

TERESA CARNIELLI (*)

LE VARIAZIONI FRONTALI ED AREALI RECENTI DEL GHIACCIAIO GRANDE DI VERRA (MONTE ROSA, Alpi)

ABSTRACT: CARNIELLI T., *Snout and area recent variations of Grande di Verra Glacier (Monte Rosa, Alps)*. (IT ISSN 1724-4757, 2005).

A study has been carried out about the snout and area recent (XX century) variations of Grande di Verra Glacier on Monte Rosa (Italian Alps) by using terminus variation data and historical maps. From 1914 to 2001 the front showed a retreat of 816 m, but the gaps in the data series make this result not too much accurate. By means of statistic analysis (correlations between the data of Verra Glacier and Lys Glacier) the gaps have been filled, even if the correlation coefficient resulted insufficiently accurate. It is anyway interesting to emphasize two short phases of snout advance between 1914 and 1921 (78 m) and between 1975 and 1985 (16 m). The GIS elaboration of the historical maps permitted to calculate an area reduction of 31% from the Little Ice Age to nowadays. This reduction was rather irregular during the whole period: in fact it resulted very strong from 1934 to 1956 ($m^2 21 \cdot 10^3$ mean yearly reduction), lower between 1975 and 1991 ($m^2 7,3 \cdot 10^3$), while this process intensified between 1991 and 2002 ($m^2 24,5 \cdot 10^3$). Moreover some geomorphological evidences (moraines) of the last advance phase has been found near the actual glacier terminus. By elaborating the data of the monthly weather-station of Lago Gabiet, an increasing of precipitation between 1976 and 1979 of 244 mm (+44% respect to the average 1928-1994) has been calculated, otherwise a precipitation reduction of 16% between 1952 and 1964 has been detected; as regards the temperature variations, between 1973 and 1984 the summer temperature reduced of -1°C . The advance glacier phase of the second half of the XX century has been attributed to those climate variations.

KEY WORDS: Glacier recent variations, Ongoing climate changes, Grande di Verra Glacier, Monte Rosa, Alps, Italy.

RIASSUNTO: CARNIELLI T., *Le variazioni frontali ed areali recenti del Ghiacciaio Grande di Verra (Monte Rosa, Alpi)*. (IT ISSN 1724-4757, 2005).

Nel lavoro vengono ricostruite le variazioni recenti del Ghiacciaio Grande di Verra (Valle d'Aosta) con un approccio multidisciplinare. La prima fase del lavoro ha comportato un'indagine bibliografica su documentazioni storiche sia di tipo qualitativo (rappresentazioni iconografiche) che di tipo quantitativo (dati sulle variazioni frontali, confronti cartografici).

(*) Dipartimento di Scienze della Terra «Ardito Desio» dell'Università degli Studi di Milano, via Mangiagalli 34 - 20133 Milano.

Lavoro svolto nell'ambito del Progetto MIUR 2003 «Trasformazioni in atto dei ghiacciai delle Alpi Italiane. Effetti morfologici, ipotesi evolutive, significato climatico e confronti con aree extralpine», Resp. Naz. P.R. Federici, Resp. Loc. C. Smiraglia. Si ringraziano il prof. C. Smiraglia e la dr. G. Diolaiuti per la lettura critica del testo.

Fra il 1913 e il 2001 il ghiacciaio è arretrato di 816 m, ma il dato è reso impreciso da alcune lacune della serie storica, per colmare le quali si è ricorso a metodi statistici; si sono correlati i dati disponibili del Ghiacciaio di Verra con quelli del Ghiacciaio del Lys e con i dati meteorologici della stazione del Gabiet. In entrambi i casi il coefficiente di correlazione non è risultato molto elevato; si è comunque utilizzata la retta interpolante dei due ghiacciai per ricostruire i dati mancanti. Si è così calcolato che tra il 1913 e il 1921 il ghiacciaio sarebbe avanzato di 78 m, mentre tra il 1975 e 1985 la variazione frontale sarebbe stata di 16 m.

Con i dati ricostruiti, l'arretramento totale del ghiacciaio è stato calcolato in 885 m. Dall'analisi delle variazioni areali effettuate mediante il confronto di cartografia storica in ambiente GIS è emerso che dalla Piccola Età Glaciale al 2001 la riduzione areale è pari a $m^2 3 \cdot 10^6$ (corrispondenti al 31% della superficie iniziale); tale riduzione non si è manifestata in modo lineare nel tempo, ma risulta particolarmente intensa tra il 1934 e il 1956 ($m^2 21 \cdot 10^3$ come media annua), diminuisce tra il 1975 e il 1991 ($m^2 7,3 \cdot 10^3$), per poi riprendere in modo più accentuato tra il 1991 e il 2002 ($m^2 24,5 \cdot 10^3$). Alcune tracce di questa dinamica glaciale sono state ritrovate anche sul terreno dove nell'area proglaciale si sono rinvenute morene della seconda metà del XX secolo. L'elaborazione dei dati della stazione del Lago Gabiet ha permesso di attribuire le cause della piccola fase di espansione 1975-1985 ad un aumento delle precipitazioni che raggiungono i valori massimi il tra il 1976 e il 1979 con uno scarto medio di 244 mm (+44%) rispetto al periodo 1928-1994, e ad una riduzione delle temperature estive tra il 1973 e 1984 (scarto medio di -1°C).

TERMINI CHIAVE: Variazioni glaciali recenti, Dinamica climatica attuale, Ghiacciaio di Verra, Monte Rosa, Alpi.

INTRODUZIONE

Le variazioni recenti (ovvero degli ultimi 150 anni, dal termine della Piccola Età Glaciale – PEG – ad oggi) dei ghiacciai alpini costituiscono un oggetto di studio di particolare interesse ed attenzione scientifica in quanto ritenute uno dei più significativi indicatori delle modificazioni climatiche in atto (IPCC, 2001). I contributi in questo settore della ricerca possono articolarsi sia in studi sulle variazioni numeriche e dimensionali del glacialismo di interi settori montuosi o dell'intero arco alpino, sia in ricerche riferite a singoli apparati glaciali (in questo secondo caso i risultati permettono una conoscenza più dettagliata degli eventi a scala locale in connessione con le dinamiche microclimatiche).

