

I ROCK GLACIER TARDO-PLEISTOCENICI ED OLOCENI DELL'APPENNINO - ETÀ, DISTRIBUZIONE, SIGNIFICATO PALEOCLIMATICO

C. Giraudi

ENEA, CR Casaccia, C.P. 2400, 00100 ROMA A.D.

RIASSUNTO - Sugli Appennini sono stati individuati circa 40 rock glacier, tutti contemporanei o posteriori all'ultimo massimo glaciale. Essi si sono sviluppati in cinque diverse fasi, l'ultima delle quali databile tra circa 3000 e 780±40 anni BP; i rock glacier presenti alle quote inferiori si sono formati nel corso dell'ultimo massimo glaciale (LGM), ma il loro maggiore sviluppo ebbe luogo nelle fasi tardiglaciali. I rock glacier si rinvengono maggiormente su quei massicci caratterizzati, durante l'LGM, da limite delle nevi (ELA) non molto basso: l'intero Appennino Settentrionale ed i massicci che avevano un ELA basso, e che attualmente sono soggetti a precipitazioni molto più elevate, ne sono risultati privi.

Inoltre i rock glacier si sviluppavano per lo più nel corso delle fasi climatiche aride o non molto umide.

Dalla distribuzione areale dei rock glacier si deduce che, durante le fasi finali dell'LGM, nel tardiglaciale e nell'Olocene iniziale, c'è stata, oltre che una migrazione verticale, anche uno spostamento verso Nord del limite della loro area di distribuzione: quindi il limite del permafrost discontinuo montano è passato da 39°55'N a 41°45'N e poi a 42°07'N. In seguito ci fu soltanto una migrazione verticale, in quanto nel tardo olocene i rock glacier hanno potuto svilupparsi solo sulle parti sommitali dei due massicci più elevati.

ABSTRACT - *The Late Pleistocene and Holocene Apennine rock glaciers (Italy) – age, distribution and palaeoclimatic significance.*

Rock glaciers have been found in the Gran Sasso, Greco, Maiella and Velino Massifs and in the Breccioso, Terminillo and Pollino Mountains. The Apennine rock glaciers are inactive, with the exception, perhaps, of a very small rock glacier, which might be active.

The Northern Apennines (Fig. 1) consist of ranges up to 2165 m in height, and are formed mainly by sandstones and arenaceous marls.

During the Last Glacial Maximum (LGM) and its retreat phases, in the Northern Apennines many glaciers existed: the end moraines of such glaciers have been found up to about 700 m a.s.l. The studies show that during the Last Glacial Maximum the equilibrium line altitude (ELA) was between 1300 and 1550 m. No rock glaciers are reported in bibliography. Photogeological and field researches, also, have not led to any results. According to current data, in the Northern Apennines, rock glaciers are lacking.

The highest Central Apennine Massifs (Fig. 1) consist mainly of Mesozoic and Cenozoic carbonatic rocks. In this part of the chain lie the highest massifs of the whole Apennines (Gran Sasso, 2912 m; Maiella, 2793 m; Velino 2486 m; Sibillini, 2476 m).

In the Central Apennines considerable glacial remnants are preserved, and, in particular, the features and deposits dated to the LGM and its retreat phases. The ELA during LGM was between 1500 and 1700 m, in the western portion (Fig. 1), and between 1600 and 2100 m in the central and eastern area.

The majority of the rock glaciers so far mentioned in literature are in the Central Apennines. Photogeological and field surveys have shown, however, that in the western portion of this part of the chain there are no rock glaciers, even in mountain areas higher than 2000 m. In the central and eastern parts, the rock glaciers are found above a minimum height of 1570 m, up to approximately 2550 m. All the rock glaciers have been found in places glaciated during the LGM, namely, mostly in valleys and on slopes facing NW, N and NE. The rock glaciers developed on glacial drift, and they often deform moraine ridges located on the threshold of the cirques.

The rock glaciers least weathered and covered by scanty vegetation, looking younger, develop instead on slope waste deposits. The largest rock glaciers have been found in the Maiella and Velino massifs and are about 1 km long.

The highest peaks of the Southern Apennines are Mt. Pollino (2267 m) and Mt. Sirino (2005 m). They show clear traces of glaciers dating from the LGM and their retreat phases. During the LGM, on Mt. Pollino (latitude 39°55') the equilibrium line altitude was 1800 m, while on M. Sirino it was 1600 m. Only one rock glacier has been found on Mt. Pollino. It overlies the moraine of the early phases of glacial retreat, about 1750 m a.s.l.; it is older than the stadial moraine covered by loess dated 15-16,000 years BP, present also in Central Italy.

The majority of the rock glaciers were formed between 20,000 and 10,000 years BP, when the mean yearly temperatures were still 4 – 6 °C lower than the present ones; however, their geographic distribution gives rise to some important considerations.

In the Northern Apennines, (latitude above 44°N) there are no rock glaciers, while there are some at more southerly latitudes (about 40°N), in mountains of similar elevation. The ELA during the LGM reached definitely lower altitudes (1300-1550 m) than in the Central and Southern Apennines (1500-2100 m); the absence of rock glaciers thus, cannot be due to the temperature, but to the different amount of precipitation.

Even now, the highest areas of the Northern Apennines receive precipitation of between 1500 and 2000 mm/year: the values are far higher than those of the central-southern part of the chain. It is to be assumed that the lack of rock glaciers was caused by the abundant snow precipitation which insulated the ground against frost penetration, and not by temperature differences.

In the Apennine chain, about 40 rock glaciers dated to the last 20,000 years have been identified. They developed in five phases, the last one between 3000 and 780±40 years BP; the rock glaciers found at lower height were formed during the LGM, but the majority formed during the Late Glacial phases.

Rock glaciers have been found mainly on massifs with a higher ELA-LGM and a present lower precipitation rate; in the whole Northern Apennines and on the massifs with a lower ELA (currently having a higher precipitation rate) rock glaciers are lacking. Moreover, the rock glaciers developed mainly during the dryer periods or in places where precipitation were not very great.

