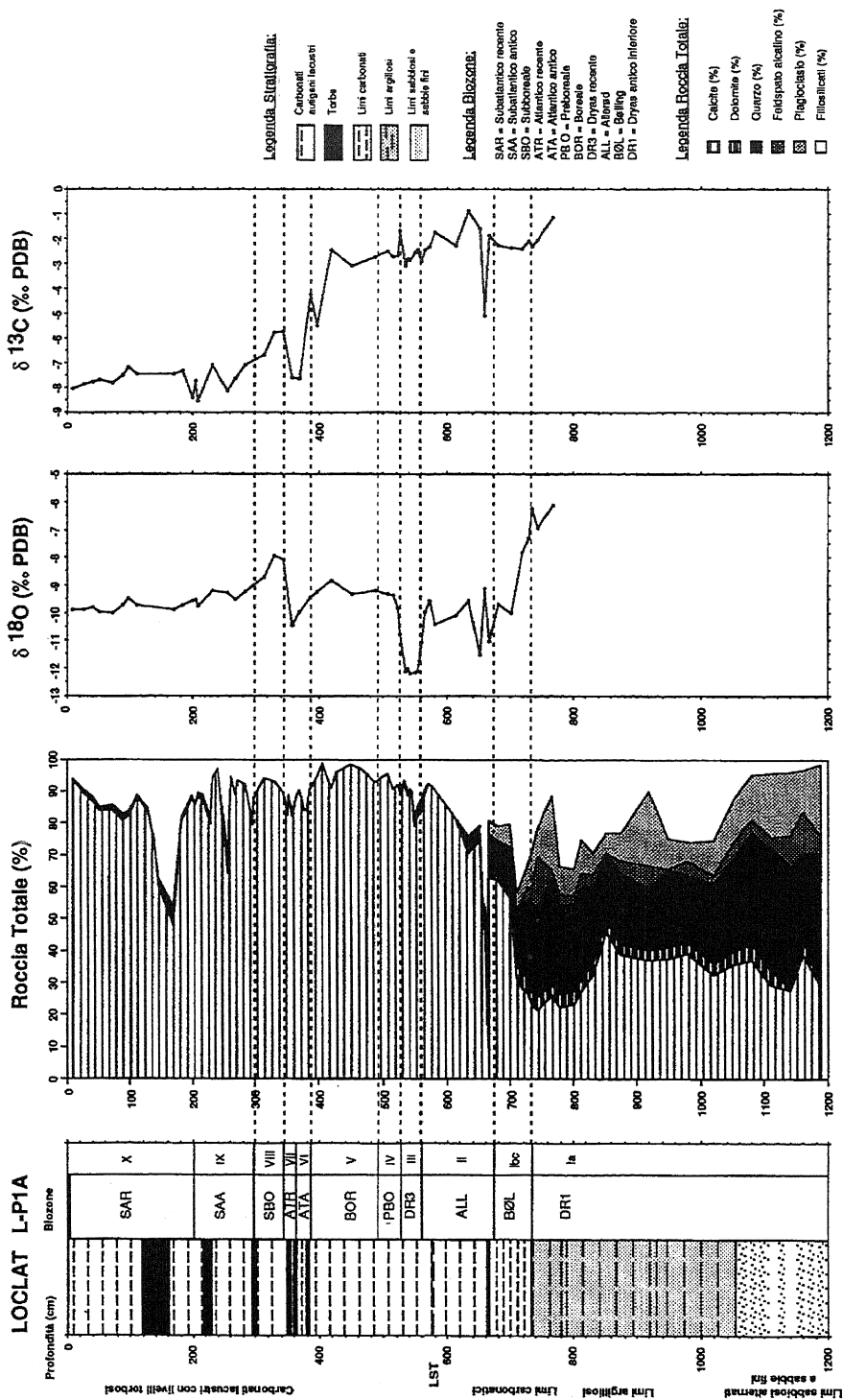


Fig. 3 - Loclat (L-P1A): a destra della colonna stratigrafica sono riportati i risultati delle analisi mineralogiche (roccia totale) per diffrazione RX (% minerali), e delle analisi isotopiche dell'ossigeno ($\delta^{18}\text{O}/100 \text{ PDB}$) e del carbonio ($\delta^{13}\text{C}/100 \text{ PDB}$).
 Loclat (L-P1A): results of whole rock mineralogical analysis by X-ray diffraction (% minerals) and of oxygen and carbon isotope analyses (on the right of the stratigraphic column).