La ricerca qui presentata vuole contribuire alla conoscenza della dinamica glaciale locale recente dell'alta Valle d'Ayas (Valle d'Aosta), dove è ubicato il Ghiacciaio Grande di Verra, per un utile confronto con quanto già emerso in lavori precedenti sia nella stessa area sia in altri settori alpini glacializzati.

Il Ghiacciaio Grande di Verra è stato scelto non solo per le sue caratteristiche morfologiche e dimensionali, che lo rendono un campione rappresentativo del settore alpino glacializzato dove è localizzato (versante meridionale del Monte Rosa), ma anche per l'abbondante produzione scientifica ad esso dedicata sin da fine '800, che costituisce la base indispensabile per ulteriori contributi di carattere glaciologico e geomorfologico (Martelli, 1882; Dainelli, 1902a, 1902b, 1906; Monterin, 1914, 1918; Sacco 1919, 1924; Vanni, 1953; De Gemini & Valtz, 1956; De Gemini, 1962; Cerutti, 1975, 1977, 1985; Pelfini, 1999).

La ricerca, seguendo un approccio multidisciplinare, che ha previsto l'applicazione di metodologie e tecniche di rilevamento ed analisi di tipo geomorfologico, storico e cartografico, ha permesso di ricostruire le variazioni frontali ed areali del ghiacciaio dall'inizio del XX secolo ai giorni nostri, portando alla definizione di una curva tempo-distanza ragionata ed individuando anche le tracce lasciate dalle pulsazioni glaciali di minore entità come quelle della seconda metà del XX secolo.

IL GHIACCIAIO GRANDE DI VERRA

Il Ghiacciaio Grande di Verra (fig. 1a) è il secondo ghiacciaio vallivo per dimensioni del versante meridionale del Monte Rosa (circa 7 km² di superficie e 5 km di lunghezza); occupa il settore occidentale dell'alto bacino dell'Evançon, in Val d'Ayas. La sua zona di alimentazione si estende fino agli alti bacini dello spartiacque Breithorn-Pollice, arrivando ad una quota massima di 4.210 m. Dai bacini di accumulo, dopo avere formato una poderosa seraccata, scende fino a 2.570 m una lingua sinuosa oggi ristretta fra le grandiose morene laterali della Piccola Età Glaciale. L'identificazione della quota esatta della fronte è tuttavia piuttosto complessa in quanto la parte terminale della lingua di ablazione, parzialmente ricoperta nel settore destro idrografico da detrito, è ormai probabilmente priva di alimentazione diretta ed è in continua, rapida evoluzione.

LE VARIAZIONI FRONTALI

Per quantificare l'entità e la durata delle oscillazioni recenti del Ghiacciaio Grande di Verra si sono raccolti ed elaborati dati di tipo quantitativo, in particolare le serie di variazioni frontali (misurate seppure con discontinuità dall'inizio del secolo scorso ad oggi), che hanno permesso di valorizzare e completare le informazioni qualitative derivanti dalle descrizioni e dalle numerose rappresentazioni iconografiche (carte topografiche, disponibili sin dai primi decenni del XIX secolo, e fotografie). Per quanto riguarda queste ultime si riporta come unico esempio il confronto

fra un'immagine del Ghiacciaio di Verra dell'inizio del XX secolo e una foto di quasi un secolo dopo (figg. 1 a e 1 b).

La fonte primaria utilizzata per la raccolta dei dati di variazione frontale è costituita dalle pubblicazioni del Comitato Glaciologico Italiano, ovvero il *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano* (1913-1977) e *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* (1978-2002) (operatori P. Bethaz, F. De Gemini, A. Giorcelli, U. Monterin, S. Tosetto, L. Valtz, M. Vanni). La serie storica di dati di variazione frontale del Ghiacciaio Grande di Verra inizia nel 1913 con le misure di Sacco e Monterin, si estende nel tempo con continuità dal 1921 fino alla metà degli anni '40 del secolo scorso; successivamente, i rilievi alla fronte dell'apparato divennero irregolari sino ad interrompersi del tutto tra il 1977 ed il 1995, per poi riprendere dal 1996 al 2001.

I dati raccolti sulle variazioni frontali si riferiscono alla distanza tra capisaldi di misura posti esternamente all'apparato glaciale e la posizione della fronte nei diversi anni. Per alcuni anni la variazione frontale del Ghiacciaio Grande di Verra, per la sua morfologia, si è riferita a due capisaldi diversi, uno posto sulla destra idrografica e l'altro sulla sinistra, identificativi rispettivamente dei due lobi terminali della lingua. Va sottolineato il fatto che il lobo di destra è stato sempre parzialmente ricoperto da detrito proveniente dal versante roccioso sovrastante; tale condizione ha influenzato per alcuni anni la significatività dei dati di variazione. Nel presente lavoro si è quindi preferito utilizzare solo il segnale riguardante il settore sinistro della lingua, caratterizzato da maggior continuità e da maggiore attendibilità delle misure. Nei casi in cui il dato di variazione frontale fosse riferito a più anni, nella tab. 1 è stato riportato in metri il valore totale, indicando fra parentesi l'anno da cui parte la misura pluriennale. Oltre ai dati di variazione annuale nella tabella sono presentati i valori cumulati e le fonti di riferimento. Esistono però delle lacune nella serie corrispondenti ai periodi in cui le misure non sono state effettuate (dal 1916 al 1920, il 1924, dal 1948 al 1952, il 1960, dal 1977 al 1995). In sintesi, su un periodo complessivo di 89 anni (1913-2001) si hanno 48 valori annuali, 4 valori pluriennali (uno su 5 anni, e tre su 2 anni) con variazione di segnale, 30 valori mancanti. La sequenza più continua di valori annuali è di 18 anni, dal 1925 al 1942 ad opera di Monterin e Vanni, seguita dal periodo 1961-1970 effettuata da De Gemini. La sequenza dei valori cumulati della tab. 1 tiene conto dei soli dati di misura e il valore totale risulta ovviamente parziale. Nella fig. 2 sono riportate le variazioni frontali annuali.