The geographical distribution of the rock glaciers, corresponding to the boundary of the areas with mountain permafrost, suggests that, during the final phases of the LGM period, in the Late Glacial and in the early Holocene, there was also an altitude and latitude shift with a reduction of this boundary, following the temperature increase. From the altitude of 1570/1600 m, the boundary of discontinuous mountain permafrost rose to 2300/2500 m during the late Holocene, and it is now even higher. About the time of the latitude shift, the boundary migrated northwards, from 39°55'N to 41°45'N and later to 42°07'N.

Parole chiave: rock glacier, Appennino, Ultimo Massimo Glaciale, Olocene, paleoclima.

Key words: rock glacier, Apennine, Last Glacial Maximum, Holocene, paleoclimate.

INTRODUZIONE

La presenza di rock glacier in Appennino (fig. 1) venne segnalata per la prima volta sul massiccio Gran Sasso (m 2912, massima elevazione dell'Appennino) da Giraudi (1988). In seguito ne fu segnalata la presenza in altre zone del Gran Sasso, sui massicci del M. Greco, della Maiella e del Velino, sui Monti Breccioso, Terminillo, Pollino (Ghisetti & Vezzani, 1990; Damiani e Pannuzi 1993; Dramis e Kotarba, 1994; Jaurand, 1994; Giraudi, 1996, 1997b; 1998a,b,c,d; Giraudi & Frezzotti, 1997).

Ad eccezione, forse, di un rock glacier di dimensioni estremamente ridotte, che potrebbe essere attivo (Dramis & Kotarba, 1994), gli altri segnalati in letteratura e quelli rinvenuti nel corso del presente studio non mostrano segni di attività.

I resti dei rock glacier sono generalmente ben conservati; si trovano infatti su montagne costituite prevalentemente da rocce carbonatiche meso-cenozoiche, soggette a carsismo: l'erosione superficiale è stata perciò limitata a causa dell'estrema riduzione del runoff.

Nel corso del presente lavoro vengono riportati i risultati di una ricerca svolta sull'intera catena appenninica, basata su indagini fotogeologiche, di campagna e ricerche bibliografiche.

Lo studio dei rock glacier relitti dell'Appennino è stato svolto al fine di ottenere indicazioni sull'evoluzione ambientale e paleoclimatica dell'area, in quanto la presenza di permafrost e le variazioni del suo limite di distribuzione nel corso del tempo possono servire a valutare l'evoluzione della temperatura dall'Ultimo Massimo Glaciale (LGM) fino all'attuale. Inoltre la datazione dei rock glacier permette la correlazione con eventi indicati da altri proxy-data e può servire a definire meglio le condizioni che hanno favorito lo sviluppo del permafrost.

METODOLOGIA

I rock glacier oggetto del presente lavoro sono situati su fondi vallivi e nell'ambito dei circhi glaciali, altri sono situati lungo i fianchi vallivi, alla base di accumuli

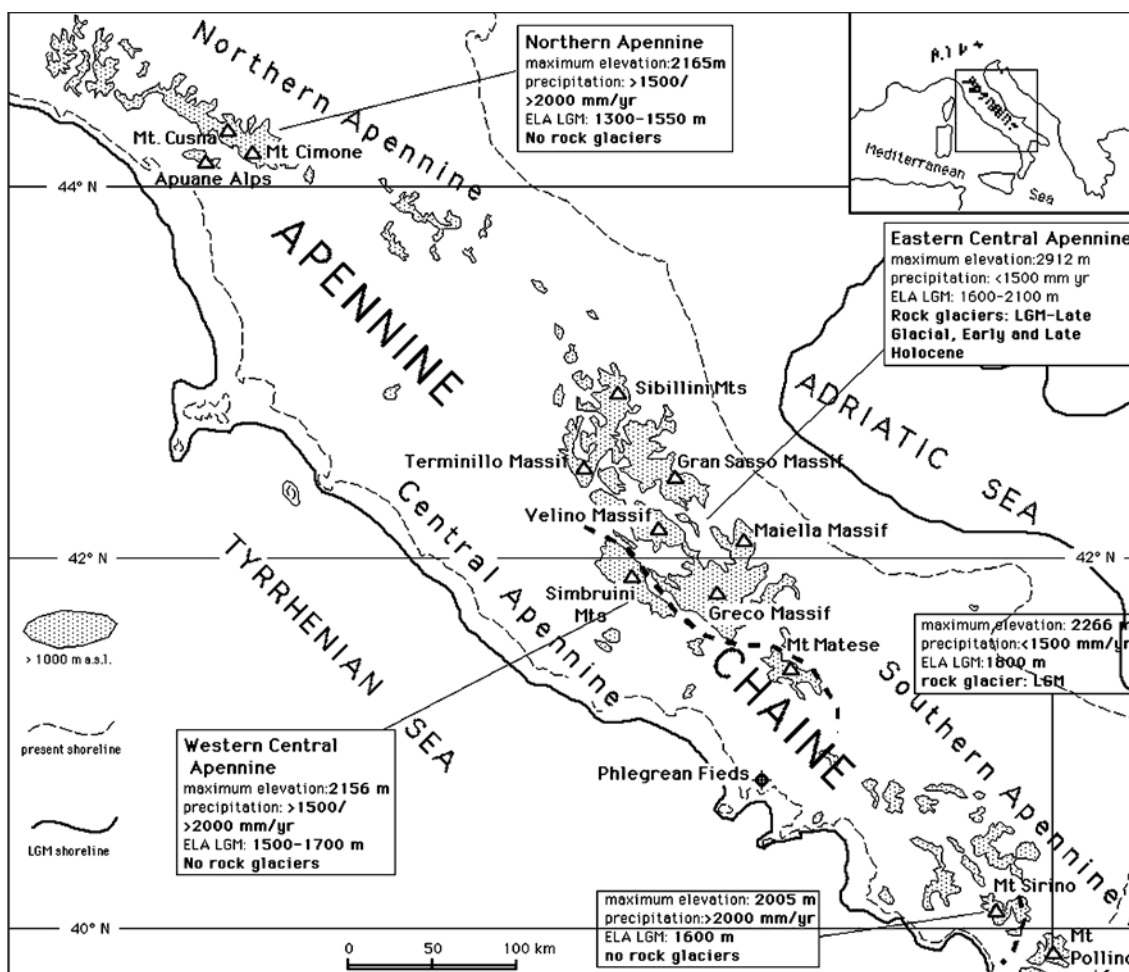


Fig. 1 - Carta schematica dell'Appennino con indicazioni sulla quota della linea delle nevi nel corso dell'ultimo massimo glaciale e la distribuzione dei rock glacier.

