

## OSCILLAZIONI GLACIALI PRECEDENTI LA PICCOLA ETÀ GLACIALE DOCUMENTATE DA UN SUOLO SEPOLTO IN UNA MORENA DEL GHIACCIAIO DEL LYS

G. Strumia(\*)

Dip.to di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università di Milano

**SUMMARY** - *Glacier fluctuations preceding the Little Ice Age as documented by a buried soil in a moraine of the Lys Glacier* - Il Quaternario *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 10(2), 1997, 153-00 - A fossil soil found in the left lateral moraine of the Lys Glacier (Valle d'Aosta) was radiocarbon dated. The results show two neoglacial advances preceding the Little Ice Age, the first before  $1885 \pm 155$  BP and the second soon after  $1185 \pm 80$  BP. Both dates were calibrated in calendar years and compared to dates of buried soils in alpine glacier moraines as given in the literature. The sequence of ages of buried soils shows periods with clustering of dates: this may be due to the difference between  $^{14}\text{C}$  and calendar ages and to a discontinuity of soil development during glacial retreat phases.

**RIASSUNTO** - *Oscillazioni glaciali precedenti la Piccola Età Glaciale documentate da un suolo sepolto in una morena del Ghiacciaio del Lys* - Il Quaternario *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 10(2), 1997, 153-00 - Il ritrovamento di un suolo sepolto nella morena laterale sinistra del Ghiacciaio del Lys (Valle d'Aosta) e la sua datazione mediante radiocarbonio consentono di individuare due fasi di avanzata del ghiacciaio precedenti la Piccola Età Glaciale. La prima immediatamente precedente a  $1885 \pm 55$  BP, la seconda immediatamente successiva a  $1185 \pm 80$  BP. Le due date  $^{14}\text{C}$  ottenute sono state calibrate in anni calendario e confrontate con date di suoli sepolti in morene di ghiacciai alpini riportate in letteratura. La sequenza di date prodotte da suoli sepolti mostra intervalli di tempo in cui si concentrano numerose date, sia per effetto dei ben noti scostamenti delle età  $^{14}\text{C}$  dalle età calendario, sia anche per una reale discontinuità nel tempo dello sviluppo di suoli in coincidenza di fasi di regresso glaciale.

Parole chiave: Olocene, suoli sepolti, datazioni  $^{14}\text{C}$ , Valle d'Aosta, Italia nord-occidentale  
Keywords: Holocene, buried soils, radiocarbon dating, Valle d'Aosta, NW Italy

### 1. INTRODUZIONE

Lo studio delle variazioni climatiche ha assunto negli ultimi anni un'importanza crescente. In quest'ambito i ghiacciai alpini si sono rivelati importanti archivi di informazioni, in quanto particolarmente sensibili alle oscillazioni climatiche. La storia olocenica dei ghiacciai è generalmente ricostruibile attraverso lo studio dei depositi glaciali e mediante la ricerca di antichi documenti iconografici e testimonianze storiche.

In molti ghiacciai alpini però la massima estensione nell'Olocene, cioè negli ultimi 10.000 anni circa, è coincisa con la Piccola Età Glaciale, un evento relativamente recente prodottosi a partire dal XV secolo e terminato intorno alla metà del secolo scorso, che ha cancellato le tracce lasciate dalle precedenti avanzate.

Per questa ragione particolarmente utile per la ricostruzione delle fasi glaciali oloceniche più antiche è il ritrovamento di successioni stratigrafiche contenenti suoli sepolti, i quali mediante datazione al radiocarbonio possono fornire informazioni sui tempi e sulla estensione delle avanzate glaciali (Röthlisberger *et al.*, 1980; Orombelli & Porter, 1982; Baroni & Carton, 1990; Grove & Switsur, 1994).

In questo studio si documenta il ritrovamento di una

successione stratigrafica contenente un suolo sepolto nella morena laterale sinistra del Ghiacciaio del Lys (Valle d'Aosta) e si presentano i risultati ottenuti mediante datazioni  $^{14}\text{C}$ .

### 2. AREA DI STUDIO

Il Ghiacciaio del Lys è uno dei più estesi ghiacciai del versante italiano delle Alpi e si trova alla testata della Valle di Gressoney, nel massiccio montuoso del Monte Rosa (Fig. 1). Esso si origina al di sopra dei 4000 m, dalla cresta del Lyskamm e scende con una lingua glaciale, lunga circa 1,5 km, fino alla quota di 2350 m. La piana proglaciale del Ghiacciaio del Lys mostra un apparato morenico olocenico complesso: sono presenti due grandi morene laterali parallele all'asse vallivo e tre cerchie moreniche frontali concentriche. Le morene frontali sono state datate con antichi documenti cartografici e testimonianze storiche da Dainelli (1911) e Monterin (1932) e, più recentemente con metodi lichenometrici da Strada (1988).