Dalla tab. 1 appare evidente il regresso che il ghiacciaio ha subito nel XX secolo con un arretramento frontale tra il 1913 e il 2001 di 816 m, valore che, come si è detto, non tiene conto dei periodi di mancata misurazione. Questo fenomeno non si è manifestato in modo lineare e continuo, ma ha subito delle inversioni di tendenza che hanno fatto registrare valori positivi tra il 1913 e 1915, nel 1921 e nel 1976. Negli anni Venti e nella seconda metà degli anni Ottanta, sull'intero arco alpino si sono prodotte due modeste fasi di avanzata (Grove, 1988; Patzelt, 1985; Wood, 1988; Rossi & alii, 2003). I valori positivi sopra citati potrebbero venire interpretati come la fase iniziale di due

FIG. 1a) - Il Ghiacciaio Grande di Verra nel 1903 (foto Ivaldi, da Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano, serie I, 5, 65-71); b) Il Ghiacciaio Grande di Verra nel 2003 (foto T. Carnielli).



1a)



1b)

pulsazioni positive verificatesi proprio in corrispondenza degli anni di assenza di rilievi di terreno.

Nel grafico riportato nella fig. 2 sono indicati (in nero) i valori annuali misurati di variazione frontale e (in grigio chiaro) i valori pluriennali medi; per gli anni in cui non è stata effettuata una misura di terreno sono stati riportati i valori annuali ricostruiti (bianco) con la metodologia di seguito indicata. Per ricostruire i dati mancanti si è ricorso a metodi statistici correlando le variazioni frontali del Ghiacciaio di Verra sia con quelle del Ghiacciaio del Lys che con i parametri climatici relativi a temperatura e precipitazioni. Le funzioni risultanti sono state utilizzate per colmare le lacune. Si è scelto come riferimento il Ghiacciaio del Lys in quanto quest'ultimo è localizzato sempre sul versante meri-

dionale del Monte Rosa, presenta la stessa esposizione, è tipologicamente simile al Verra (entrambi sono vallivi, anche se il Lys è di tipo composto) e presenta una sequenza pressoché completa di dati annuali. Come metodo statistico si è utilizzata la nota correlazione di Bravais-Pearson. Si sono dapprima correlati tutti i valori disponibili per entrambi i ghiacciai, si è poi proceduto a correlare solo periodi con dati continui e infine si è operato con scostamenti temporali nell'ipotesi che vi fosse un tempo di risposta diversificato fra i due ghiacciai. Le correlazioni non si sono tuttavia rivelate particolarmente significative e hanno raggiunto un coefficiente di correlazione di poco superiore a 0,40. Si è in ogni caso proceduto ad utilizzare l'equazione dell'interpolante di tutti i valori disponibili: $Y = (0,5838 \times X) - 3,4937$ con $r =$

TABELLA 1 - Variazioni frontali del Ghiacciaio Grande di Verra 1913-2001 (dati CGI).

Variazioni frontali (m)				Variazioni frontali (m)			
Anno	Variazione annuale	Variazione cumulata	Fonte	Anno	Variazione annuale	Variazione cumulata	Fonte
1913	-	0	MONTERIN, 1918, Boll. CGI 3	1957	-3	-336	DE GEMINI, 1958, Boll. CGI 8
1914	4	4	MONTERIN, 1918, Boll. CGI 3	1958	-14	-350	DE GEMINI, 1959-1960, Boll. CGI 9
1915	6	10	MONTERIN, 1918, Boll. CGI 3	1959	-12	-362	DE GEMINI, 1959-1960, Boll. CGI 9
1916	—	—		1960	—	—	
1917	—	—		1961	-5	-367	DE GEMINI, 1962, Boll. CGI 11
1918	—	—		1962	-14	-381	DE GEMINI, 1962, Boll. CGI 12
1919	—	—		1963	-15	-396	DE GEMINI, 1963, Boll. CGI 13
1920	—	—		1964	-18	-414	DE GEMINI, 1964, Boll. CGI 14
1921	18	28	MONTERIN, 1924, Boll. CGI 5	1965	-23	-437	DE GEMINI, 1965, Boll. CGI 15
1922	-13	15	MONTERIN, 1924, Boll. CGI 5	1966	-5	-442	DE GEMINI, 1968-1967-1968, Boll. CGI 16
1923	-6	9	MONTERIN, 1924, Boll. CGI 5	1967	-2	-444	DE GEMINI, 1968-1967-1968, Boll. CGI 16
1924	—	—		1968	-4	-448	DE GEMINI, 1968-1967-1968, Boll. CGI 16
1925	-12	-3	MONTERIN, 1927, Boll. CGI 7	1969	-2	-450	DE GEMINI, 1969, Boll. CGI 17
1926	-2	-5	MONTERIN, 1927, Boll. CGI 7	1970	-10	-460	DE GEMINI, 1970, Boll. CGI 18
1927	-30	-35	MONTERIN, 1928, Boll. CGI 8	1971	—	—	
1928	-22,8	-57,8	MONTERIN, 1929, Boll. CGI 9	1972	-5 (1971)	-465	DE GEMINI, 1972, Boll. CGI 20
1929	-12,2	-70	MONTERIN, 1930, Boll. CGI 10	1973	-15	-480	VALTZ, 1973, Boll. CGI 21
1930	-11,5	-81,5	MONTERIN, 1931, Boll. CGI 11	1974	0	-480	VALTZ, 1974, Boll. CGI 22
1931	-19	-100,5	MONTERIN, 1932, Boll. CGI 12	1975	—	—	
1932	-11,6	-112,1	MONTERIN, 1933, Boll. CGI 13	1976	6 (1975)	-474	VALTZ, 1976, Boll. CGI 24
1933	-14,3	-126,4	MONTERIN, 1934, Boll. CGI 14	1977	—	—	
1934	-16,3	-142,7	MONTERIN, 1935, Boll. CGI 15	1978	—	—	
1935	-19	-161,7	MONTERIN, 1936, Boll. CGI 16	1979	—	—	
1936	-13,5	-175,2	MONTERIN, 1937, Boll. CGI 17	1980	—	—	
1937	-19	-194,2	MONTERIN, 1938, Boll. CGI 18	1981	—	—	
1938	-11,6	-205,8	MONTERIN, 1939, Boll. CGI 19	1982	—	—	
1939	-24,2	-230	MONTERIN, 1940, Boll. CGI 20	1983	—	—	
1940	-7,3	-237,3	VANNI, 1941, Boll. CGI 21	1984	—	—	
1941	-5	-242,3	VANNI, 1942, Boll. CGI 22	1985	—	—	
1942	-8,7	-251	VANNI, 1945, Boll. CGI 23	1986	—	—	
1943	—	—		1987	—	—	
1944	—	—		1988	—	—	
1945	—	—		1989	—	—	
1946	—	—		1990	—	—	
1947	-39 (1943)	-290	DE GEMINI, 1950, Boll. CGI 1	1991	—	—	
1948	—	—		1992	—	—	
1949	—	—		1993	—	—	
1950	—	—		1994	—	—	
1951	—	—		1995	—	—	
1952	—	—		1996	-24,5	-498,5	PALUDI, 1997, C.F.D.Q. 20(2)
1953	-10	-300	DE GEMINI, 1954, Boll. CGI 5	1997	—	—	
1954	-14,5	-314,5	DE GEMINI, 1955, Boll. CGI 6	1998	-135,5(1998)	-634	BERTOLO, 1999, C.F.D.Q. 22(2)
1955	-15	-329,5	DE GEMINI, 1956, Boll. CGI 7	1999	—	—	
1956	-3,5	-333	DE GEMINI, 1958, Boll. CGI 8	2000	-139(1999)	-773	BERTOLO e POLLICINI, 2002 C.F.D.Q. 24
				2001	-43	-816	BERTOLO, 2002, C.F.D.Q. CGI 25

