

BODO DAMM (*)

L'EVOLUZIONE DEI GHIACCIAI, DEL PAESAGGIO E DEL CLIMA NEI MONTI DI TURES (ALTO ADIGE) DAL TARDIGLACIALE

ABSTRACT: DAMM B., *Glaciers, landscape and climate evolution in the Mountains of Tausers (South Tyrol) since the Lateglacial.* (IT ISSN 0391-9838, 1999).

Main results of a study of the history of glaciers, landscape and climate since the Lateglacial in the Rieserferner Mountains (Mountains of Tausers, 46°55'N/12°07'E) are briefly presented. The research work carried out since several years is based on geomorphological and dendrochronological methods and investigations in botanical geography.

In the course of the Lateglacial the Equilibrium Line Altitude (ELA) in the research area was lower of about 690 m during the glacial stage of «Steinach» and 210 m during the glacial stage of «Egesen» with reference to the altitude of 1850 AD (BZN). The lower boundary of alpine permafrost was about 770-610 m lower than today. During the dry-cold Lateglacial period the precipitation reached about 60-70% of the today's amount. The climatic conditions caused a high rate of weathering on rock-walls in a range of 7-12 mm/year, which decreased to 0,9-1,6 mm/year during the Holocene. In the course of the Holocene the glaciers in the research area never showed a clearly larger extension than at the time of the «Little Ice Age»-maximum at about 1850 AD. Older Holocene ice margin deposits are only locally developed. The glacier retreat following the 1850th was interrupted within the periods about 1890-1900, about 1920 and about 1970-80. Until 1985 an increase of ELA of about 100 m/BZN could be calculated, while the glaciated area decreased by 51 % and the volume of glacial ice even by 70%.

During the Holocene the forest in the mountains of Tausers was affected by climatic and anthropogenic influences. Repeated lowerings of the timberline of about 60-100 m took place due to changes of climate. The clearing of mountain pasture caused a widespread lowering of the timberline of about 200-350 m.

KEY WORDS: Glaciers, Permafrost, Palaeoclimatology, Mountains of Tausers, South Tyrol.

RIASSUNTO: DAMM B., *L'evoluzione dei ghiacciai, del paesaggio e del clima nei Monti di Tures (Alto Adige) dal Tardiglaciale.* (IT ISSN 0391-9838, 1999).

In questa nota si vuole informare brevemente sui risultati degli studi relativi all'evoluzione dei ghiacciai, del paesaggio e del clima del Gruppo

delle Vedrette di Ries (Monti di Tures, 46°55'N, 12°07'E). Le ricerche, che durano da parecchi anni, si basano su metodi di lavoro geomorfologici, dendrocronologici e geobotanici.

Nella regione studiata, durante il Tardiglaciale, l'altitudine della linea di equilibrio («Equilibrium Line Altitude» = ELA) era più bassa di valori compresi fra 690 m (Stadio di «Steinach») e 210 m (Stadio di «Egesen») rispetto alla ELA nel 1850 AD. Il limite inferiore del permafrost discontinuo si trovava compreso fra 770 e 610 metri al di sotto di quello attuale. Durante il Tardiglaciale il clima era più continentale e le precipitazioni raggiungevano il 60-70 % dei valori attuali. Le condizioni climatiche causavano una forte azione dei processi di disaggregazione con un tasso di erosione delle pareti di 7-12 mm/a. Durante l'Olocene esso è sceso a valori più bassi (0,9-1,6 mm/a). Nel corso dell'Olocene non vi è mai stata una espansione maggiore di quella della metà del XIX secolo («Piccola Età Glaciale»). Le morene anteriori a questa fase, corrispondenti alla massima avanzata glaciale, sono presenti solo in modo sparso. Il ritiro dei ghiacciai, successivo alla Piccola Età Glaciale (massima avanzata verso il 1850), è stato interrotta nel 1890-1900, nel 1920 e nel 1970-80. Dal 1850 fino al 1985 i ghiacciai hanno perso il 51 % della loro superficie e il 70 % del loro volume di ghiaccio. Il limite delle nevi perenni è salito di 100 metri circa.

Il bosco della regione ha subito influenze sia da parte del clima sia da parte di azioni antropiche: le influenze climatiche hanno causato ripetutamente abbassamenti compresi fra 60-100 metri del suo limite mentre a causa delle azioni antropiche (allevamento e dissodamento) il limite del bosco si è abbassato di circa 200-350 metri.

TERMINI CHIAVE: Ghiacciai, Permafrost, Paleoclimatologia, Monti di Tures, Alto Adige-Sud Tirolo.

INTRODUZIONE

Fin dall'inizio degli anni settanta ha ricevuto notevoli impulsi la ricerca sulla evoluzione dei ghiacciai, del clima e del paesaggio durante il Tardiglaciale e Olocene. Le ricerche glacio-geomorfologiche, sulla base di metodi stratigrafici, palinologici e dendrocronologici e con datazioni al radiocarbonio, permettono oggi una precisa suddivisione delle oscillazioni dei ghiacciai e del clima durante il Tardiglaciale e l'Olocene (cfr. tab. 1 e Furrer & alii, 1987; King, 1987; Patzelt, 1973, 1977).