La morena più esterna (M 1 in Fig. 1) testimonia la massima estensione del Ghiacciaio del Lys durante l'Olocene e, secondo Monterin (1932), è stata deposta

(\*) Attuale indirizzo (*Present address*): Center for Environmental Studies, University of Agricultural Sciences (Boku-Wien), Gregor Mendel Strasse 33, A-1180 Wien, Austria.

Tabella 1 - Table 1

Confronto tra le date del suolo sepolto della morena del Lys e altre date analoghe delle Alpi Occidentali (King, 1974; Röthlisberger, 1976; Röthlisberger *et al.*, 1980; Porter, 1986; Orombelli & Porter 1982). Le date calibrate sono riportate tra parentesi mentre fuori dalle parentesi sono riportati gli estremi dell'intervallo considerando la deviazione *standard*.

*The ages of the buried soil in the Lys moraine compared to the age of other similar soils in the Western Alps (King, 1974; Röthlisberger, 1976; Röthlisberger et al., 1980; Porter, 1986; Orombelli & Porter 1982). The calibrated ages are in parenthesis; the age range considering standard deviation is given by the ages not in parenthesis.*

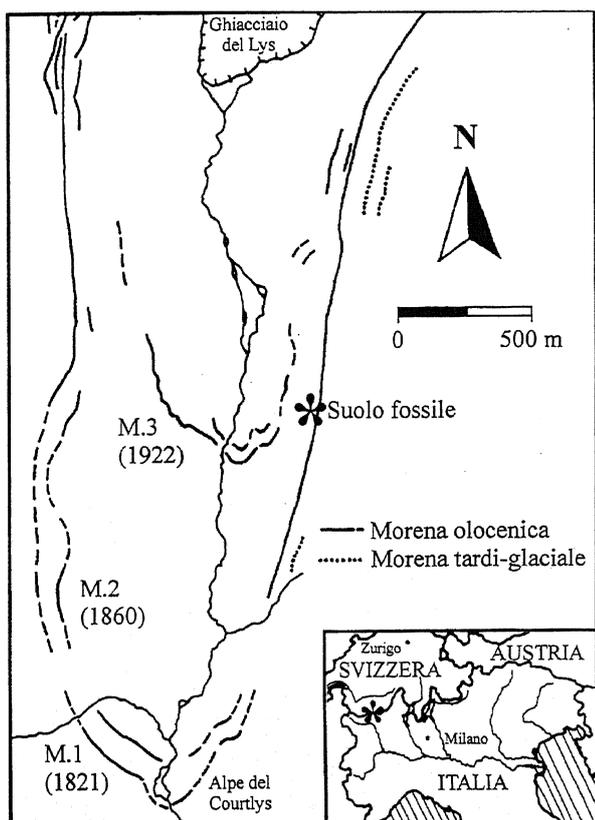
Età, BP	Località	Età calibrata	Descrizione	Bibliografia
2210±100 BP	Steingletscher, Zentralschweiz.	BC 389 (349, 315, 228, 222, 208) 114	Pino alla base di una torbiera.	(1)
2180±155 BP	Findelengletscher, Zermatt (VS)	BC 394 (202) AD 1	Suolo fossile, sovrapposizione 30 m sotto la cresta della morena.	(2)
2165±130 BP	Rosbodengletscher, Simplon (VS)	BC 386( 198, 189, 173) 1	Suolo fossile, sovrapposizione 2 m sotto la cresta della morena.	(3)
1990±85 BP	Glacier de Brenay, Val de Bagnes (VS)	BC 85 (AD 26, 43, 48) AD 126	Suolo fossile, accrezione.	(3)
1955±80 BP	Feeegletscher, Sperwer, Saas fee (VS)	BC 40 (AD 34, 36, 61) AD 131	Suolo fossile con carboni, sovrapposizione 6 m sotto la cresta della morena.	(3)
1905±75 BP	Glacier du Mont Miné, Ferpècle (VS)	AD 28 (86, 100, 126) 228	Mediano di 3 suoli fossili, 43 m sotto la cresta della morena.	(2)
1885±155 BP	Lys Glacier, Monte Rosa	BC 41 (AD 129) AD 339	Suolo fossile, sovrapposizione, 10 m sotto la cresta della morena.	Questo articolo
1860±100 BP	Aletschgletscher, Ze Bächu (VS)	AD 32 (133, 205) 321	Tronco di larice in morena laterale.	(3)
1810±100 BP	Glacier du Mont Miné, Ferpècle (VS)	AD 82 (238) 380	Suolo fossile, sovrapposizione 50 m sotto la cresta della morena.	(2)
1760±100 BP	Aletschgletscher, Ze Bächu (VS)	AD 133 (259, 281, 290, 299, 321) 415	Tronco di larice in morena laterale.	(3)
1740±210 BP	Glacier du Mont Durand, Val de Bagnes (VS)	AD 35 (262, 278, 295, 324) 542	Suolo fossile, accrezione in morena laterale.	(3)
1735±80 BP	Vadret dal Cambrena, Bündnerland	AD 236 (262, 277, 336) 416	Suolo fossile, accrezione in morena laterale.	(3)
1735±60 BP	Fieschergletscher, (VS)	AD 242 (262, 277, 336) 409	Suolo fossile, sovrapposizione 20 m sotto la cresta della morena.	(3)