0,4358, per colmare le lacune della serie del Verra. Nella fig. 3 sono riportate le curve di variazioni cumulate con i valori misurati (nero) e con i valori ricostruiti (grigio).

Un'ulteriore elaborazione è stata realizzata utilizzando i dati della stazione meteorologica del Lago Gabiet, situata a quota 2.340 m, sul versante Sud-Est dell'adiacente Valle di Gressoney, seguendo le metodologie di Belloni & alii, 1985. Con il metodo precedente si sono quindi correlati i dati delle variazioni frontali con le temperature medie estive del Gabiet, ma anche in questo caso le correlazioni sono risultate al di sotto di 0,40.

Per un'analisi semiquantitativa delle relazioni fra le variazioni frontali del Ghiacciaio di Verra e i parametri climatici si veda più oltre il paragrafo relativo.

LE VARIAZIONI AREALI RECENTI

Una conferma della tendenza emersa dall'analisi della serie delle variazioni frontali, in particolare per quanto riguarda le brevi interruzioni del regresso nella prima e nella seconda metà del XX secolo, può ricavarsi dal confronto della cartografia.

FIG. 2 - Variazioni frontali del Ghiacciaio Grande di Verra dal 1913 al 2001 (dati CGI). In nero sono riportate le variazioni frontali annuali misurate, in grigio i valori pluriennali misurati (media annua) e in bianco i valori ricostruiti.

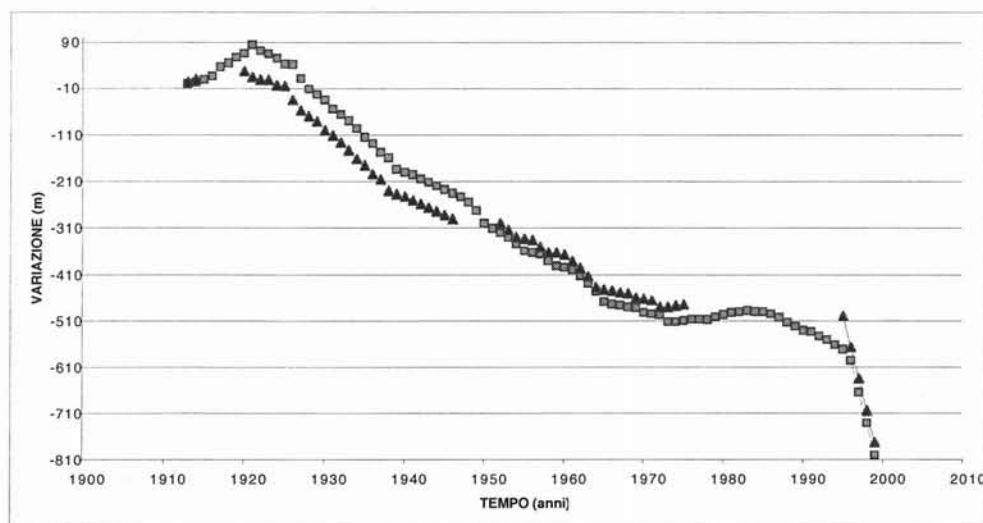
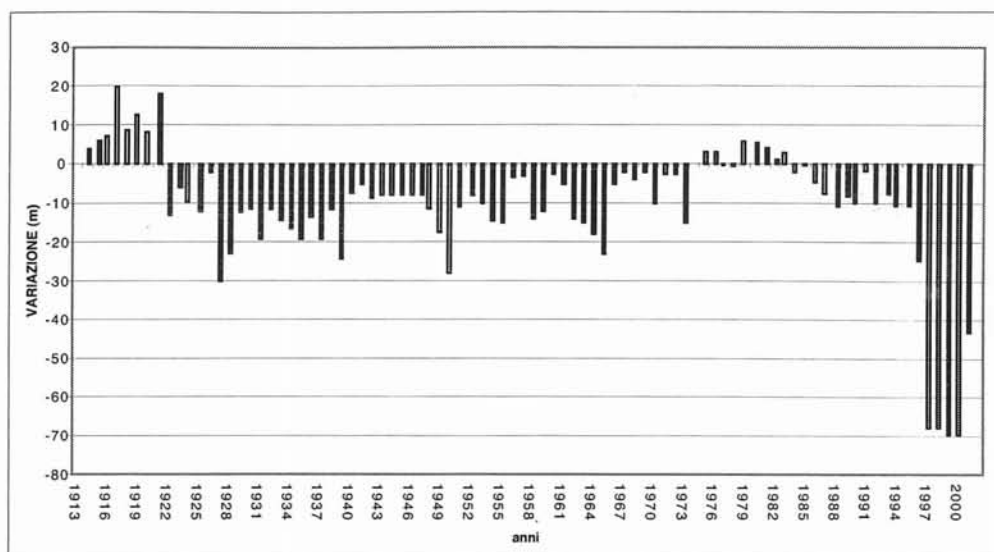


FIG. 3 - Variazioni frontali cumulative del Ghiacciaio Grande di Verra dal 1913 al 2001. La curva x riguarda i dati misurati (fonte CGI), la curva y è stata costruita utilizzando i dati misurati e per i periodi non rilevati utilizzando i dati ricostruiti.