Schematic map of the Apennine Chain, altitude of the Equilibrium Line Altitude during LGM, distribution of rock glaciers.

Legend: 1=area >1000 m a.s.l.; 2=present shore line; 3=LGM shore line.

di detrito di falda. Il loro riconoscimento da parte degli Autori elencati in precedenza è avvenuto su base morfologica.

In generale, per quel che riguarda i rock glacier attivi vi sono diversi metodi di classificazione ancora oggetto di discussione: secondo Hamilton & Whalley (1995) la classificazione può essere basata su diversi parametri, alcuni possono essere misurati e quantificati, altri possono solo essere dedotti. Detti parametri includono la morfologia, la dinamica, i processi di formazione, la posizione, le caratteristiche interne, il regime termico e l'età.

La classificazione implica una interpretazione genetica che può essere soggettiva anche sui rock glacier attivi che possono essere studiati con vari metodi.

Poiché nel presente lavoro vengono presi in considerazione rock glacier inattivi, in parte modificati dall'alterazione e dell'erosione, appare difficile procedere ad una adeguata classificazione degli stessi e definirne l'origine: si provvederà quindi a fornire le informazioni disponibili senza introdurre classificazioni e distinzione di origine, tenendo conto però che la maggior parte dei rock glacier ed i più grandi tra questi, si sviluppano su detrito di falda, come segnalato da Dramis & Kotarba (1994).

I rock glacier dell'Appennino sono situati, con rare eccezioni, in aree occupate dai ghiacciai nel corso dell'LGM, in valli rivolte verso i quadranti settentrionali. Le differenze di quota tra i diversi rock glacier di età analoga posti sullo stesso massiccio sono da attribuire a fattori legati alla esposizione ed alla morfologia delle valli. Sui massicci ubicati a varie distanze dal mare ed a differente latitudine, le quote alle quali sono presenti i rock glacier possono essere determinate dalle caratteristiche regionali del clima e dalle variazioni latitudinali di temperatura causate dal diverso grado di insolazione.

I ROCK GLACIER DELL'APPENNINO

La porzione di catena Appenninica presa in considerazione è compresa tra circa 39°50' N e 44°20'N: è stata esclusa dal lavoro l'estrema porzione meridionale che, per latitudine e quota dei rilievi, non sembra adatta allo sviluppo di rock glacier nel tardo Pleistocene e nell'Olocene.

APPENNINO SETTENTRIONALE

L'Appennino Settentrionale (Fig. 1) è formato da rilievi che possono arrivare a 2165 m di quota, litologicamente costituiti in prevalenza da arenarie e marne arenacee.

Nel corso dell'ultimo massimo glaciale (LGM) e delle sue fasi di ritiro, erano presenti molti ghiacciai, per lo più in valli rivolte verso i quadranti settentrionali: gli apparati morenici frontali di tali ghiacciai sono stati rinvenuti fino a circa 700 m di quota. Gli studi condotti da vari Autori (Federici, 1981; Gruppo Ricerca Geomorfologia, 1982; Federici & Tellini, 1983; Braschi *et al.*, 1985; Jaurand, 1994) indicano che durante l'LGM il limite delle nevi (ELA) era a quote comprese tra 1300 e 1550 m.

Nessun rock glacier risulta segnalato in bibliografia. Anche le ricerche fotogeologiche e di campagna

hanno dato risultati negativi.

Il grado di conservazione delle forme glaciali nell'Appennino Settentrionale è, generalmente, inferiore rispetto a quelle dell'Appennino Centrale. quindi non si può escludere del tutto che sia esistito qualche rock glacier, ora scomparso a causa del rimodellamento, ma una loro diffusa presenza appare improbabile.

APPENNINO CENTRALE

I maggiori massicci dell'Appennino Centrale (Fig. 1) sono costituiti prevalentemente da rocce carbonatiche meso-cenozoiche. In questa parte della catena sono presenti anche i più alti massicci di tutto l'Appennino (Gran Sasso, 2912 m; Maiella, 2793 m; Velino 2486 m; M. Sibillini, 2476 m).

Nella porzione più elevata del massiccio del Gran Sasso esiste il piccolo Ghiacciaio del Calderone, in via di forte riduzione (Smiraglia & Veggetti, 1992; Gellatly *et al.*, 1994), e le aree sommitali dei massicci principali sono caratterizzate da fenomeni periglaciali quali crioclastismo, soliflussioni. Solo sui Massicci del Gran Sasso e della Maiella sono presenti *pattered ground* caratterizzati da *sorted stripes*, poco diffusi a partire da circa 2400 m sul primo massiccio, molto estesi a partire da circa 2600 m sul secondo (Sacco, 1908; Giraudi, 2001).

Le montagne dell'Appennino Centrale presentano notevoli resti glaciali, databili per lo più all'ultimo massimo glaciale (LGM) e alle sue fasi di ritiro. In base ai lavori più recenti (Damiani & Pannuzi, 1979; Federici, 1979; Jaurand, 1994; Giraudi & Frezzotti, 1997; Giraudi, 1997b; 1998a,b,c,d) il limite nivale durante l'LGM era compreso tra 1500 e 1700 m nella porzione occidentale (Fig. 1) e tra 1600 e 2100 m nel resto dell'area.