1675±155 BP	Glacier de Brenay, Val de Bagnes (VS)	AD 181 (407) 544	Suolo fossile, accrezione in morena laterale.	(3)
1610±115 BP	Findelengletscher, Zermatt (VS)	AD 264 (427) 598	Larice tra 2 suoli fossili, 40 m sotto la cresta della morena.	(2)
1590±105 BP	Glacier de Corbassière, Val de Bagnes (VS)	AD 362 (431, 453, 467, 503, 511, 517, 530) 601	Suolo fossile, sovrapposizione 20 m sotto la cresta della morena.	(3)
1570±55 BP	Vadret dal Cambrena, Bündnerland	AD 423 (435, 446, 536) 577	Suolo fossile, torbiera interrotta da depositi fluvio-glaciali	(3)
1555±60 BP	Glacier du Mont Miné, Ferpècle (VS)	AD 426 (538) 599	Larice tra 2 suoli fossili, 40 m sotto la cresta della morena.	(2)
1550±100 BP	Zmuttgletscher, Zermatt (VS)	AD 416 (539) 639	Tronco di larice 7 m in profondità alla base di till	(2)
1535±95 BP	Glacier du Mont Miné, Ferpècle (VS)	AD 422 (541) 641	Suolo fossile, sovrapposizione 15 m sotto la cresta della morena.	(2)
1490±100 BP	Vadret dal Cambrena, Bündnerland	AD 431 (584, 586, 599) 654	Torbiera sepolta da depositi glaciali	(3)
1450±85 BP	Glacier de Corbassière, Val de Bagnes (VS)	AD 541 (638) 662	Suolo fossile, sovrapposizione 6 m sotto la cresta della morena.	(3)
1400±100 BP	Zmuttgletscher, Zermatt (VS)	AD 563 (650) 761	Tronco di larice 7 m in profondità alla base di till.	(2)
1380±85 BP	Glacier de Tsidjore Nouve, Arolla (VS)	AD 604 (656) 763	Suolo fossile, sovrapposizione.	(2)
1270±75 BP	Stellinboden gletscher, Urserental, Zentralschweiz	AD 665 (695, 731, 740, 772) 873	Suolo fossile, accrezione della morena frontale su antica morena terminale	(3)
1225±75 BP	Witenwasserengletscher, Urserental, Zentralschweiz	AD 690 (780, 792, 801) 942	Suolo fossile, sovrapposizione su morena frontale.	(3)
1200±60 BP 1555±60 BP	Aletschgletscher (VS)	AD 774 (783, 788, 814, 818, 831, 839, 869) 975	Tronco di larice in situ, 60 m sotto la cresta della morena.	(3)
1190±73 BP	Ghiacciaio della Lobbia. Adamello Group	AD 735 (784, 786, 874) 979	Torbiera sotto la morena frontale.	(4)
1190±70 BP 1350±70 BP	Aletschgletscher (VS)	AD 775 (784, 786, 874) 979	Tronco di larice <i>in situ</i> , 60 m sotto la cresta della morena	(3)
1185±80 BP	Lys Glacier, Monte Rosa	AD 734 (785, 786, 877) 981	Suolo fossile, sovrapposizione in morena laterale.	Questo articolo
1135±100 BP	Glacier de Zinal (VS)	AD 778 (898, 920, 944, 952, 957, 971, 976) 1017	Suolo fossile, sovrapposizione 6 m sotto la cresta della morena.	(3)
1110±55 BP 1370±70 BP	Aletschgletscher (VS)	AD 888 (902, 911, 980) 997	Tronco di larice in situ, 50 m sotto la cresta della morena	(3)
1170±55 BP	Brenva Glacier, Mont Blanc	AD 779(887, 935) 980	Tronco sepolto in morena laterale	(5)
1100±55 BP	Glacier du Mont Durand, Val de Bagnes (VS)	AD 891 (904, 907, 982) 1016	Suolo fossile, accrezione in morena frontale	(3)
1070±60 BP	Glacier de Ferpècle (VS)	AD 898 (990) 1022	Suolo fossile con radici, sovrapposizione 20 m sotto la cresta della morena.	(2)