Nel presente contributo, si sono utilizzate diverse carte a media e piccola scala, risalenti a periodi diversi. Il calcolo è stato effettuato grazie ad applicazioni informatiche di AutoCAD Map che hanno permesso di misurare le aree comprese all'interno di una linea chiusa. Il calcolo si è basato sulle carte del 1882 (tavoleta IGM 1:25.000); 1934 (tavoleta IGM 1:25.000); 1956 (Rilievo stereofotogrammetrico CGI 1:5.000); 1975 (C.T.R. 1:10.000); 1991 (C.T.R. 1:10.000); rilievo Carnielli del 2002 (effettuato con GPS e riguardante solo il settore inferiore della lingua). In quest'ultimo caso, per quanto riguarda l'estensione del bacino di alimentazione si è utilizzato il valore della cartografia 1991.

Nella tab. 2 sono presentate le variazioni calcolate dal confronto fra le varie carte; è stata riportata anche la variazione rispetto al massimo della Piccola Età Glaciale

(PEG), la cui superficie è stata ricostruita tenendo conto della distribuzione delle morene attribuibili alla PEG (Pelfini, 1999).

TABELLA 2 - Variazioni areali del Ghiacciaio Grande di Verra dalla Piccola Età Glaciale al 2002

Anno	Area totale (m ²)	% area residua rispetto la PEG	% di perdita areale dalla PEG
PEG	9.857.056	100	0
1882	8.569.156	87	13
1934	7.769.156	79	21
1956	7.306.702	74	26
1975	7.160.927	73	27
1991	7.043.402	71	29
2002	6.822.602	69	31

L'estensione del ghiacciaio nella Piccola Età Glaciale è stata calcolata pari a circa $m^2 9,8 \cdot 10^3$, valore che si riduce a circa $m^2 6,8 \cdot 10^3$ nel 2001 con una riduzione del 31%. Questo dato è confrontabile con quello di altri ghiacciai della Val d'Aosta, in particolare della Valpelline, che nello stesso arco di tempo hanno fatto registrare una diminuzione media pari al 29,2% (Vanuzzo, 2001). Dal grafico della fig. 4 si osserva che la riduzione areale media annua è particolarmente intensa tra il 1934 e il 1956 ($m^2 21.058$), si smorza tra il 1975 e 1991 ($m^2 7.345$) per poi riprendere in modo più accentuato tra il 1991 e il 2001 ($m^2 24.533$). La fase intermedia 1956-1991, che vede un sensibile decremento della riduzione areale media annua, può confermare i pochi dati positivi di variazione frontale della seconda metà del XX secolo, mentre alla pronunciata riduzione areale media annuale che si verifica tra il 1991 e il 2001 corrisponde un regresso frontale che risulta tre volte maggiore (59 m fra 1995 e 2001) rispetto a quello verificatosi negli anni precedenti (tra 1956 e 1976 è di 7 m).

FASI DI ESPANSIONE E MORFOLOGIA RECENTE

Dai dati sulle variazioni frontali emergono, pur in un contesto di intensa deglaciazione dopo la Piccola Età Glaciale, due brevi fasi di inversione di tendenza, nella prima e nella seconda metà del XX secolo. Di queste due fasi si hanno dati più attendibili sulla prima, che ha visto un'espansione di una trentina di metri fra il 1914 e il 1921 (utilizzando i dati ricostruiti il progresso sarebbe stato di 78 m); per la seconda, iniziata nel 1975, in base alle misure il progresso è stato inferiore ad una decina di metri (con i dati ricostruiti si arriverebbe a 16 m). Le fasi di avanzata ed il successivo regresso registrato dalla fronte glaciale hanno lasciato tracce evidenti nel paesaggio come testimonianza dell'evoluzione del Ghiacciaio Grande di Verra successiva alla PEG. A quest'ultima vanno attribuite le grandi classiche morene laterali che con due gigantesche

creste estese per una lunghezza di 6 km, a partire da circa 3.000 m, fino a circa 2.200 m poco più a valle del Lago Blu, racchiudono l'attuale ghiacciaio (le due più recenti avanzate della PEG sono state datate 1821 e 1855-56, Pelfini, 1999).

Le morene ubicate in posizione intermedia sono state attribuite alla fase di espansione del 1914-1921. Queste strutture presentano caratteri morfometrici e morfologici ben diversi dalle forme più antiche: sono di dimensioni molto più ridotte rispetto a quelle della PEG, sono ubicate in posizione interna rispetto a queste ultime, sono solo parzialmente vegetate (con valori massimi di copertura del 70%) e presentano fenomeni di pedogenesi assai limitata; i clasti che le costituiscono sono meno alterati e presentano limitate patine di ossidazione. Le tracce di questa espansione sono rinvenibili fin quasi a circa 2.250 m, non molto più a monte rispetto a quelle della PEG. Le loro dimensioni indicano tuttavia una fronte scarsamente rilevata e una lingua di larghezza e spessore assolutamente non comparabili con quelli della PEG.

I rilievi di terreno hanno permesso di individuare una terza sequenza di morene situate più all'interno di quelle degli Anni Venti, collocate ad una distanza compresa tra i 3 e i 50 m dalla fronte del ghiacciaio nel 2002. Queste forme hanno dimensioni notevolmente più modeste rispetto a quelle degli anni '20 (la loro altezza è dell'ordine di qualche dm e non supera il metro), sono scarsamente vegetate con un basso grado di alterazione dei clasti, non sono normalmente riportate in cartografia e in taluni casi presentano un nucleo di ghiaccio al loro interno, a testimonianza di una loro recente formazione. Questo complesso può essere attribuito alla limitata fase di espansione della seconda metà del XX secolo (Pelfini & Smiraglia, 1990; Rossi & *alii*, 2003). La posizione della fronte glaciale nel 2002 e i complessi morenici individuati, rilevati mediante l'utilizzo di strumentazioni satellitari (GPS), sono riportati nella fig. 5.

