

MANUELA PELFINI - CLAUDIO SMIRAGLIA

I GHIACCIAI, UN BENE GEOMORFOLOGICO IN RAPIDA EVOLUZIONE (*)

Introduzione. – Che fra i «beni culturali», accanto alle «opere dell'uomo», debbano essere prese in considerazione anche le «opere della natura» è ormai un'acquisizione non solo della ricerca scientifica, ma anche della pubblica opinione (Panizza, 1988). Lo stesso si può affermare a proposito delle esigenze di conoscenza e di valorizzazione, nonché di protezione di questi «beni», che possono essere definiti vere e proprie risorse di un territorio (Burlando, 1997a). Fra i beni culturali naturali spiccano i beni geomorfologici (Panizza, 2001), sicuramente i più diffusi, i più spettacolari e forse i più facilmente acquisibili, in quanto elementi caratterizzanti e determinanti di ogni paesaggio. L'interesse per i beni geologici in senso lato («geositi»), e in particolare geomorfologici («geomorfositi»), per il loro censimento, per la loro protezione e valorizzazione è abbastanza recente; dopo qualche lavoro pionieristico (per esempio Nangeroni, 1968), bisognerà attendere gli anni Novanta del XX secolo perché cominci a svilupparsi una «cultura scientifica in campo geo-protezionistico» (Panizza e Piacente, 2002). In tempi recenti, dopo il secondo simposio internazionale sulla protezione del patrimonio geologico svoltosi a Roma nel 1996, numerose iniziative e realizzazioni hanno ulteriormente contribuito alla diffusione delle tematiche sulla classificazione, protezione e valorizzazione dei geositi. Si possono ricordare a questo proposito la costituzione del «Gruppo ProGEO-Italia», il convegno di Bologna del 2000, dedicato a *Geologia e turismo, territorio, cultura e tempo libero*, il convegno di Modena *Geomorphological Sites: Research, Assessment and Improvement* del giugno 2002, la nascita sempre nel 2002 dell'Associazione Geologia & Turismo, due programmi di ricerca MIUR-COFIN, il primo con il coordinamento nazionale presso l'Università di Modena e di Reggio Emilia dedicato a *Geositi nel paesaggio italiano: ricerca, valutazione e valorizza-*

(*) Contributo realizzato nell'ambito del progetto MURST-COFIN 2000: *La valorizzazione turistica dello spazio fisico come via alla salvaguardia ambientale* (responsabile nazionale R. Terranova; responsabile locale M. Pelfini); e del progetto MIUR-COFIN 2002: *Il clima e i rischi geomorfologici in relazione allo sviluppo turistico* (responsabile nazionale M. Piccazzo; responsabile locale M. Pelfini).

zione, il secondo con il coordinamento presso l'Università di Genova dedicato a *La valorizzazione turistica dello spazio fisico come via alla salvaguardia ambientale*.

Sono ormai numerosi i lavori pubblicati che censiscono, valutano, propongono metodologie di salvaguardia e di valorizzazione dei geomorfositi del territorio italiano; fra gli altri si possono ricordare quelli della provincia di Modena e dell'Appennino Modenese (Panizza e altri, 1983; Bertacchini e altri, 1999), della Liguria (Burlando, 1997b; Brancucci e Burlando, 1999), della Sardegna (Barca e Di Gregorio, 1991). Meno interesse hanno invece suscitato le aree di alta montagna (questo termine generico viene usato per indicare le zone al di sopra del limite della vegetazione arborea; Smiraglia, 2001a). Ciò può essere dovuto a numerosi fattori, fra i quali l'oggettiva minore estensione di queste aree rispetto ad altre poste a quote minori, la maggiore difficoltà di percorrenza e quindi di verifica sul terreno dei dati raccolti con metodologie indirette, la minore frequentazione turistica e quindi la più limitata necessità (almeno a livello teorico) di conoscenza dei sistemi morfogenetici e di salvaguardia dei geomorfositi. Alcuni lavori di censimento dei geomorfositi hanno riguardato la provincia di Torino (Mortara, 2001), mentre altri sono stati dedicati in particolare ai beni geomorfologici di origine glaciale dell'alta Valtellina e alla loro valorizzazione (Diolaiuti e altri, 2001; 2002) e ai ghiacciai lombardi (Pelfini e altri, 1989).