Secondo Giraudi & Frezzotti (1997) la massima espansione glaciale venne raggiunta prima di 22.680±630 anni BP; il ritiro glaciale iniziò attorno a 21.000 anni BP. Minori espansioni si ebbero poco prima di 15.000 anni BP e attorno a 11.000 anni BP.

Nell'Olocene i ghiacciai sparirono del tutto; il ghiacciaio del Calderone si riformò in un periodo più recente di circa 4000 anni BP (Giraudi, 2000).

La maggior parte dei rock glacier finora segnalati in letteratura si trova nell'Appennino Centrale, su versanti con esposizione verso i quadranti settentrionali; in rarissimi casi si trovano su versanti rivolti a Sud, come a Campo Imperatore (Giraudi & Frezzotti, 1997).

Le ricerche fotogeologiche e di campagna hanno mostrato però che nella porzione occidentale di questo tratto di catena, anche quando vi sono monti di altezza superiore a 2000 m, non sono presenti rock glacier.

Nel resto dell'area, i rock glacier si trovano a partire da una quota minima di 1570 m, fino a circa 2550 m.

I rock glacier ed i fenomeni periglaciali attivi si trovano tutti in zone occupate dai ghiacciai nel corso dell'LGM.

Molti rock glacier si sviluppano a spese del detrito di origine glaciale, e spesso deformano depositi glaciali posti sulla soglia dei circhi; in vari casi il flusso non è diretto verso valle, ma verso la depressione dei circhi.

Le forme meno alterate e con scarsa copertura vegetale, di aspetto più fresco, si sviluppano, invece, a spese del detrito di versante.

Per quel che riguarda le dimensioni, i rock glacier

più estesi si trovano sui Massicci della Maiella e del Velino e raggiungono lunghezze di circa 1 km.

APPENNINO MERIDIONALE

I monti più elevati dell'Appennino Meridionale sono il Pollino (2267 m) ed il Sirino (2005 m), e conservano evidenti tracce dei ghiacciai dell'LGM e delle fasi di ritiro. Durante l'LGM, sul M. Pollino (latitudine 39°55') l'ELA era a 1800 m, mentre sul M. Sirino era a 1600 m (Palmentola & Acquafredda, 1983; Palmentola et al., 1990; Jaurand, 1994; Giraudi, 1998d). Un solo rock glacier è stato identificato sul M. Pollino in un versante esposto a Nord.

DATAZIONE DEI ROCK GLACIER

La datazione delle fasi di sviluppo dei rock glacier è stata ottenuta sia in base ai rapporti tra questi e le morene dell'LGM e stadiali di età nota, sia attraverso lo studio dei depositi e dei suoli che li coprono e si riferiscono all'Appennino Centrale e Meridionale.

Su alcuni cordoni di rock glacier sono stati eseguiti piccoli scavi o, specialmente nelle depressioni riempite da materiali fini, sondaggi mediante trivella a mano profondi fino a 4 m: sono stati in tal modo rinvenuti sedimenti eolici, livelli di tephra, suoli sepolti, sedimenti lacustri. Lo studio di tali depositi, che, non essendo deformati debbono essere stati messi in posto quando il rock glacier non era più dinamicamente attivo, ha permesso la datazione delle fasi di sviluppo dei rock glacier.

A proposito del significato delle datazioni di seguito esposte, occorre evidenziare che esse potrebbero indicare solo la fine dell'attività dinamica dei rock glacier e non la scomparsa effettiva del permafrost; questo potrebbe essere rimasto presente tra il detrito per periodi di tempo attualmente non determinabili.

I Fase

I rock glacier di questa fase, sono situati alle quote inferiori (i più bassi a 1570÷1600m); interessano le morene formatesi nelle prime fasi di ritiro dei ghiacciai dell'LGM. L'inizio del ritiro glaciale è databile a circa 21.000 anni BP Giraudi & Frezzotti (1997). Altri rock glacier sono posti a quote leggermente più elevate (da 1650 a 1750/1800) ma sempre a ridosso delle morene delle prime fasi di ritiro. Nelle depressioni presenti su alcuni di questi è stato rinvenuto un loess ricco in quarzo databile a 15÷16.000 anni fa (Frezzotti & Giraudi, 1991; Giraudi, 1998b) che copre anche le morene dell'LGM, ma non quelle tardiglaciali (Giraudi, 1997a). Lo sviluppo di questi rock glacier può essere durato al massimo 5000÷6000 anni.

II Fase

I rock glacier di questa fase, i più numerosi, possono essere contemporanei o successivi ad alcune morene tardiglaciali; si possono trovare a varie quote, al di sopra di 1750/1800 m, sia in alcuni circhi glaciali, sia al di fuori. In alcune depressioni, i sondaggi a mano condotti nell'ambito del presente studio hanno portato alla individuazione di un tephra, molto diffuso nell'area, e di un andosuolo su esso sviluppato. Il tephra è attribuito, in base alla sua composizione mineralogica, all'e-

ruzione del Tufo Giallo Napoletano (Frezzotti & Narcisi, 1996). L'eruzione avvenne circa 12.300±300 anni BP (Alessio et al., 1973) nei Campi Flegrei (Campania). La II fase è quindi più recente delle morene formate da ghiacciai con un ELA superiore di 200÷280 m rispetto a quella dell'LGM, messe in posto prima della sedimentazione del loess ricco di quarzo, e più antica di circa 12.300 anni BP. Lo sviluppo dei rock glacier di tale fase può essere durato 4000-5000 anni.

III Fase

I rock glacier di questa fase, sono collocati nei circhi glaciali e nelle alte valli, al di sopra dei 1900 m.

Sono molto meno alterati e vegetati di quelli della II fase, non sono più coperti dal tephra e dall'andosuolo, e i loro depositi basali possono coprire o essere incasati nelle morene coperte da questi. In una depressione presente su un rock glacier di questa fase è stato trovato un deposito lacustre, datato, alla base, 8035±140 anni (data convenzionale) BP col metodo del radiocarbonio (Giraudi & Frezzotti, 1997).