Tabella 1- Table 1 (Cont.)

Età, BP	Località	Età calibrata	Descrizione	Bibliografia
1045±55 BP	Glacier de Ferpèche (VS)	AD 904 (998) 1025	Suolo fossile, sovrapposizione 15 m sotto la cresta della morena.	(2)
1030±70 BP	Glacier de Ferpèche (VS)	AD 904 (1002, 1010, 1017) 1142	Tronco di larice.	(3)
1025±255 BP	Findelengletscher, Zermatt (VS)	AD 693 (1003, 1008, 1018) 1277	Suolo fossile, sovrapposizione 4 m sotto la cresta della morena.	(2)
1015±255 BP	Findelengletscher, Zermatt (VS)	AD 695 (1020) 1279	Sottili radici in suolo 4 m sotto la cresta della morena	(2)
990±95 BP	Glacier de Fenêtre, Val de Bagnes (VS)	AD 984 (1024) 1187	Suolo fossile, accrezione in morena laterale.	(3)
950±115 BP	Schwarzberggletscher, Mattmark (VS)	AD 992 (1039, 1093, 1117, 1141, 1149) 1217	Suolo fossile, sovrapposizione 8 m sotto la cresta della morena.	(3)
930±220 BP	Glacier de Ferpèche (VS)	AD 894 (1066, 1086, 1123, 1137, 1152) 1288	Rami di <i>Juniperus</i> in suolo fossile, 20 m sotto la cresta della morena	(2)
920+/-50 BP	Glacier de Zinal (VS)	AD 1029 (1071, 1080, 1128, 1136, 1154) 1209	Tronco di larice <i>in situ</i> , 40 m sotto la cresta della morena	(3)
900±75 BP	Glacier du Mont Minè, Ferpèche (VS)	AD 1028 (1158) 1255	Suolo fossile, sovrapposizione 30 m sotto la cresta della morena.	(2)
845±225 BP	Findelengletscher, Zermatt (VS)	AD 990 (1214) 1389	Suolo fossile, sovrapposizione da 0.5 a 1 m sotto la cresta della morena.	(2)
815±40 BP	Glacier de Corbassière, Val de Bagnes (VS)	AD 1210 (1223, 1231, 1239, 1249, 1256) 1277	Suolo fossile, accrezione in morena laterale.	(3)
800±100 BP	Aletschgletscher (VS)	AD 1158 (1259) 1291	Radici <i>in situ</i> , sepolte	(3)
790±65 BP	Glacier du Mont Durand, Val de Bagnes (VS)	AD 1210 (1261) 1286	Suolo fossile, accrezione in morena laterale.	(3)
720±100 BP	Aletschgletscher (VS)	AD 1221 (1286) 1390	Radici di larice su terrazzo di roccia	(3)
700±85 BP	Glacier de Moiry, Val d'Anniviers (VS)	AD 1261 (1290) 1391	Suolo fossile, sovrapposizione 30 m sotto la cresta della morena.	(3)
670±85 BP	Glacier de Brenay, Val de Bagnes (VS)	AD 1279 (1297) 1400	Suolo fossile, accrezione in morena laterale.	(3)