(*) *Geographisches Institut, Universität Göttingen, Goldschmidtstrasse 5, D-37077 Göttingen.*

TABELLA 1 - Cronologia del Tardiglaciale delle Alpi (cfr. Fraedrich, 1979; Gross & *alii*, 1977; Kerschner, 1986; Kerschner & Bertold, 1981; Maisch, 1981, 1982; Patzelt, 1980, 1983. Dislivello della linea di equilibrio rispetto al BZN 1850 o al tempo «Attuale»)

TABLE 1 - Chronology of the Late Glacial of the Alps. Increase of the ELA with reference to the altitude of 1850 AD (BZN)

Stadio	AUSTRIA		SVIZZERA	
	SGD [m] continentale	umido anni (BP)	SGD [m]	anni (BP)
Kromer/Kartell	70-90	?	60-95	?
Bockten	100-150	?	100-185	?
Egesen	180-220	300-330	155-310	≈ 10.200
Daun	250-320	340-390	255-375	≈ 13.000
Senders/Clavadel	400-450	450-520	385-490	≈ 14.000
Gschnitz	600-700	≈ 13.000	600-780	≈ 14.500
Steinach/Filisur	800-900/"a"	≈ 14.000	700-800	?
Bühl	900-1000/"a"	≈ 15.000	?	?

Sulla base di questi lavori mediante la individuazione delle posizioni dei ghiacciai durante il Tardiglaciale e l'Olocene sono stati calcolati i valori del dislivello della linea di equilibrio («Schneegrenzdepression» = SGD). Essi sono stati calcolati facendo delle comparazioni con i valori di riferimento («Bezugsniveau» = BZN) della massima espansione glaciale durante la Piccola Età Glaciale nel 1850 circa. La cronologia elaborata è derivata sia dalla stratigrafia sia dalle datazioni radiometriche («years before present» = BP).

Ricerche sul permafrost alpino (Barsch, 1996; Haerberli, 1985; Kerschner, 1985) hanno fornito una nuova valutazione dei processi legati ad esso, per cui è diventata possibile un'interpretazione paleoclimatica dei rock glaciers. Nuove indicazioni sono state fornite, in relazione a studi sull'evoluzione del paesaggio, riguardo la dinamica del limite del

bosco durante l'Olocene (tra l'altro Bortenschlager, 1977; Burga, 1987; Kral, 1989). Ci sono numerose ricerche oggi che si occupano anche dello studio delle oscillazioni più recenti dei ghiacciai e anche della compilazione di nuovi catasti riguardo questi ultimi (tra l'altro Gross, 1983, 1987; Müller & *alii*, 1976; Patzelt & Aellen, 1990; Secchieri & Valentini, 1985; Valentini, 1985).

Dopo queste premesse si vuole fare un'analisi della evoluzione dei ghiacciai, dei rock glaciers e del paesaggio del Gruppo delle Vedrette di Ries nei Monti di Tures. Qui, le conoscenze riguardo i gruppi montuosi dell'Alto Adige a est del Brennero risalgono al lavoro di Klebelsberg (1956) e sono incomplete. Nuovi studi per il Gruppo delle Vedrette di Ries sono stati eseguiti in base a criteri geomorfologici, dendrocronologici e geobotanici. Riguardo a ciò l'autore ha pubblicato più volte in lingua tedesca i relativi risultati (Damm, 1994, 1996, 1997, 1998a, 1998b). Qui, in breve, si vogliono esporre all'ambito degli interessati di lingua italiana gli ultimi risultati essenziali.

LA REGIONE STUDIATA

Il Gruppo delle Vedrette di Ries è situato a sud-ovest dei Monti Alti Tauri fra la Val Pusteria a sud e la Val di Deferegggen tirolese a nord-est (fig. 1). Il gruppo montuoso ha un'estensione superficiale di 250 km²; la vetta più alta è il Collalto (3436 m). La glaciazione attuale si sviluppa ampiamente verso nord e ha un'estensione in superficie di circa 14 km². Nel 1985 esistevano 19 ghiacciai con un'estensione totale di circa 13 km² e glacienevati con un'estensione di circa 1 km² in più. I ghiacciai occupavano un volume di 313 milioni di m³ che era pari a circa 250 milioni di m³ d'acqua. La ELA del 1985 era posta a quota di 2850 m si è