Lo sviluppo dei rock glacier deve essere successivo al tephra databile a circa 12.000 anni BP; si ritiene, quindi, che tale fase di sviluppo coincida con il Younger Dryas.

L'attività di tali rock glacier può essere durata circa 3000 anni.

Almeno un rock glacier di questa fase coinvolge solo morene databili a circa 14.000 anni fa, ma non è coperto dal tephra o dall'andosuolo: potrebbe essere un rock glacier sviluppatosi nella II fase, ma rimasto attivo anche nel corso della terza, quindi per un periodo di tempo valutabile a 6000 anni.

IV Fase

I rock glacier di questa fase si trovano a quote superiori a circa 2000 m, nelle alte valli e nei circhi glaciali.

Non vi sono elementi stratigrafici chiari per distinguerli da quelli della III fase, ma sono nettamente meno vegetati, perché il suolo superficiale è molto pietroso, e si trovano a quote maggiori.

Scavando nel deposito, si rinvenivano le tracce di un suolo limoso, scomparso dalla superficie, che è stato datato col metodo radiocarbonio AMS ed ha fornito un'età convenzionale di 3180±40 anni BP (Beta -145529). Il suolo è formato in parte da minerali vulcanici, ma non è un andosuolo come quello sviluppatosi sul tephra del Tufo Giallo Napoletano. I minerali provengono da un livello di tephra, non ancora adeguatamente studiato in quanto sottile, mal conservato e fortemente alterato. Tale tephra viene chiamato "Duchessa", dal nome della montagna sul quale è stato rinvenuto e datato per la prima volta, e copre suoli datati 4390±50 (Beta 117017), 4220±80 (Beta 106450) e 4020±70 (Beta 111004) anni BP.

La IV fase è quindi più antica di circa 4000 anni BP, e dovrebbe essere più recente del Younger Dryas, ma non è chiaro quale sia la sua età reale all'interno di tale lungo intervallo di tempo. Non si può escludere che questi rock glacier (o alcuni di essi) si siano sviluppati nella fase precedente ma siano rimasti attivi fino a circa 4000 anni BP. Il loro sviluppo potrebbe essere durato

quindi 6000-7000 anni BP.

V fase

I rock glacier di questa fase sono rarissimi, molto piccoli, e si rinvencono a quote superiori a 2270 m: giacciono nelle parte superiori di circhi glaciali, esposti a N e NE, dominati da pareti molto ripide, in zone dove la copertura vegetale è quasi assente.

Scavando nel deposito, si rinvencono le tracce di un suolo limoso senza minerali vulcanici, scomparso dalla superficie. Uno di questi suoli, datato col metodo radiocarbonio-AMS ha fornito una età di 780 ± 40 anni BP (Beta-145530). Lo sviluppo di tale fase è quindi databile tra circa 3180 ± 40 e 780 ± 40 anni BP, in quanto neanche i detriti sui quali si sviluppano sono coperti dal suolo su vulcanico che ha fornito la più antica delle due date (vedasi paragrafo precedente). Lo sviluppo dei rock glacier di questa fase può essere durato al massimo attorno ai 2000 anni.

Mancando ancora studi dettagliati, non è possibile stabilire se il rock glacier che secondo Dramis & Kotarba (1994) potrebbe essere attivo, sia da attribuire alla V fase o si sia sviluppato in seguito.

Lo schema cronologico per la datazione delle cinque fasi di sviluppo dei rock glacier è rappresentato in Fig. 2.

DISCUSSIONE

La maggior parte dei rock glacier si formò tra 20.000 e 10.000 anni BP, quando le temperature erano ancora nettamente inferiori alle attuali (Giraudi & Frezzotti, 1997), tuttavia la loro distribuzione areale suggerisce alcune importanti considerazioni.

- Nell'Appennino Settentrionale, (latitudine superiore a 44°N) non sono stati rinvenuti rock glacier, presenti invece a latitudini più meridionali (circa 40°), su montagne di elevazione paragonabile. L'ELA durante l'LGM era a quote nettamente inferiori ($1300 \div 1550$ m) rispetto a quella del resto dell'Appennino ($1550 \div 2100$ m). Poiché nell'Appennino Settentrionale, a causa della vicinanza della calotta alpina e del gradiente latitudinale, la temperatura doveva essere un po' minore rispetto a quella dell'Appennino Centro-Meridionale, l'assenza dei rock glacier deve essere imputata alla diversa quantità di precipitazioni. Anche attualmente, le aree più elevate dell'Appennino Settentrionale ricevono precipitazioni superiori a 1500 mm/anno e in alcuni casi a 2000 mm/anno (Ministero dei Lavori Pubblici, 1968): i valori sono molto più elevati rispetto a quelli della maggior parte della porzione centro-meridionale della catena. Si ipotizza che l'assenza di rock glacier sia stata causata dalle abbondanti precipitazioni nevose che proteggeva-

	Apennine Massifs and rock glaciers phases	rock glaciers altitude m a.s.l.	southern- most latitude	chronological and stratigraphical framework
0	Maiella?	2550		780 ± 40
2000	5th Phase - Gran Sasso, Maiella	2270 2450	$42^\circ 07' \text{ N}$	3180 ± 40
4000				Duchessa Tephra
6000	4th Phase - Gran Sasso, Maiella, Velino	1950 2350	$42^\circ 07' \text{ N}$	
8000				8035 ± 140
10,000	3rd Phase - Gran Sasso, Greco, Maiella, Velino	1900 2250	$41^\circ 45' \text{ N}$	
12,000				Neapolitan Yellow Tuff Tephra
14,000	2nd Phase - Gran Sasso, Greco, Maiella, Sibillini, Velino	1800 2125	$41^\circ 45' \text{ N}$	
16,000				quartz-rich loess
18,000	1st Phase - Breccioso, Gran Sasso, Pollino, Terminillo, Velino	1600 1840	$39^\circ 55' \text{ N}$	
20,000				

Fig. 2 - Distribuzione, inquadramento cronologico, altitudine e latitudine dei rock glacier dell'Appennino.
Distribution, chronological framework, altitude and latitude of the Apennine rock glaciers.

no il suolo dalla penetrazione del gelo.