## References

- (1) King, 1974  
 (2) Röthlisberger, 1976  
 (3) Röthlisberger *et al.*, 1980  
 (4) Baroni & Carton, 1990



nel 1821 al termine di un'avanzata glaciale durata circa 20 anni. Si presenta continua per quasi tutta la sua lunghezza, alta da 5 a 10 m e coperta da un bosco di larici molto maturo. Circa 100 m all'interno vi è una seconda cerchia morenica frontale (M 2) deposta nel 1860, alla fine di un breve periodo di avanzata che interruppe momentaneamente una fase di generale ritiro (Monterin, 1932). E' anch'essa coperta da un lariceto, anche se si presenta discontinua e meno evidente della precedente. La terza morena frontale (M 3) è circa 1,5 km a monte del massimo limite glaciale olocenico e testimonia chiaramente la posizione e la forma della lingua nel 1922, al termine di un periodo di avanzata di circa 10 anni. La morena si presenta alta circa 2 m, composta da grossi massi spigolosi e poco lichenizzati. La vegetazione è in questa zona discontinua; l'area è infatti interessata da giovani individui di larici in fase di colonizzazione.

Le morene laterali hanno dimensioni cospicue, da 50 a 100 m in altezza, e sono caratterizzate da una singola cresta affilata e continua. Solo localmente la morena

Fig.1 - Carta schematica raffigurante l'area di studio, le morene del Ghiacciaio del Lys (M.1, M.2, M.3) e l'ubicazione del suolo sepolto.

Map of the studied area showing the Lys Glacier moraines (M.1, M.2 and M.3) and the location of the buried soil.

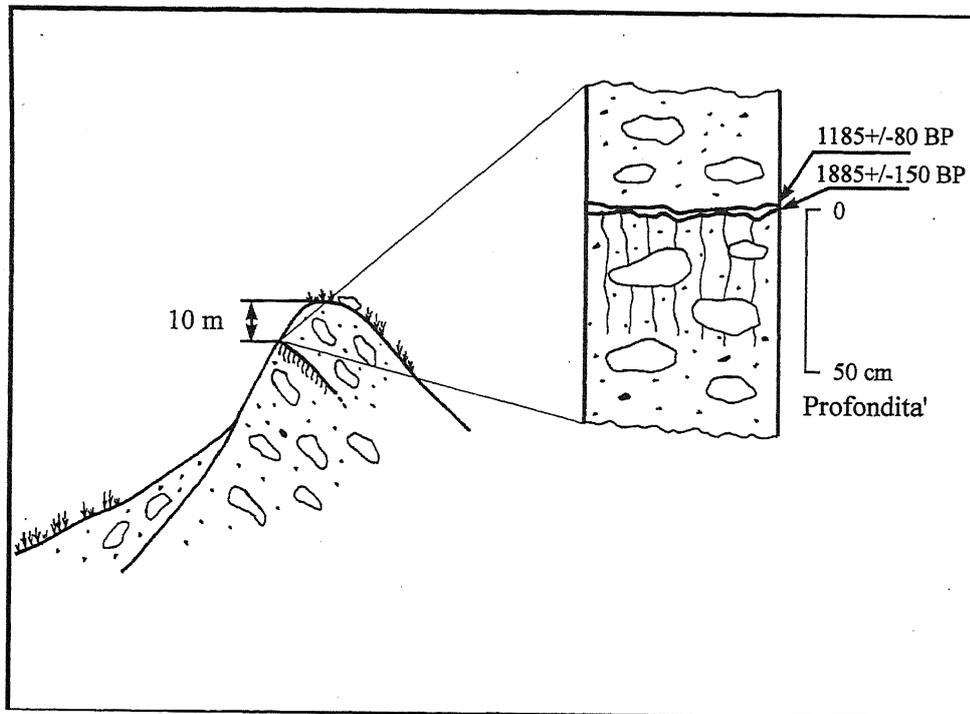


Fig. 2 - Schema dei rapporti stratigrafici all'interno della morena laterale sinistra e del profilo del suolo sepolto.

*Stratigraphic relationships within the left lateral moraine. (On the right): Particular of the buried soil stratigraphy.*

laterale destra presenta una serie di piccole creste parallele. Come è noto le morene laterali vengono costruite in più fasi discontinue (Röthlisberger & Schneebeli, 1979; Small, 1983) mediante un meccanismo di sovrapposizione o di accrezione. Nel primo caso si produce una morena a cresta unica mediante successive sovrapposizioni di sedimenti glaciali che vanno a rivestire i precedenti. Nel secondo caso si producono morene a creste plurime, affiancate quando i successivi accumuli si giustappongono senza un'integrale copertura. Sul fianco interno delle morene costruite per sovrapposizione si possono spesso osservare suoli sepolti documentanti antichi livelli di cresta o di versante esterno della morena, colonizzati dalla vegetazione e pedogenizzati, successivamente sepolti da depositi glaciali nelle fasi di riavanzata. Successioni di questo tipo con suoli intercalati sono generalmente visibili su superfici esposte ad opera di frane o di acque di dilavamento. Lungo il fianco interno delle morene del Lys superfici di questo tipo sono presenti e sono state esaminate alla ricerca di possibili suoli sepolti.