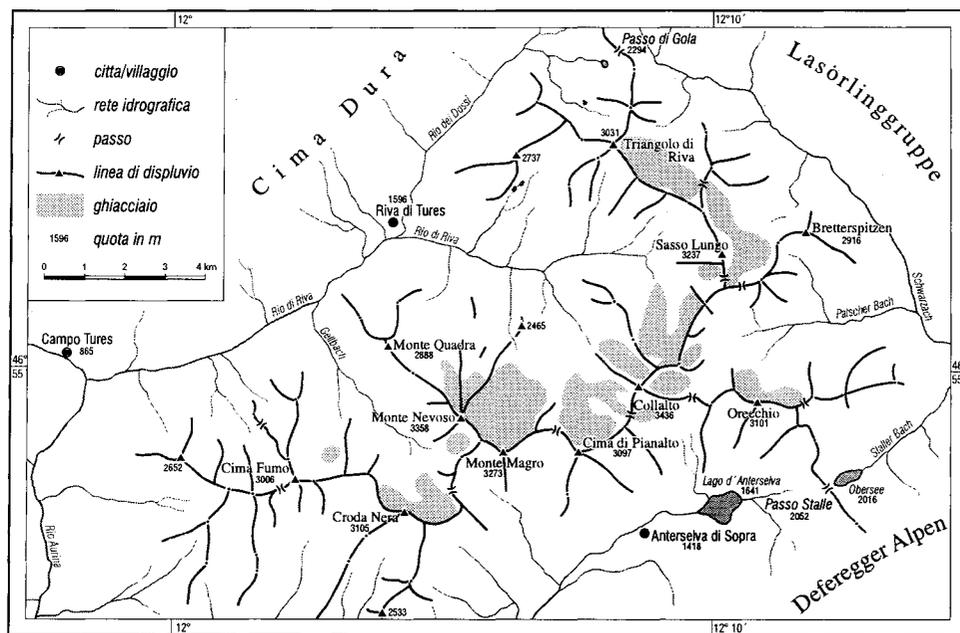


FIG. 1 - La regione studiata.

FIG. 1 - Geographic sketch map of the studied area.

alzata di 50-100 m fino ad oggi. In questo periodo sono diminuiti sia la superficie sia il volume.

La presenza estesa delle morene permette una ricostruzione comparativamente sicura degli stadi glaciali più antichi del Tardiglaciale e dell'Olocene fino all'epoca moderna. La distribuzione attuale del permafrost è caratterizzata dalla presenza di rock glaciers attivi e inattivi. Più in basso, anche molto al di sotto del limite del bosco, sono presenti rock glaciers «fossili». Essi documentano un'estensione più ampia del permafrost durante il Tardiglaciale. Nella regione studiata gli alberi arrivano fino a 2570 m e la loro altitudine è fra le maggiori nelle Alpi Orientali. Nell'area di questo gruppo montuoso il clima è più continentale, con zone che rimangono relativamente secche. La temperatura media annua nella stazione meteorologica di Riva di Tures (1600 m) è di 4,5° C, il totale delle precipitazioni annue è di 984 mm. Il gradiente della temperatura estiva dell'aria (T_s V-IX) è stato valutato in 0,7 °C/100 m, quello della temperatura media annua in 0,63 °C/100 m.

L'EVOLUZIONE DEI GHIACCIAI, DEI ROCK GLACIERS E DEL BOSCO A PARTIRE DAL TARDIGLACIALE

La suddivisione cronologica delle fasi dei ghiacciai e del permafrost nella zona studiata è stata ricostruita in base alla stratigrafia e cronologia attualmente valide per le fasi fredde del Tardiglaciale e dell'Olocene nelle regioni alpine (tab. 1). È stata adottata la nomenclatura correntemente utilizzata. La datazione degli stadi glaciali è risultata dalla relazione fra i valori del dislivello della ELA e i valori di riferimento della massima espansione glaciale del 1850 (cfr. Gross & alii, 1977). Riguardo a ciò nella regione studiata non esistono datazioni al radiocarbonio (^{14}C). Per una descrizione dettagliata ed una discussione approfondita si rimanda alle pubblicazioni dell'Autore già menzionate.

I valori del dislivello dell'ELA (SGD) dei ghiacciai si riferiscono all'altitudine di quest'ultima durante l'espansione massima dei ghiacciai nella metà del XIX secolo (BZN 1850) per motivi di metodo (tra altri Gross & alii, 1977). Invece i valori della crescita del permafrost discontinuo (PFD) nel corso delle fasi più fresche del Tardiglaciale e dell'Olocene danno come risultato la differenza fra il limite altimetrico del permafrost attuale e quello dei periodi antecedenti. Il calcolo delle paleotemperature e delle paleoprecipitazioni è stato fatto con riferimento al modello «ghiacciai-clima» («Gletscher-Klima-Modell», Kerschner, 1985) ed al modello «ghiacciai-permafrost» («Gletscher-Permafrost-Modell», Haerberli, 1983). I valori ricostruiti con questi modelli per le paleotemperature estive (T_s = mesi da Maggio a Settembre) e per quelle medie annue («Mean Annual Air Temperature» = MAAT) sono rappresentati in forma di deviazione rispetto alle condizioni attuali (metà del XX secolo). Le variazioni delle precipitazioni durante le fasi fredde del Tardiglaciale rispetto alle condizioni attuali sono date in percentuale. Esse sono rapportate uniformemente al livello di 2000 m per motivi di metodo (Kerschner, 1983, 1985).