Almeno due motivazioni, strettamente correlate, suggeriscono tuttavia di dedicare più interesse ai geomorfositi dell'alta montagna. Da un lato si pone infatti l'esigenza di salvaguardia e di corretta valorizzazione creata dall'incremento della frequentazione turistica, che ha portato l'alpinismo e l'escursionismo a divenire attività di massa non solo sulla catena alpina, ma anche sulle catene montuose extraeuropee, come l'Himalaya, con l'inevitabile massiccio ampliamento dell'impatto antropico. Dall'altro ci si trova di fronte a beni geomorfologici la cui evoluzione è estremamente rapida e può portare in tempi brevi (dell'ordine dei decenni) non solo a variazioni sensibili della loro geometria, ma anche alla loro completa estinzione.

Queste ultime considerazioni si possono applicare in particolare a una tipologia di morfologie, i ghiacciai, che spiccano per fascino e spettacolarità nel paesaggio dell'alta montagna e che più di altri elementi dello stesso sistema morfoclimatico sono caratterizzate da una dinamica molto veloce di risposta alle modificazioni climatiche, che si concretizza non solo in avvertibili variazioni di forma e volume, ma anche in sensibili variazioni paesaggistiche.

Nel presente contributo si vuole dimostrare la possibilità di considerare i ghiacciai come beni culturali e in particolare geomorfositi, suggerendo un approccio che deve essere basato sulla conoscenza scientifica del bene geomorfologico, sulla conoscenza delle leggi naturali che ne regolano l'evoluzione e sulla conoscenza del suo valore per l'uomo. Nel caso specifico va ribadito che i processi naturali sono particolarmente rapidi (si sono fra l'altro accelerati nell'ultimo ventennio) e che l'evoluzione è ampiamente percepibile a scala umana, cosicché l'importanza dei ghiacciai come risorsa di acqua dolce, come fonte di energia idroelettrica e come risorsa economico-turistica, aggiunta all'in-

teresse geomorfologico, li rende beni preziosi da tutelare e valorizzare. Va infine sottolineato che, anche per i ghiacciai, è importante considerarne il valore in modo integrato con altri beni culturali, in modo che le scelte politiche relative agli ambienti di alta montagna possano disporre di una base per un rapporto corretto tra natura, cultura ed esigenze socio-economiche.

Il ghiacciaio come bene geomorfologico o geomorfosito. – La possibilità di attribuire alla tipologia morfologica «ghiacciaio» o a parti di questo la qualifica di bene geomorfologico o geomorfosito deve basarsi sulla presenza di particolari requisiti. Per la loro identificazione in questo lavoro ci si è basati sullo schema concettuale proposto da Panizza (1992, 2001) e da Bertacchini e altri (1999), e sulle definizioni messe a punto a livello internazionale e nazionale. In sintesi la qualificazione di un'evidenza geomorfologica come bene geomorfologico deve basarsi su un valore complessivo derivante dalla sommatoria di valori conferiti da attributi di quattro tipi: scientifico, culturale, socio-economico e scenico. Ciascun attributo trae il proprio valore da alcune valenze specifiche, che a loro volta possono assumere un valore più o meno elevato in rapporto alla rarità della forma considerata.

In questo lavoro, dopo una breve presentazione degli attributi culturale, socio-economico e scenico, che possono conferire valore ad un ghiacciaio, ci si soffermerà sull'attributo scientifico e sulle sue valenze, in quanto più vicino alle competenze della geografia fisica e della geomorfologia.

L'attributo culturale. La complessa definizione di cultura, in cui entrano caratteri storici, filosofici, artistici, scientifici, sociali e antropologici di un gruppo umano, renderebbe ovviamente molto vasta e articolata qualsiasi riflessione approfondita sull'attributo culturale riferibile ai ghiacciai. E' fuori di dubbio, per esempio, che l'evoluzione e lo sviluppo della nostra specie siano intimamente connessi alle pulsazioni glaciali pleistoceniche e anche a quelle oloceniche (per queste ultime basti ricordare l'itinerario di Ötzi verso i ghiacciai del Similaun in un paesaggio che circa 5.000 anni fa verso i 3.200 m di quota non doveva essere molto dissimile da quello attuale) (Mohen e Eluère, 1997).