### 3. RISULTATI E DISCUSSIONE

In una superficie di erosione nella morena laterale destra, poco sotto il roccione di Salzen, è stata osservata una successione contenente un suolo sepolto a circa 10 m dalla cresta della morena (Fig. 2).

Il fianco interno della morena appare costituito da depositi glaciali (*till*) composti da grossi clasti irregolarmente allineati, orientati parallelamente al pendio esterno della morena, inclusi in una matrice sabbioso-fine ben addensata e localmente prevalente. Il colore stimato a secco con le tavole Munsell corrisponde a grigio chiaro (2.5 Y 7-8/2). Nei depositi glaciali è interposto un suolo dello spessore di circa 40 cm, alla cui sommità si osserva un sottile livello organico dello spessore massimo di 2 cm

di colore bruno molto scuro-nero (10 YR 2/2-1). I limiti inferiore e superiore dell'orizzonte organico sono molto netti e ben evidenti. L'orizzonte organico localmente si suddivide in due sottili livelli, disgiunti di 1-2 cm e separati da materiale limoso-sabbioso di colore più chiaro. All'orizzonte organico segue inferiormente un orizzonte di colore bruno-giallastro chiaro (2.5 Y 6/4) dello spessore di 30-40 cm, interpretabile come un'orizzonte B/C. Seguono inferiormente sedimenti glaciali non alterati di colore grigio chiaro (2.5 Y 7/2), in tutto analoghi a quelli sovrastanti il suolo sepolto.

Due campioni prelevati dal livello organico dove questo si disgiunge sono stati datati con il metodo del radiocarbonio. I risultati ottenuti dai Geochron Laboratories delle Krueger Enterprises, Inc. (Massachusetts) sono i seguenti:

livello superiore:	1185 ± 80 BP	(GX 19713)
livello inferiore:	1885 ± 155 BP	(GX 19714)

Queste date consentono di valutare il tempo di stabilità in cui il suolo si è formato: la data del livello superiore è una data massima per l'evento che ha sepolto il suolo interrompendone lo sviluppo e pertanto rappresenta una data massima per l'avanzata glaciale che ha depositato i depositi glaciali sovrastanti. Al contrario la data del livello inferiore è una data minima per il deposito sul quale il suolo si è sviluppato e quindi fornisce una data minima per l'avanzata glaciale che ha depositato i sedimenti glaciali sottostanti il suolo.

Le date  $^{14}\text{C}$  sono state calibrate con il programma informatico di calibrazione di Stuiver & Pearson (1993) allo scopo di ottenere delle date calendario e hanno dato i seguenti risultati:

livello superiore:	AD 734 (785, 786, 874) 981
livello inferiore	BC 41 (AD 129) AD 339

Le date fuori parentesi definiscono l'intervallo entro la quale la data può cadere tenendo presente la devia-