Durante l'ultimo massimo glaciale fra 24.000 e 18.000 BP la glaciazione dei Monti di Tures era legata ai sistemi dei ghiacciai delle Alpi Centrali. La parte preponderante del ghiacciaio dei Monti di Tures scorreva lungo la Val Pusteria verso i sistemi dei ghiacciai dell'Adige, del Tagliamento e del Piave (Klebensberg, 1956). Questa situazione fu il punto di partenza per il ritiro dei ghiacciai del Gruppo delle Vedrette di Ries, che è iniziato verso 16.000-17.000 BP circa.

Le tracce più antiche di un ghiacciaio locale che si possono trovare a sud del Gruppo delle Vedrette di Ries risalgono presumibilmente allo stadio di «Bühl». In questo stadio l'arretramento dei sistemi glaciali ramificati del Val Pusteria, che si era instaurato nel periodo culminante dell'ultima glaciazione, era già iniziato, mentre nelle valli principali di quel gruppo montuoso e nella regione studiata a nord c'erano ancora ghiacciai ramificati integri, con un collegamento con le zone di accumulo (ai «Nährgebiete») centralalpine degli Alti Tauri.

Questa situazione è rimasta costante fino allo stadio di «Steinach»; in seguito le condizioni sono cambiate profondamente. I ghiacciai ramificati rimasti integri fino ad allora cominciarono a sciogliersi progressivamente e i ghiacciai della regione studiata si ritirarono prevalentemente nella valle centrale fino allo stadio di «Gschnitz». Le temperature estive erano più basse durante lo stadio di Steinach con un SGD di 690 m/BZN, di circa 5,5 °C e, durante lo stadio di Gschnitz con un SGD di 600 m/BZN, di circa 4,9 °C nei confronti della temperatura attuale. Le tracce più antiche di una attività dei rock glaciers risalgono allo stadio di «Senders» (SGD 420 m/BZN). Il limite inferiore del permafrost si trovava 770 m più in basso rispetto al limite attuale (fig. 2). Rispetto ai valori medi attuali, la temperatura estiva era più bassa di 3,7 °C e la MAAT di 5 °C. Le precipitazioni medie annue alla quota di 2000 m raggiungevano circa il 70% dei valori delle precipitazioni attuali, per cui lo stadio di Senders si profila comparativamente come un periodo con clima più continentale.

Quasi dello stesso tipo era il clima secco-freddo degli stadi di «Daun» e «Egesen». I ghiacciai verso sud si erano già ritirati all'estremità più alta della valle e anche nei circhi più alti durante lo stadio di Daun e particolarmente durante lo stadio di Egesen (fra 11.000 e 10.200 BP). Nel settore a nord invece si trovavano ancora ghiacciai estesi. L'area dei ghiacciai era estesa quasi il doppio durante lo stadio di Egesen e il volume era approssimativamente il triplo rispetto al volume massimo nella metà del XX secolo. I valori della SGD erano, durante lo stadio di Daun, circa 310 m/BZN, mentre durante lo stadio di Egesen 210 m/BZN e il limite inferiore del permafrost era più basso rispettivamente di 650 m e 610 m rispetto al livello attuale.

Probabilmente rock glaciers dello stadio di Egesen hanno seppellito in tanti casi rock glaciers dello stadio di Daun, per cui il materiale detritico è stato incluso completamente o in parte all'interno dei rock glaciers dello stadio di Egesen. Il grado di erosione delle pareti nelle zone al di sopra dei rock glaciers passava alla fine del Tardiglaciale da 7 a 12 mm all'anno (fig. 3). Durante lo stadio di Daun la temperatura estiva era più bassa di 2,8 °C e la MAAT più

Fasi di avanzamento glaciali (Alpi orientali).