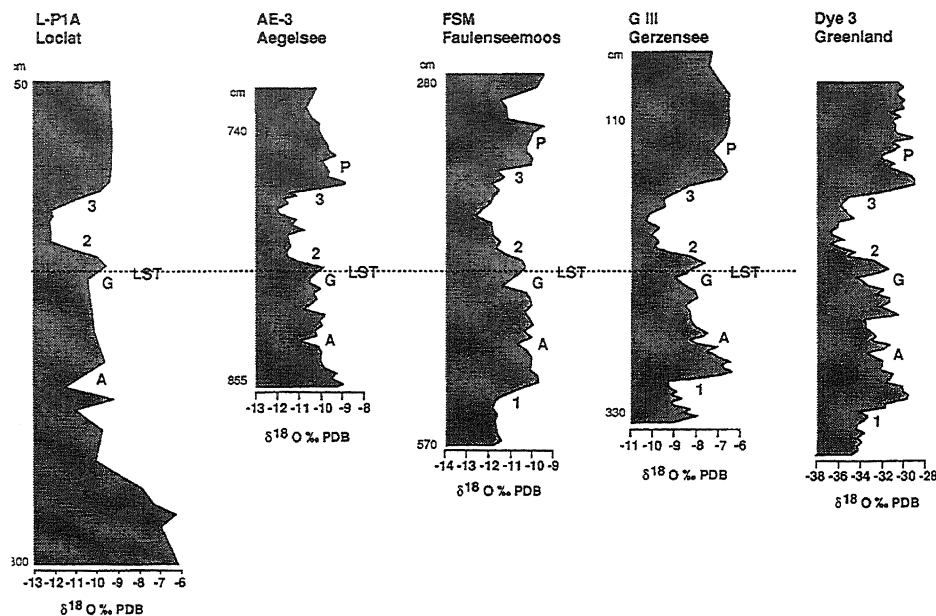


Fig. 4 - Confronto tra le curve isotopiche dell'ossigeno riferibili ai laghi svizzeri Loclat (L-P1A), Aegelsee (AE-3) (Wegmüller & Lotter, 1990), Faulenseemoos (FSM) (Eicher & Siegenthaler, 1976) e Gerzensee (G-III) (Eicher & Siegenthaler, 1976) con quella della Groenlandia (Greenland Dye 3) (Dansgaard *et al.*, 1982). (modif. da Lotter *et al.*, 1992). LST indica la posizione del livello vulcanico conosciuto come Laacher See Tephra (11.000 anni B.P.). A: oscillazione di Aegelsee; G: oscillazione di Gerzensee; P: oscillazione del Preboreale; 1: variazione all'inizio della biozona Bølling; 2: variazione all'inizio della biozona Dryas recente; 3: variazione alla fine della biozona Dryas recente.

Comparison between oxygen isotope records from the Swiss lakes Loclat (L-P1A) (this study), Aegelsee (AE-3) (Wegmüller & Lotter, 1990), Faulenseemoos (FSM) (Eicher & Siegenthaler, 1976) and Gerzensee (G-III) (Eicher & Siegenthaler, 1976) and those of Greenland Dye 3 record (Dansgaard *et al.*, 1982). Modified after Lotter *et al.* (1992). LST marks the position of Laacher See Tephra (11,000 yr B.P.). A: Aegelsee oscillation; G: Gerzensee fluctuation; P: Preboreal oscillation; 1: shift at the bottom of the Bølling biozone; 2: shift at the bottom of the Younger Dryas biozone; 3: shift at the top of the Younger Dryas biozone.

McCrea J.M., 1950 - *On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale.* J. Chem. Phys. **18**, 849-857.

Schweizer & Aragno, 1975 - *Etude des hydrogénobactéries dans un petit lac (Le Loclat, ou Lac de Saint-Blaise).* (Note préliminaire). Bull. Soc. Neuch. Sci. Nat. **98**, pp 79-87.

Sharma T. & Clayton R.M., 1965 - *Measurement of $^{18}O/^{16}O$ ratios of total oxygen of carbonates.* Geochim. Cosmochim. Acta, **29**, 1347-1353.

Wegmüller S. & Lotter A.F., 1990 - *Palynostratigraphische Unter-sucunghen zur spat-und postglazialen Vegetation-sgeschichte der nordwestlichen Kalkvoralpen.* Botanica Helvetica, **100**, 37-73.