Potrebbero comunque essere numerosissimi gli esempi delle correlazioni fra i ghiacciai, anche limitandoci a quelli alpini, e la storia, il comportamento, l'arte, il mito, la scienza delle popolazioni direttamente legate alla montagna in quanto ivi insediate oppure in qualche modo interessate per motivi commerciali, strategici, sportivi (Smiraglia, 2001b) (fig. 1). Da Simler a Ruskin, da de Saussure a Segantini, da Rousseau a Wolf, da Shelley ad Agassiz, l'elenco dei personaggi che hanno «fatto cultura» anche in riferimento ai ghiacciai è veramente inesauribile, così come impossibile sarebbe citare in modo esaustivo le leggende e i miti in cui i ghiacciai sono protagonisti (dall'Ebreo errante alla Valle Perduta, dall'uomo «selvadego» ai dannati del Monte Rosa...).

Come ultimo esempio valga lo stretto rapporto fra i ghiacciai e alcuni eventi della prima guerra mondiale. E' noto che la linea del fronte italo-austriaco passava sulle creste di alcuni gruppi montuosi ampiamente glacializzati, come l'Or-

ties-Cevedale, l'Adamello, la Marmolada. I ghiacciai furono teatro, oltre che di attacchi e contrattacchi (culminati nel 1918 con la battaglia del San Matteo a 3.684 m di quota), anche di imprese alpinistiche di alto livello e di vere e proprie opere di «ingegneria glaciale» (Viazzi, 1976). Lunghe gallerie furono infatti scavate all'interno dei ghiacciai per sorprendere gli avversari (come sulla parete nord di Cima Trafoi) oppure per dare riparo e sicurezza ai soldati (come la Città di ghiaccio della Marmolada), mentre altri elementi della morfologia glaciale, in particolare le alte morene di sponda della Piccola Età Glaciale venivano utilizzate per realizzare trincee in posizione strategica, come lungo i ghiacciai dei Forni, di Rosole, di Cedech. Va anche ricordato che le tracce concrete di questi eventi sono ben visibili sulla superficie dei ghiacciai alpini a causa della recente fase di intensa fusione; vengono infatti alla luce attrezzature belliche, filo spinato, resti di approvvigionamenti e di baracche, armi, frammenti di granate, bossoli, bombe inesplose (che costituiscono un forte ma spesso pericoloso richiamo turistico), oltre a cadaveri più o meno conservati.

L'attributo socio-economico. Irrigazione, produzione di energia idroelettrica, attrazione turistica sono sicuramente i principali valori dell'attributo socio-economico dei ghiacciai. Se ci si limita alle sole Alpi italiane, pur con le difficoltà di una quantificazione attendibile, si può affermare che le risorse idriche rappresentate dai ghiacciai costituiscono un volume totale di circa 17 miliardi di m³ di acqua, l'equivalente di un lago di 400 km² con uno spessore di poco più di una trentina di metri. Se si tiene poi conto delle caratteristiche idrologiche dell'alimentazione glaciale che vede i maggiori deflussi durante i mesi estivi, l'importanza del glacialismo nell'irrigazione in campo agricolo assume il giusto rilievo.

Sono soprattutto le grandi valli intermontane, come la Valle d'Aosta, la Valtellina, la Valle dell'Adige a sfruttare le acque di deflusso glaciale per l'economia agricola. In queste aree, racchiuse fra le montagne più elevate delle Alpi, che bloccano i flussi delle masse d'aria cariche di umidità, le precipitazioni sono paragonabili a quelle di un clima sub-desertico (attorno a 500 mm annui). Ad Aosta, per esempio, la media annua degli ultimi cinquant'anni è stata di 583 mm, poco meno del fondovalle valtellinese che fra Ardenno e Tirano riceve meno di 800 mm di precipitazioni; a questo totale limitato si aggiunge, almeno per la Valle d'Aosta, la quasi siccità estiva (non più di 120 mm). Con una simile quantità di precipitazioni il fondovalle aostano dovrebbe essere una zona stepica; il paesaggio alterna invece prati e frutteti e nulla lascia immaginare che ci si trovi in una delle zone più aride d'Italia. Da secoli infatti vengono captate con una fitta rete di canali artificiali le acque di fusione glaciale per irrigare la zona centrale siccitosa. Si valuta che le portate estive della Dora Baltea siano costituite per almeno due terzi dalle acque di fusione, che sono utilizzabili proprio quando l'irrigazione diviene indispensabile per le colture agricole. Si può inoltre ricordare che l'irrigazione assorbe una quantità di acqua corrispondente ad una portata di 40 m³/sec in aprile e maggio, che aumentano fino a 100 m³/sec durante l'estate, quando all'acqua fornita alle colture e ai prati di fondo-