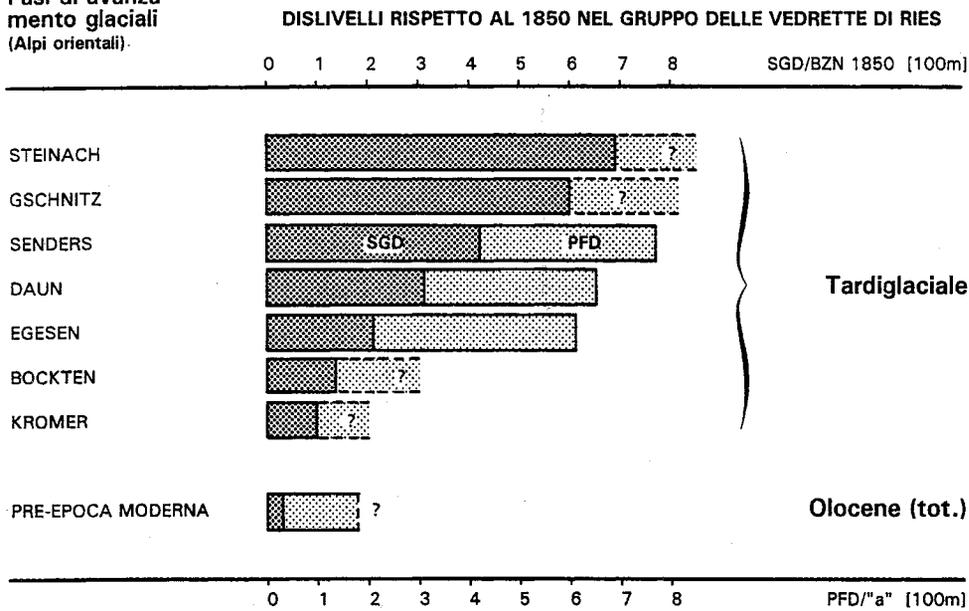


FIG. 2 - Dislivelli del permafrost (PFD) e dell'altitudine della linea di equilibrio (SGD) nel corso delle fasi fredde del Tardiglaciale e Olocene nel Gruppo delle Vedrette di Ries.

FIG. 2 - Permafrost level and equilibrium line variation during the Lateglacial and Holocenic cold phases in the Vedrette di Ries Group.

bassa di 4,3 °C. Durante lo stadio di Egesen gli abbassamenti erano di 2,1 °C e fra i 3,6 e 4 °C rispettivamente nei confronti dei valori attuali. Le precipitazioni medie annue alla quota di 2000 m raggiungono il 65% durante lo stadio di Daun e il 71% nell'apice dello stadio di Egesen. Si ri-

ducono al 61% dei valori attuali durante le fasi di «Bockten» e al 71% nello stadio finale di «Kromer» (fig. 4).

Durante l'Olocene non si è più verificata un'espansione glaciale come nella metà del XIX secolo. Una fase di avanzamento premoderna dei ghiacciai, riguardo alla qua-

Rock glacier

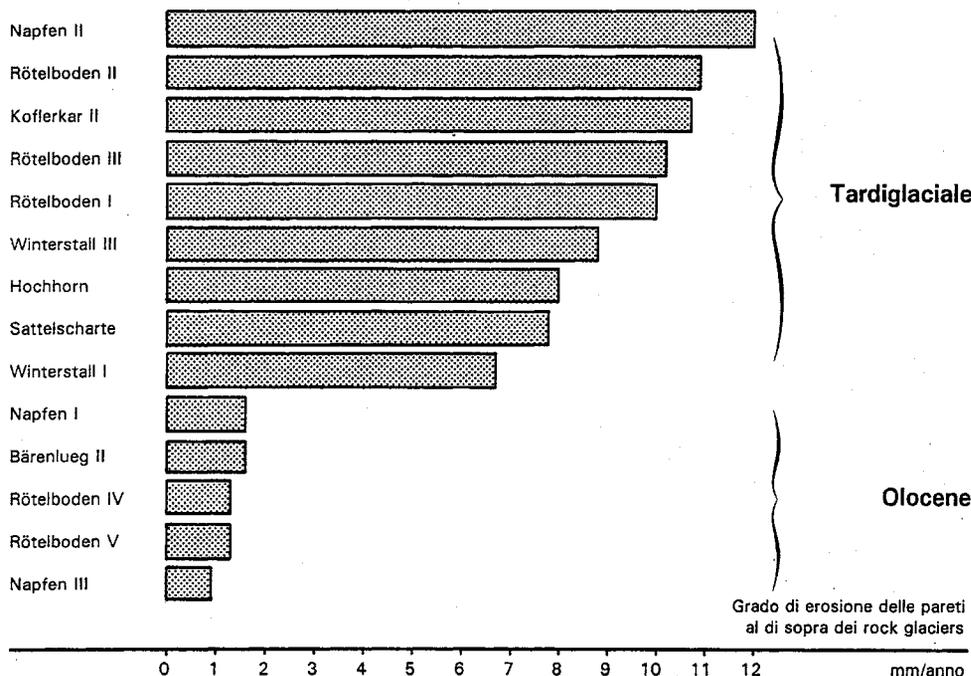
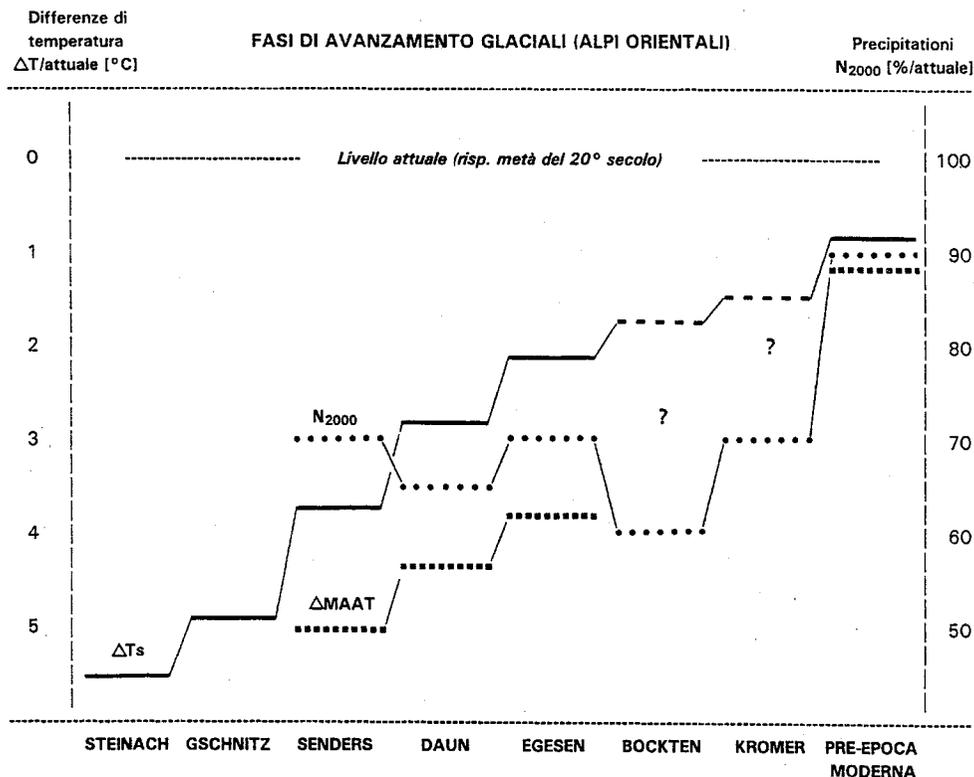