- Nell'Appennino Centrale, la porzione occidentale risulta priva di rock glacier; i resti glaciali indicano che in tale zona l'ELA durante l'LGM era più bassa (1550÷1700 m) rispetto al resto (1600÷2100 m). Non si possono invocare differenze di temperatura dovute alla latitudine. Per quel che riguarda la possibile influenza del mare sul clima locale, si può ipotizzare che il mare Tirreno mitigasse le temperature della porzione occidentale, mentre il mare Adriatico, che in periodo glaciale aveva un'estensione molto più ridotta dell'attuale (Fig. 1) non poteva fare altrettanto sulla porzione orientale della catena. Questa doveva risultare, quindi, più fredda. La bassa quota di ELA nella porzione occidentale, deve essere stata causata dalle maggiori precipitazioni. Anche attualmente (Ministero dei Lavori Pubblici, 1968) nelle zone più elevate della porzione occidentale le precipitazioni (> di 1500 e per alcune zone > di 2000 mm/anno) superano abbondantemente quelle del resto dell'Appennino Centrale (< 1500 mm/anno).

Anche in questo caso l'assenza di rock glacier potrebbe essere stata causata dalle abbondanti precipitazioni nevose che proteggevano il suolo dalla penetrazione del gelo.

- Nell'Appennino Meridionale, si nota che non vi sono rock glacier nel massiccio (M. Sirino) che aveva l'ELA più basso (1600 m) durante l'LGM e che anche attualmente (Ministero dei Lavori Pubblici, 1968) ha una elevata piovosità (>2000 mm/anno). Un rock glacier è presente invece sul M. Pollino, il più meridionale dei due massicci, che aveva un ELA durante l'LGM a 1800 m e che attualmente riceve una quantità di precipitazioni <1500 mm/anno (Ministero dei Lavori Pubblici, 1968):.

- La quota minima alla quale si trovano i rock glacier nell'Appennino Centrale è inferiore di 80 m rispetto a quella dell'Appennino Meridionale. Anche se dal punto di vista statistico questo dato potrebbe non essere significativo, non si può escludere che tale differenza possa essere dovuta al gradiente latitudinale di temperatura, visto che in entrambe le zone i rock glacier giacciono prevalentemente su versanti esposti verso i quadranti settentrionali.

Considerando l'importanza dell'entità delle precipitazioni nella distribuzione geografica dei rock glacier, si è provato a vedere se l'influenza dell'umidità è stata importante nel corso di tutto il periodo di tempo esaminato.

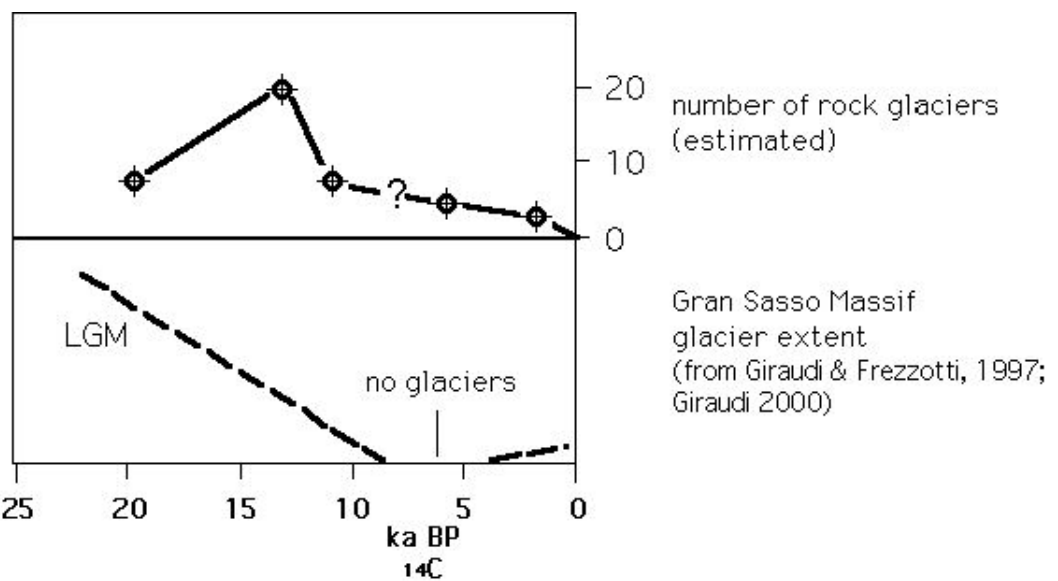


Fig. 4 - Confronto tra lo sviluppo dei rock glacier e l'estensione dei ghiacciai dell'Appennino. Comparison between rock glaciers development and the Apennine glacier extent.

Per valutare le variazioni di umidità nell'Appennino Centrale è stata presa in considerazione la curva delle oscillazioni di livello del Lago Fucino, posto al centro dell'area in esame. Il lago Fucino, bonificato nel XIX secolo, era un lago senza emissario, soggetto a forti variazioni di livello dovute a cause climatiche (Giraudi, 1998e).