Le unità moreniche rilevate sono localizzate in prossimità della zona latero-frontale di sinistra idrografica, a te-

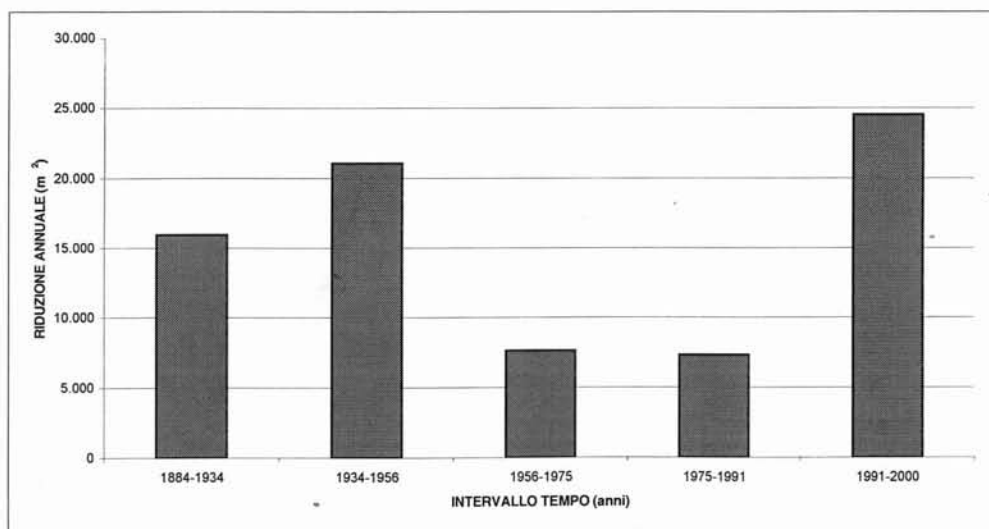
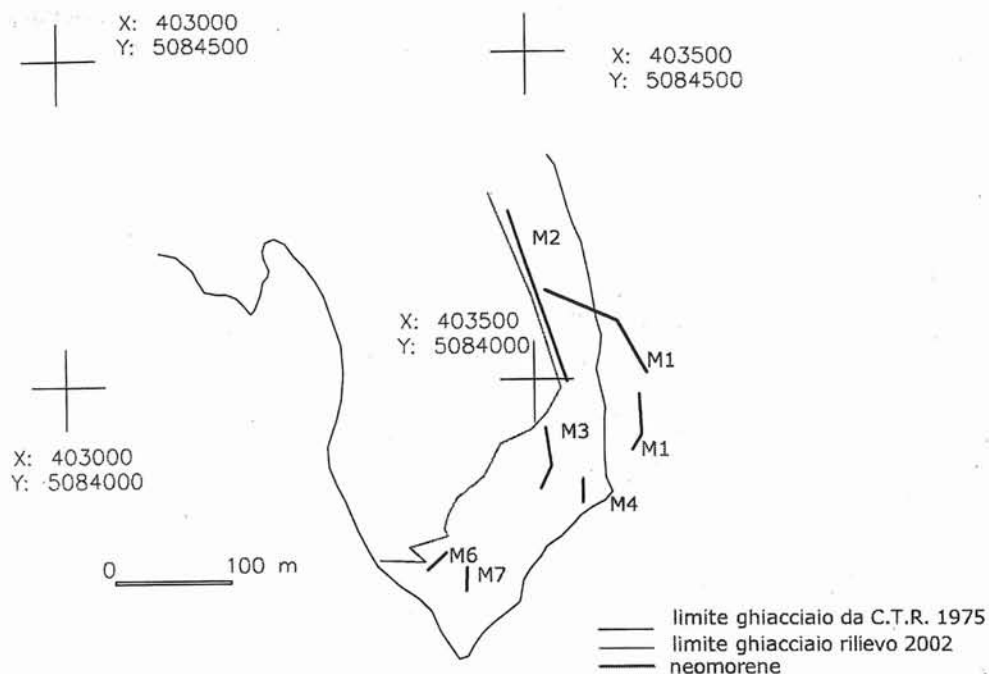


FIG. 4 - Variazioni areali medie annue del Ghiacciaio Grande di Verra dal 1884 al 2001.

FIG. 5 - Distribuzione delle morene della seconda metà del XX secolo e limite della fronte nel 2002.



stimonianza di una parziale risalita della base della morena PEG da parte della fronte in espansione. Parallelamente al margine sinistro della fronte si osserva a contatto con il ghiacciaio una morena di notevole lunghezza (90 m), nel cui interno sono stati individuati nuclei di ghiaccio, derivante dalla transizione da *dump moraine* a *ice-cored moraine* (Benn & Evans, 1998).

I FATTORI CLIMATICI FORZANTI

Tenendo conto dei dati sopra presentati si può affermare che nella seconda metà del XX secolo per il Ghiacciaio Grande di Verra, nell'ambito di una secolare fase di deglaciazione, si è verificato un periodo di limitata espansione, la cui entità e i cui limiti cronologici non sono però nettamente quantificabili. A tale proposito è stata condotta un'analisi finalizzata a identificare i fattori forzanti a livello climatico che hanno favorito il progresso glaciale. Si sono raccolti ed elaborati i dati di alcune stazioni meteorologiche localizzate in posizioni prossime al ghiacciaio (Lago Gabiet, Champoluc, Brusson, Verres) (i dati sono stati gentilmente forniti dall'Ufficio Idrografico del Po e dalla Regione Piemonte). Si sono utilizzati in particolare i dati della stazione del Gabiet, la cui serie storica è risultata essere più completa. Come fattori forzanti principali delle variazioni glaciali si sono prese in considerazione le temperature estive e le precipitazioni invernali. In particolare sono stati calcolati anno per anno gli scarti rispetto alla media 1928-1994 della temperatura estiva (calcolata su 5 mesi da Maggio a Settembre) e delle precipitazioni invernali (calcolate su 7 mesi da Ottobre ad Aprile) (figg. 6 e 7).