FIG. 3 - Erosione media delle pareti sopra i rock glaciers nel Tardiglaciale e Olocene: calcolata dai volumi dei detriti all'interno dei rock glaciers del Gruppo delle Vedrette di Ries.

FIG. 3 - Free-face mean erosion above rock glaciers during the Lateglacial and Holocene: estimated by means of debris volumes of rock glaciers in the Vedrette di Ries Group.

FIG. 4 - Differenze di temperatura e le precipitazioni durante le fasi fredde del Tardiglaciale e Olocene nei Monti dei Tauri paragonati con i dati climatici attuali presi a lungo termine nel periodo 1931-1960.

FIG. 4 - Temperatures variation and precipitations during the Lateglacial and Holocenic cold phases in the Monti dei Tauri confronted with the 1931-1960 climatic data.



le vi sono poche evidenze, si può mettere probabilmente in relazione con la fase fredda di «Löbben». Questo periodo, circa 3.300 BP, è considerato come una delle fasi più fredde dell'Olocene con ghiacciai estesi (cfr. Patzelt, 1980). Le morene marginali dei ghiacciai durante la massima espansione nella metà del XIX secolo come anche quelle del 1780 e 1820 sono poco estese. I valori della SGD durante le fasi di avanzamento dei ghiacciai prima del 1850 erano fra 0 e 30 m/BZN. L'espansione non ha mai superato più dell'8% di quella del 1850. Il punto culmine del periodo di espansione recente sarebbe stato raggiunto in sostanza verso il 1850. In quel momento l'area dei ghiacciai era di 29,1 km², il volume di 1070 milioni di m³, l'altitudine della linea d'equilibrio si trovava a 2747 m di altezza.

Il ritiro dei ghiacciai in seguito all'espansione più recente è stato interrotto verso il 1890-1900, verso il 1920 e verso il 1970/80 da avanzamenti e arresti. Il periodo fra il 1927 e il 1965 si delinea come una fase di ritiro particolarmente forte, mentre la superficie dei ghiacciai diminuisce mediamente di circa 0,16 km² all'anno (fig. 5). Fino al 1985 è stato registrato un innalzamento dell'altitudine della linea d'equilibrio di 100 m/BZN, dal 1850 l'area dei ghiacciai è diminuita del 51% e il suo volume perfino del 70%. L'arretramento dei ghiacciai si può correlare ad un aumento della temperatura estiva di 0,7 °C dal 1850 al 1920, mentre

le precipitazioni medie annue sono contemporaneamente aumentate.

L'evoluzione della quasi totalità dei rock glaciers che erano attivi durante l'Olocene si è verificato prima del periodo attuale. Il grado di erosione delle pareti al di sopra dei rock glaciers è stato calcolato con l'aiuto del volume dei depositi attivi, come è stato fatto per il Tardiglaciale. I valori calcolati sono fra 0,9 e 1,6 mm all'anno e risultano inferiori ai valori calcolati per la fine del Tardiglaciale (fig. 3). Nell'ultimo periodo alcuni rock glaciers attraversano una fase di inattività, che probabilmente è in relazione al riscaldamento dell'ultimo secolo. Il limite inferiore attuale del permafrost discontinuo si trova oggi nel settore di nord fra 2500 e 2550 metri e va correlato alla sua esposizione con una MAAT di -1,5 °C. Nella regione studiata il permafrost discontinuo è esteso con una superficie di 37 km². La presenza dell'acqua contenuta nel permafrost può essere valutata in 90-100 milioni di m³ (rispetto all'acqua nei ghiacciai circa 250 milioni di m³).