Si assume che il bilancio idrologico del lago sia

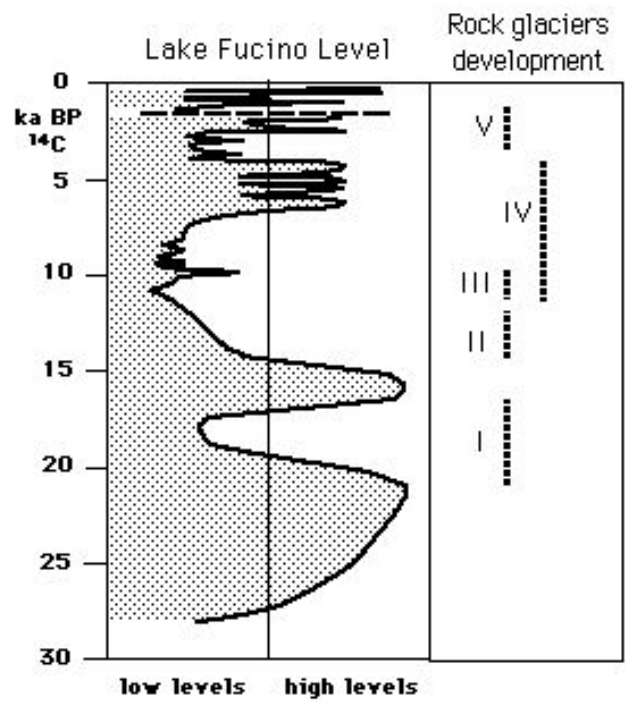


Fig. 3 - Confronto tra le oscillazioni di livello del lago del Fucino e le fasi di sviluppo dei rock glacier. Comparison between the Lake Fucino oscillations and the age of the phases of rock glaciers development.

indicativo delle variazioni di umidità nella zona.

In fig. 3 è riportata, insieme alla curva delle oscillazioni di livello del lago, la distribuzione temporale delle fasi di sviluppo dei rock glacier.

E' possibile dedurre che:

- le prime tre fasi si verificano in corrispondenza di periodi di basso livello lacustre, quindi di scarsa umidità;

- la IV fase, di durata mal determinabile, potrebbe essere contemporanea sia a periodi di livello del lago basso che medio-alto;

- la V fase corrisponde ad un periodo di forti oscillazioni di breve durata: anche in questo caso la risoluzione temporale non è abbastanza dettagliata da permettere una correlazione più precisa; un dato solo è certo, che questa fase è precedente al periodo di massima umidità, corrispondente alla Piccola Età Glaciale.

Nel complesso si può assumere che le varie fasi di sviluppo dei rock glacier siano identificabili con i periodi più aridi degli ultimi 20.000 anni o, almeno, non coincidano con i più umidi. Il numero di rock glacier per ciascuno di tali periodi è invece funzione della temperatura, essendo molto più abbondanti nel corso dell'LGM e del Tardiglaciale.

Altre informazioni derivano dal confronto tra le fasi di sviluppo dei rock glacier e le fasi glaciali. Schematizzando (Fig. 4) le modifiche dell'estensione dei ghiacciai nell'Appennino Centrale e paragonandole al numero approssimato di rock glacier, si nota che il numero tendeva a salire mentre i ghiacciai si riducevano. Al contrario, nell'Olocene, vi erano rock glacier quando i ghiacciai erano assenti: il loro numero si ridusse però quando il ghiacciaio del Calderone si riformò (a partire da circa 4000 anni BP) e si espanse.

Potrebbe esserci una contrapposizione tra fasi di sviluppo dei ghiacciai e dei rock glacier.

CONCLUSIONE

Nella catena Appenninica sono presenti circa 40 rock glacier databili agli ultimi 20.000 anni, sviluppati in cinque diverse fasi, l'ultima delle quali tra circa 3000 e 780±40 anni BP; nel corso dell'LGM si formarono i rock glacier alle quote inferiori, il maggiore sviluppo si ebbe nelle fasi tardiglaciali.

I rock glacier si sono sviluppati maggiormente su quei massicci caratterizzati da un ELA durante l'LGM non molto bassa: l'intero Appennino Settentrionale ed i massicci che avevano un ELA basso, e che attualmente sono soggetti a precipitazioni molto più elevate, ne sono risultati privi.

Inoltre i rock glacier si sviluppavano per lo più nel corso delle fasi climatiche aride o non molto umide.

Dalla distribuzione areale dei rock glacier si deduce che, durante le fasi finali dell'LGM, nel Tardiglaciale e nell'Olocene iniziale, c'è stata, oltre che una migrazione verticale, anche uno spostamento verso Nord del limite della loro area di distribuzione: quindi il limite del permafrost montano è passato da 39°55'N a 41°45'N e poi a 42°07'N. In seguito ci fu soltanto una migrazione verticale, in quanto nel tardo olocene i rock glacier hanno potuto svilupparsi solo sulle parti sommitali dei due massicci più elevati.