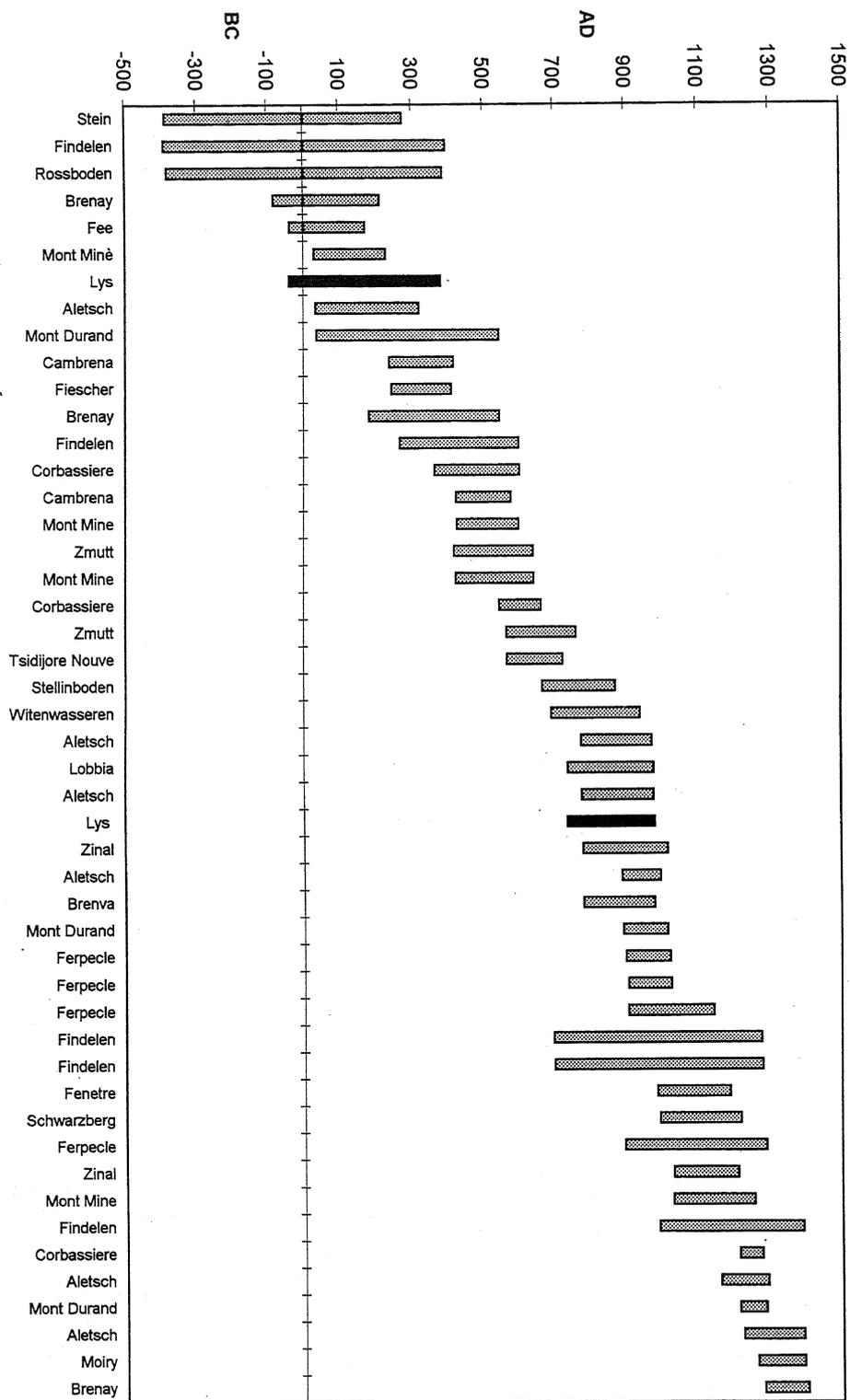


Fig. 3 - Distribuzione degli intervalli delle date <sup>14</sup>C calibrate in età calendario. In nero le date provenienti dalla morena del Ghiacciaio del Lys.  
 Distribution of calibrated <sup>14</sup>C age intervals (black bars refer to the Lys Glacier moraine).

zione *standard*, mentre le date all'interno della parentesi sono le date calendario corrispondenti alla data  $^{14}\text{C}$ .

La porzione di morena sottostante il suolo sepolto è stata pertanto costruita precedentemente al primo secolo d.C. mentre i sedimenti glaciali immediatamente sovrapposti al suolo sepolto sono stati depositi da una avanzata glaciale immediatamente posteriore all'VIII-X secolo d.C.

In entrambi i casi l'imprecisione della datazione in anni calendario è dovuta sia all'approssimazione del metodo del radiocarbonio, sia al fatto che almeno una delle due date cade in uno dei cosiddetti "plateau" della curva di calibrazione, in cui a un'età radiocarbonio pressoché costante per diversi secoli, corrispondono diverse date calendario.

Le date ottenute sono quindi state confrontate con numerose altre date di suoli e tronchi sepolti nelle morene di ghiacciai alpini in analoghe situazioni (King, 1974; Röthlisberger, 1976; Röthlisberger *et al.*, 1980; Porter, 1986; Orombelli in Porter, 1982, Tab.I e Fig. 3). La Figura 3 illustra la distribuzione dell'età di suoli e tronchi sepolti nelle morene alpine dal IV secolo a.C. al XV secolo d.C. Le date qui riportate documentano fasi di sviluppo della vegetazione sulla cresta delle morene o in prossimità di queste e quindi fasi di relativa contrazione dei ghiacciai. A causa dell'ampiezza dell'intervallo di età attribuito ad ogni singolo suolo o reperto organico si ha una distribuzione praticamente continua nel tempo di tali fasi, di non facile interpretazione. Tuttavia si notano intervalli di tempo in cui si addensa un maggior numero di date il che potrebbe indicare fasi generalizzate di contrazione glaciale separate da fasi di avanzata. Questo andamento nella distribuzione delle età è tuttavia anche condizionato dall'andamento irregolare delle curve di calibrazione a sua volta dovuto alle secolari oscillazioni della concentrazione degli isotopi del carbonio nell'atmosfera terrestre (Bradley, 1985).