All'inizio dell'Olocene il limite del bosco nei Monti di Tures arrivava all'incirca fino all'altezza attuale potenziale. Nel corso dell'Olocene ci sono stati ripetutamente abbassamenti del limite del bosco di 60-100 m dovuti al clima. Più efficaci però sono stati gli abbassamenti dovuti agli interventi antropici. Nella regione studiata ci sono indicazioni di dislocamenti a partire dal tardo-neolitico. In relazione

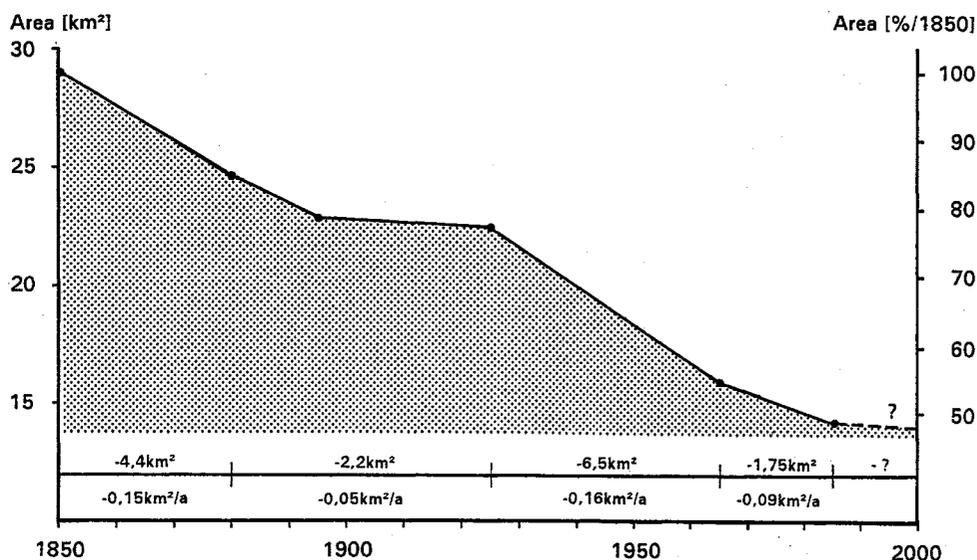


FIG. 5 - La diminuzione della superficie dei ghiacciai nel Gruppo delle Vedrette di Ries a partire dal valore massimo del 1850.

FIG. 5 - Glacial surface decreasing in the Vedrette di Ries Group calculated from the maximum value of 1850.

a questi dislocamenti e alla fondazione degli «Schwaighöfe» verso il 1200 d.C. e con l'instaurarsi di pascoli montani, immediatamente dopo si sono verificati cambiamenti sensibili nella zona del limite del bosco.

Essi hanno avuto come conseguenza un abbassamento di 200-350 m del limite del bosco.