I dati relativi alle temperature mostrano che le temperature più elevate si registrano nel periodo compreso tra il 1947 e il 1953, quando lo scarto della temperatura media estiva rispetto alla media pluriennale è di 1,2 °C; tra il 1956 e 1973 si assiste ad una diminuzione graduale che porta ad uno scarto medio di poco superiore a 0 °C. Una più accentuata fase di recrudescenza climatica avviene invece tra il 1973 e 1984, periodo in cui lo scarto medio delle temperature estive è di circa -1 °C; a questo fa seguito un periodo di graduale aumento delle temperature il cui scarto medio rimane comunque inferiore a 0 °C. Per quanto riguarda le precipitazioni, si osserva che ad un periodo che va dal 1952 al 1964 in cui le precipitazioni sono inferiori alla media (-90 mm, pari a -16%), segue una fase più umida in cui i valori presentano uno scarto medio positivo di 130 mm tra il 1972 e il 1979 (pari a +22%). In particolare, in quest'arco di tempo si raggiungono valori massimi tra il 1976 e il 1979 con uno scarto medio di 244 mm (+44%); successivamente le precipitazioni tendono rapidamente a diminuire. Questo quadro pur sintetico conferma nelle linee generali il verificarsi di condizioni climatiche riconducibili alla fase di raffreddamento conosciuto come «Episodio Freddo Posteriore agli Anni Cinquanta» (Pinna, 1996), che ha innescato una situazione favorevole allo sviluppo del glacialismo dalla metà degli anni '70 alla metà degli anni '80, quando si è verificata la coincidenza tra fasi fredde e periodi di maggiore precipitazioni invernali. Questa situazione si concretizza con un'espansione delle masse glaciali, in parte confermata dai dati di variazione frontale, che hanno riguardato la maggior parte dei ghiacciai non solo alpini (Patzelt, 1985; Zanon, 1985; Wood, 1988; Grove, 1988), ma di almeno di tutto l'emisfero settentrionale.

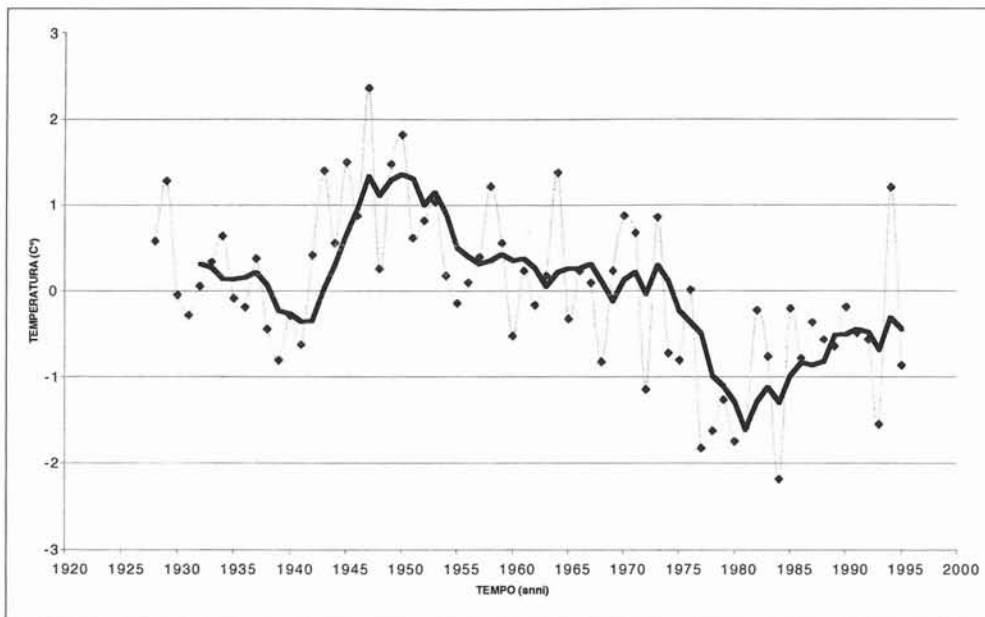


FIG. 6 - Stazione meteorologica del Lago Gabiet. Scarti delle temperature medie estive rispetto alla media 1928-1994 (è indicata anche la media mobile di ordine 5).

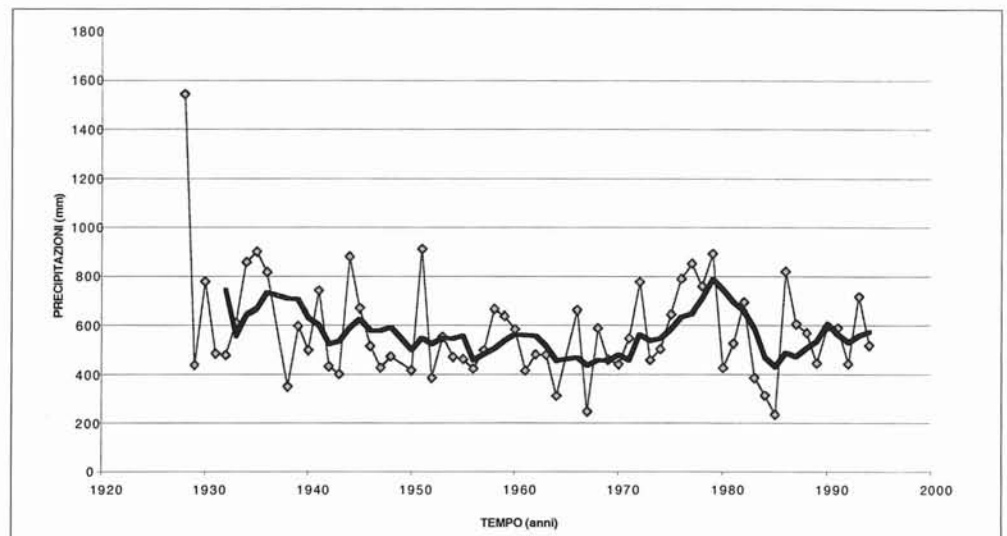


FIG 7 - Stazione meteorologica del Lago Gabiet. Scarti delle precipitazioni medie invernali rispetto alla media 1928-1994 (è indicata anche la media mobile di ordine 5).