REFERENCES

- Alessio M., Bella F., Improta S., Cortesi C. & Turi B. (1973) - *University of Rome carbon -14 dates, IX*. Radiocarbon, 15, 165-178.
- Boenzi F. & Palmentola G. (1971) - *Tracce della glaciazione würmiana sul Massiccio del Pollino al confine Calabro-Lucano*. Boll. Soc. Geol. It., 90, 139-150.
- Braschi S., Del Freato P. & Trevisan L. (1986) - *Ricostruzione degli antichi ghiacciai sulle Alpi Apuane*. Atti Società Toscana di Scienze Naturali, ser. A, 93, 203-219.
- Damiani A.V. & Pannuzi L. (1979) - *La glaciazione würmiana nell'Appennino laziale-abruzzese (5) : I ghiacciai dei M. Simbruini (Campo Ceraso, Valle Monazzone, Fiumata, Valle Granara) e considerazioni di tettonica recente*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 38, 215-250.
- Damiani A.V. & Pannuzi L. (1993) - *La glaciazione pleistocenica nell'Appennino Laziale-Abruzzese. Nota VI: i ghiacciai del Gruppo del M. Greco e considerazioni di tettonica recente*. Boll. Serv. Geol. d'It., CX, 111-158.
- Dramis F. & Kotarba A. (1994) - *Geomorphological evidences of high mountain permafrost in Central Apennine*. Geogr. Fis. Din. Quat., 17, 29-36.
- Federici P.R. (1979) - *Una ipotesi di cronologia glaciale wurmiana, tardo e post-wurmiana nell'Appennino Centrale*. Geogr. Fis. Din. Quat., 2, 196-202.
- Federici P.R. (1981) - *The quaternary glaciation on the seaward side of the Apuan Alps*. Rivista Geografica Italiana, 88 (2), 183-199.
- Federici P.R. & Tellini C. (1983) - *La geomorfologia dell'alta Val Parma (Appennino Settentrionale)*. Rivista Geografica Italiana, 90 (3-4), 393-428.
- Fiucci A., Gigante B., Rossi C., Smiraglia C. & Veggetti O. (1997) - *The Calderone Glacier (Gran Sasso d'Italia). Determination of ice thickness and bedrock morphology by means of radio-echo sounding*. Geogr. Fis. Din. Quat., 20, 305-308.
- Frezzotti M. & Giraudi C. (1990) - *Late Glacial and Holocene aeolian deposits and features near Roccaraso (Abruzzo, Central Italy)*. Quaternary International, 5, 89-95.
- Frezzotti M. & Narcisi B. (1996). *Late Quaternary tephra-derived paleosols in Central Italy's carbonate Apennine range: stratigraphical and paleoclimatological implications*. Quaternary International 34-36, 147-153.
- Gellatly A.F., Smiraglia C., Grove J.M. and Latham R. (1994). *Recent variations of Ghiacciaio del Calderone, Abruzzi, Italy*. Journal of Glaciology, 40, 486-490.
- Ghisetti F. and Vezzani L. (1990). *Carta Geologica del Gran Sasso d'Italia (da Vado di Como al Passo delle Capannelle)*. Cartografia S.EL.CA., Firenze.
- Giraudi C. (1988) - *Segnalazione di scarpate di faglia post-glaciali nel massiccio del Gran Sasso (Abruzzo): implicazioni tettoniche, rapporti tra tettonica recente e morfologia, paleosismicità*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 627-635.
- Giraudi C. (1996) - *L'impronta del "Younger Dryas" e degli "Heinrich Events" nell'evoluzione climatica e ambientale dell'Italia Centrale*. Il Quaternario, 9(2), 533-540.

- Giraudi C. (1997a) - *Dating and correlation of glacial deposits using tephra layers and loess: the example of M. Matese (Campania-Molise) Southern Italy*. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, XXXI, 45-56.
- Giraudi C. (1997b) - *Prima segnalazione dell'apparato glaciale del M. Breccioso (Val Roveto - Abruzzo): un contributo all'inquadramento cronologico delle fasi glaciali tardo-pleistoceniche*. *Il Quaternario*, 10(2), 201-206.
- Giraudi C. (1998a) - *Il glacialismo tardo-pleistocenico del Massiccio del Terminillo (Lazio - Appennino Centrale)*. *Il Quaternario*, 11 (1), 121-125.
- Giraudi C. (1998b) - *The Late Quaternary geologic evolution of Campo Felice (Abruzzo - Central Italy)*. *Giornale di Geologia*, sez. 3, 60, 67-82.
- Giraudi C. (1998c) - *Nuovi dati sul glacialismo della Montagna della Maiella (Abruzzo-Italia Centrale)*. *Il Quaternario*, 11(2), 265-271.
- Giraudi C. (1998d) - *La deglaciazione tardopleistocenica sui M. Sirino e Pollino (Basilicata, Calabria-Italia Meridionale)*. *Il Quaternario*, 11(2), 247-254.
- Giraudi C. (1998e) - *Late pleistocene and Holocene lake level variations in Fucino Lake (Abruzzo - Central Italy) inferred from geological, archaeological and historical data*. *ESF Workshop "Palaeohydrology as reflected in lake-level changes as climatic evidence for Holocene times"*. *Palaoklimaforschung-Palaeoclimate Research*, **25**, 1-18, Gustav Fisher Verlag Ed.
- Giraudi C. (2000) - *Le oscillazioni oloceniche del ghiacciaio del Calderone, Gran Sasso d'Italia (Abruzzo - Italia)*. *Il Quaternario*, 13(1/2), 31-38.
- Giraudi C. (in press) - *Segnalazione di suoli a strisce parallele (sorted stripes) sul Gran Sasso d'Italia (Abruzzo)*. *Il Quaternario*.
- Giraudi C. & Frezzotti M. (1997) - *Late Pleistocene glacial events in the Central Apennine, Italy*. *Quaternary Research*, 48 (3), 280-290.
- Gruppo Ricerca Geomorfologia C.N.R. (1982) - *Geomorfologia del territorio di Febbio tra il M. Cusna e il F. Secchia (Appennino emiliano)*. *Geogr.Fis. Din. Quat.*, 5, 285-360.
- Hamilton S.J. & Whalley W.B. (1995) - *Rock glacier nomenclature: A reassessment*. *Geomorphology*, 14, 73-80.
- Jaurand E. (1994) - *Les heritages glaciaire de l'Apennin*. Thèse pour le Doctorat dès Lettres de l'Université de Paris I Panthéon-Sorbonne. 600 pp.
- Ministero dei Lavori Pubblici (1968) - *Carta della precipitazione media annua in Italia per il trentennio 1921-1950*. Consiglio Superiore Servizio Idrografico, Pubbl. n. 24 (14).
- Palmentola G. & Acquafredda P. (1983) - *Gli effetti dei ghiacciai quaternari sulla Montagna del Matese, al confine Molisano-Campano*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, **6**, 117-130.
- Palmentola G., Acquafredda P. & Fiore S. (1990) - *A new correlation of the glacial moraines in the Southern Apennines, Italy*. *Geomorphology*, 3, 1-8.
- Sacco F. (1908) - *Glacialismo ed erosione nella Majella*. *Atti Soc. It. Sc. Nat.*, **47**, 269-280.
- Smiraglia C. & Veggetti O. (1992) - *Recenti osservazioni sul Ghiacciaio del Calderone (Gran Sasso d'Italia-Abruzzo)*. *Boll. Soc. Geogr. It.*, ser.XI, **4**, 269-302.

Ms. ricevuto il 6 novembre 2001
 Testo definitivo ricevuto il 19 marzo 2002

Ms. received: November 6, 2001
 Final text received: March 19, 2002