La distruzione del bosco nelle zone alte, che risale probabilmente a incendi dovuti al dislocamento, ha avuto come conseguenza l'erosione locale del suolo. Nel corso del riscaldamento dopo il 1860 e in relazione alla coltura estensiva il limite del bosco è salito fino a 2350-2400 m di altezza fino alla fine del XX secolo. Questa ascesa del limite del bosco non è avvenuta continuamente bensì a intervalli, i quali sono indicati da due fasi di germinazione durante periodi di clima favorevole, fra il 1890 e anche durante gli anni 40 e 50 del XX secolo. I periodi più freschi verso il 1910-20 e il 1970-80 non hanno avuto nessun effetto di rilievo su questa evoluzione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BARSCH D. (1996) - *Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geocology in High Mountain Environments*. Berlin, Heidelberg, 331 S.
- BORTENSCHLAGER S. (1977) - *Ursachen und Ausmaß postglazialer Waldgrenzschwankungen in den Ostalpen*. Erdwissenschaftliche Forschungen, 13, 260-266.
- BURGA C. (1987) - *Vegetationsgeschichte seit der Späteiszeit*. Furrer & alii (1987), *Zur Gletscher-, Vegetations- und Klimageschichte der Schweiz seit der Späteiszeit*. Geogr. Helvetica, 42, 71-77.
- DAMM B. (1994) - *Waldgrenze, Baumgrenze und Höhenstandorte der Zirbe in der Rieserfernergruppe, Tirol*. Der Schlern, 68, 6, 342-355.
- DAMM B. (1996) - *Gletscher-, Landschafts- und Klimaentwicklung in der Rieserfernergruppe (Tirol) seit dem Spätglazial*. Göttinger Geogr. Abh., 104, 186 S.
- DAMM B. (1997) - *Die Entwicklung der Vergletscherung in der Rieserfernergruppe (Tirol) seit dem Hochstand von 1850*. Der Schlern, 71, 10, 593-618.
- DAMM B. (1998a) - *Waldgrenze, Baumgrenze, Waldentwicklung und Siedlungstätigkeit in den Tauferer Bergen (Südtirol) während des Postglazials*. Geoökodynamik, 19, 1-2, 19-42.
- DAMM B. (1998b) - *Der Ablauf des Gletscherrückzuges in der Rieserfernergruppe (Tirol) im Anschluß an den Hochstand um 1850*. Zeit. Gletscherkd. Glazialgeol., 34, 141-159.
- FRAEDRICH R. (1979) - *Spät- und postglaziale Gletscherschwankungen in der Ferwallgruppe (Tirol/Vorarlberg)*. Düsseldorfer Geogr. Schr., 12, 161 S.
- FURRER G., BURGA C., GAMPER M., HOLZHAUSER H.-P. & MAISCH M. (1987) - *Zur Gletscher-, Vegetations- und Klimageschichte der Schweiz seit der Späteiszeit*. Geogr. Helvetica, 42, 61-91.
- GROSS G. (1983) - *Die Schneegrenze und die Altschneelinie in den österreichischen Alpen*. Innsbrucker Geogr. Studien, 8, 59-83.
- GROSS G. (1987) - *Der Flächenverlust der Gletscher in Österreich 1850-1920-1969*. Zeit. Gletscherkd. Glazialgeol., 23, 131-141.
- GROSS G., KERSCHNER H. & PATZELT G. (1977) - *Methodische Untersuchungen über die Schneegrenze in alpinen Gletschergebieten*. Zeit. Gletscherkd. Glazialgeol., 12, 223-251.
- HAEBERLI W. (1983) - *Permafrost-glacier relationships in the Swiss Alps today and in the past*. Proceedings of the Fourth International Conference on Permafrost. Washington D.C., National Academy Press, 415-420.
- HAEBERLI W. (1985) - *Creep of mountain permafrost: Internal structure and flow of alpine rock glaciers*. Mitt. d. Versuchsanstalt f. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Zürich, 77, 142 S.
- KERSCHNER H. (1983) - *Lateglacial paleotemperatures and paleoprecipitation as derived from permafrost-glacier relationships in the Tyrolean Alps, Austria*. Permafrost, Fourth International Conference, Proceedings. Washington, D.C.: National Academy Press, 589-594.
- KERSCHNER H. (1985) - *Quantitative palaeoclimatic inferences from late-glacial snowline, timberline and rock glacier data, Tyrolean Alps, Austria*. Zeit. Gletscherkd. Glazialgeol., 21, 363-369.
- KERSCHNER H. (1986) - *Zum Senderstadium im Spätglazial der nördlichen Stubai Alpen, Tirol*. Zeit. Geomorph., Suppl.-Bd., 61, 65-76.
- KERSCHNER H. & BERKTOLD E. (1981) - *Spätglaziale Gletscherstände und Schuttformen im Senderstal, Nördliche Stubai Alpen, Tirol*. Zeit. Gletscherkd. Glazialgeol., 17, 125-134.

- KING L. (1987) - *Gletscherschwankungen und Moränen - Studien zur postglazialen Gletscher- und Vegetationsgeschichte des Sustenpaßgebietes*. Gießen, 127 S.
- KLEBELSBERG R. v. (1956) - *Südtiroler Geomorphologische Studien. Das Pustertal (Rienz- Anteil)*. Schlern-Schriften, 151, 218S.
- KRAL F. (1989) - *Spät- und postglaziale Waldentwicklung in den italienischen Alpen*. Bot. Jahrb. Syst., 111, 213-229.
- MAISCH M. (1981) - *Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Gebiet zwischen Landwasser- und Albulatal (Kt. Graubünden, Schweiz)*. Phys. Geogr., 3, Zürich, 215S.
- MAISCH M. (1982) - *Zur Gletscher- und Klimageschichte des alpinen Spätglazials*. Geogr. Helvetica, 37, 93-104.
- MÜLLER F., CAFLISCH T. & MÜLLER G. (1976) - *Firn und Eis der Schweizer Alpen*. ETH Zürich, Geogr. Inst., Publ., 57.
- PATZELT G. (1973) - *Die neuzeitlichen Gletscherschwankungen in der Venedigergruppe (Hohe Tauern, Ostalpen)*. Zeit. Gletscherkd. Glazialgeol., 9, 5-57.
- PATZELT G. (1977) - *Der zeitliche Ablauf und das Ausmaß postglazialer Klimaschwankungen in den Alpen*. Erdwiss. Forschung, 13, 248-259.
- PATZELT G. (1980) - *Neue Ergebnisse der Spät- und Postglazialforschung in Tirol*. Jahresber. d. Österr. Geogr. Gesellsch., Zweig Innsbruck, 1976/77, 11-18.
- PATZELT G. (1983) - *Die spätglazialen Gletscherstände im Bereich des Mieskopfes und im Arzthal, Tuxer Voralpen, Tirol*. Innsbrucker Geogr. Stud., 8, 35-44.
- PATZELT G. & AELLEN M. (1990) - *Gletscher. Int. Facht. Schnee, Eis u. Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre*. Mitt. VAW, ETH Zürich, 108, 49-70.
- SECCHIERI F. & VALENTINI P. (1985) - *Indagine glaciologica sulla Vedretta Alta e sulla Vedretta Occidentale di Ries (Alto Adige)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 137-143.
- VALENTINI P. (1985) - *Il catasto dei ghiacciai della provincia di Bolzano*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 182-195.