CONCLUSIONI

Mediante le diverse metodologie applicate (confronti cartografici, elaborazione di dati sulle variazioni frontali, ricostruzioni statistiche, rilievi di terreno) è stato possibile ottenere un quadro sufficientemente dettagliato della dinamica recente del Ghiacciaio Grande di Verra durante il XX secolo. Dalla conclusione della Piccola Età Glaciale ad oggi il ghiacciaio ha subito un' intensa fase regressiva che ha portato ad una riduzione areale complessiva del 31% e a partire dal 1913, una diminuzione di lunghezza di circa 816 m (870 m colmando le lacune con metodi statistici). Analogamente a quanto è avvenuto per molti altri ghiacciai alpini, tale regresso ha subito brevi inversioni di tendenza con fasi di espansione di limitate

dimensioni negli anni Venti e negli Sessanta-Ottanta del XX secolo, che hanno lasciato evidenti tracce geomorfologiche, in particolare morene frontali e latero-frontali. La fase di espansione della seconda metà del XX secolo avviene in concomitanza con un raffreddamento climatico (definito «Episodio Freddo Posteriore agli Anni Cinquanta») che si è manifestato sulle Alpi a partire dagli anni 50 e che nella zona del Monte Rosa (Lago Gabiet) ha comportato una riduzione delle temperature estive di -1°C rispetto alla media 1928-1994. Il successivo aumento di temperatura verificatosi dopo la metà degli anni Ottanta $1,2^{\circ}\text{C}$ viene registrato dal Ghiacciaio di Verra con un netto arretramento frontale che tra il 1990 e il 2001 raggiunge valori annuali quasi triplicati rispetto a quelli degli anni precedenti.

BIBLIOGRAFIA

- BELLONI S., CATASTA G. & SMIRAGLIA C. (1985) - *Parametri climatici e oscillazioni frontali dei ghiacciai italiani nell'ultimo sessantennio*. In: Pinna M. (a cura di), *Contributi di climatologia*. Mem. Soc. Geogr. It., 39, 169-193.
- BENN D.I. & EVANS D.J.A. (1998) - *Glaciers & Glaciation*. Arnold, London.
- CERUTTI A.V. (1975) - *Le condizioni termometriche e nivometriche del periodo 1936-70 sul versante meridionale del Monte Bianco e le variazioni di volume delle precipitazioni nevose nei bacini glaciali*. Boll. Comit. Glac. It., ser. II, 23, 31-50.
- CERUTTI A.V. (1977) - *Variazioni climatiche, alimentazione ed oscillazioni glaciali sul massiccio del Monte Bianco*. Boll. Comit. Glac. It., ser. II, 25, 53-88.
- CERUTTI A.V. (1985) - *Le variazioni glaciali e climatiche durante l'ultimo secolo nei gruppi del Monte Bianco e del Monte Rosa*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 124-126.
- DAINELLI G. (1902a) - *Alcune osservazioni sui ghiacciai del versante italiano del Monte Rosa*. Boll. C.A.I., 68, 35, 254-292.
- DAINELLI G. (1902b) - *Sullo stato attuale dei ghiacciai del Monte Rosa*. Rend. R. Acc. dei Lincei, 11, 120-170.
- DAINELLI G. (1906) - *Alcune notizie sopra i ghiacciai delle valli di Gressoney e di Ayas*. Zeitschr. Gletscherk. u. Glazialgeol., I Band, 254-286.
- DE GEMINI F. & VALTZ L. (1956) - *Rilevamento stereofotogrammetrico dei Ghiacciai Grande di Verra, Piccolo di Verra e Castore (Val d'Ayas)*. Boll. Comit. Glac. It., ser. II, 7, 20-28.
- DE GEMINI F. (1962) - *Il ghiacciaio Grande di Verra e le sue variazioni negli ultimi decenni*. Boll. Comit. Glaciol. It., ser. II, 12, 23-40.
- IPCC (2001) - *Climate Change 2001*. Synthesis Report. Cambridge University Press.
- GROVE J.M. (1988) - *The Little Ice Age*. Routledge, London.
- MARTELLI A.E. (1882) - *Una gita ai ghiacciai di Verra e di Ventina*. Boll. C.A.I., 17, 235-273.
- MONTERIN U. (1914) - *Osservazioni sui ghiacciai del Gruppo del Monte Rosa nel versante d'Ayas e di Gressoney*. Boll. Comit. Glaciol. It., ser. I, 1, 81-85.
- MONTERIN U. (1918) - *Introduzione allo studio dei ghiacciai italiani del Monte Rosa*. Boll. Comit. Glaciol. It., ser. I, 3, 104-119.
- PATZELT G. (1985) - *The period of glacier advances in the Alps, 1965 to 1980*. Zeitschr. Gletscherk. u. Glazialgeol., 21, 403-407.
- PELFINI M.M. (1999) - *La Piccola Età Glaciale e la sua registrazione negli archivi naturali (alcuni esempi nelle Alpi Italiane)*. Studi geografici e geologici in onore di Severino Belloni, Genova, 150-165.
- PELFINI M. & SMIRAGLIA C. (1990) - *Le morene di neoformazione del Ghiacciaio della Sforzellina (Gruppo del Cevedale, Alpi Lombarde)*. Riv. Geogr. It., 97, 59-75.
- PINNA M. (1996) - *Le variazioni del clima. Dall'ultima glaciazione alle prospettive per il XXI secolo*. Angeli, Milano
- ROSSI S., DIOLAIUTI G., FORASACCO E., MONTRASI L., PELFINI M., SMIRAGLIA C. & SPREAFICO P. (2003) - *Evidenze geomorfologiche della più recente espansione glaciale correlabile con l'episodio freddo degli anni '50-'70 del XX secolo sulle Alpi lombarde*. In: «Risposta dei processi geomorfologici alle variazioni ambientali. Atti del Convegno Conclusivo Programma MURST 1997, Bologna 10-11 febbraio 2000», Brigati, Genova, 377-396.
- SACCO F. (1919) - *Il glacialismo antico e moderno nelle alte valli di Ayas (Evançon) e di Gressoney (Lys) (Valle d'Aosta)*. Boll. R. Com. Geol. d'It., 47, 146-162, 226-228.
- SACCO F. (1924) - *La fronte del ghiacciaio di Verra (Valle d'Ayas) nel 1923*. Boll. Comit. Glaciol. It., ser. I, 5, 65-71.
- VANUZZO C. (2001) - *The glacier retreat in Valle d'Aosta (Western Italian Alps) from the little ice age to the second half of the 20th century: linear, areal, volumetric, and equilibrium line altitude changes*. Boll. Comit. Glaciol. It., ser. III, 24, 99-113.
- VANNI M. (1953) - *I ghiacciai della Val d'Aosta*. Boll. Comit. Glaciol. It., ser. II, 4, 127-133.
- WOOD F. (1988) - *Global alpine glacier trends 1960s to 1980s*. Arct. Alp. Res., 20, 4, 404-413.
- ZANON G. (1985) - *L'attuale tendenza evolutiva dei ghiacciai delle Alpi italiane*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 89-96.