## RINGRAZIAMENTI

La presente ricerca è stata eseguita durante un lavoro di tesi di laurea e grazie ad una Borsa di Studio di Perfezionamento all'Estero concessa dall'Università degli Studi di Milano; le datazioni sono state effettuate grazie ai finanziamenti di una convenzione ISMES-CNR Milano Centro di Studio per la Geodinamica Alpina e Quaternaria. L'autore ringrazia il Prof. Giuseppe Orombelli per l'indispensabile aiuto in ogni fase del lavoro e la Dott. Manuela Pelfini per i preziosi consigli e la partecipazione al lavoro di campo.

## BIBLIOGRAFIA

- Baroni C. & Carton A., 1990 - *Variazioni glaciali oloceniche nel gruppo del M.te Adamello*. Mem. Soc. Geol. It., **45**, 877-882.
- Bradley R.S., 1985 - *Quaternary paleoclimatology - Methods of paleoclimatic reconstruction*. Chapman & Hall, London.
- Dainelli G., 1911 - *Il ghiacciaio del Lys. Le sue condizioni topografiche e le sue variazioni*. Boll. della Sez. Fiorentina del C.A.I., **5**.
- Grove J., 1988 - *The Little Ice Age*. Metheun ed., London & New York.
- Grove J. & Switsur R., 1994 - *Glaciological evidence for the Medieval Warm Period*. Climatic Change, **26**, 143-169.
- King L., 1974 - *Studien zur postglazialen Gletscher- und Vegetationsgeschichte der Sustenpassgebietes*. Basler Beiträge zur Geographie, H.18, Helbing & Lichtenhahn, Basel, 123 S.
- Monterin U., 1932 - *Le variazioni secolari del clima del Gran San Bernardo: 1918-1931 e le oscillazioni del Ghiacciaio del Lys al Monte Rosa: 1789-1931*. Boll. Com. Glac. It., **12**, serie I.
- Orombelli G. & Porter S., 1982 - *Late Holocene fluctuations of Brenva Glacier*. Geogr. Fis. Din. Quat., **5**, 193-200.
- Porter S., 1986 - *Pattern and forcing of Northern Hemisphere glacier variations during the last millenium*. Quat. Res., **26**, 27-48.
- Röthlisberger F., 1976 - *Gletscher- und Klimaschwankungen im Raum Zermatt, Ferpectle und Arolla*. Die Alpen, **3/4**, 59-152.
- Röthlisberger F., Haas P., Holzauser H., Keller W., Bircher W. & Renner F., 1980 - *Holocene climatic fluctuations - Radiocarbon dating of fossil soils (fAh) and woods from moraines and glaciers in the Alps*. Geographica Helvetica, **35**, 21-52.
- Röthlisberger F. & Schneebeli W., 1979 - *Genesis of lateral moraine complexes demonstrated by fossil soils and trunks: indicator of proglacial fluctuations*. In: Schlüchter C., *Moraines and varves: origin, genesis and classification*, Proc. INQUA Symp. on Genesis and Lithology of Quaternary Deposits, Zürich, 10-20 Sept. 1978, A.A. Balkema, 387-419, Rotterdam.
- Small R.J., 1983 - *Lateral moraines of Glacier Tsidjore Nouve: form, development and implications*. J. Glaciology, **29**, n.102, 275-278.
- Strada E., 1988 - *Le variazioni del ghiacciaio del Lys dalla "Piccola Glaciazione" ai nostri giorni*. Natura Bresciana, Ann. Mus. Civ. St. Nat., **24**, 275-288.
- Stuiver M. & Pearson G.W., 1993 - *Radiocarbon calibration program*. Rev. 3.0.3. Radiocarbon, **35**, 215-230.

Ms. ricevuto: 13 dicembre 1996  
 Inviato all'A. per la revisione: 11 marzo 1997  
 Testo definitivo ricevuto: 8 aprile 1997

Ms received: Dec. 13, 1996  
 Sent to the A. for a revision: March 11, 1997  
 Final text received: April 8, 1997