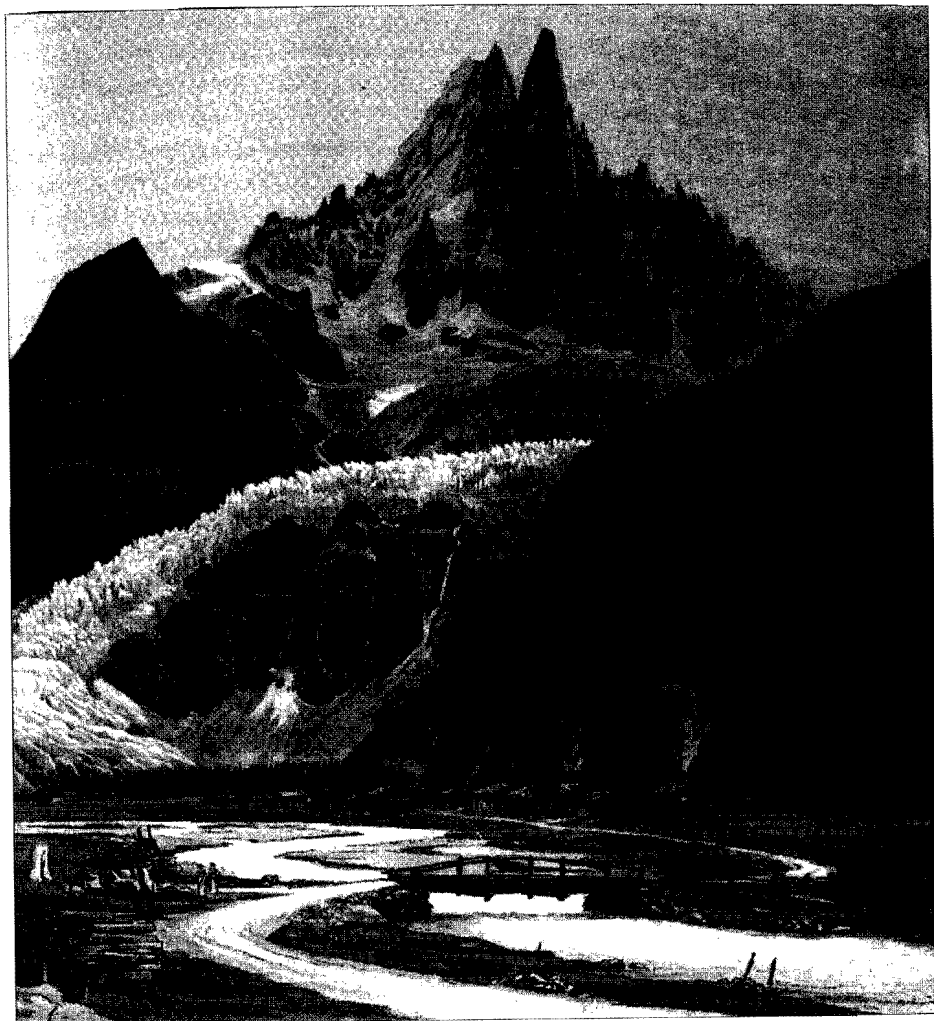


Fig. 1 – I ghiacciai: l'attributo culturale

L'acquerello di Samuel Birman rappresenta il Ghiacciaio des Bois nell'agosto 1823. Oltre alle suggestioni artistiche, l'opera offre la possibilità di un confronto fra il paesaggio della Piccola Età Glaciale, quando la colata sfiorava le case di Chamonix, e la situazione attuale con il ghiacciaio denominato Mer de Glace non più visibile

valle si aggiunge quella per i pascoli di alta montagna (Cerutti, 1995). Va infine aggiunto che dalla Dora Baltea a valle del confine orientale della Valle d'Aosta vengono derivati durante l'estate altri 80 m³/sec che alimentano il Canale Cavour e la risicoltura della pianura vercellese.

Come si è accennato più sopra, le acque di fusione glaciale costituiscono anche una importante risorsa in campo energetico. Negli anni Venti e Trenta del XX secolo vennero realizzati numerosi bacini, spesso sfruttando le sovraescavazioni derivanti dal modellamento degli antichi ghiacciai pleistocenici. Fra questi, in Val d'Aosta i laghi del Gabet (2.365 m di altitudine, capacità di 5 milioni di m³) e di Goillet-Cignana (capacità complessiva 3 milioni di m³), che raccoglievano e regolavano rispettivamente le acque del Ghiacciaio d'Indren (Monte Rosa) e quelle dei ghiacciai del Cervino e delle Grandes Murailles, e in Valtellina quella di Cancano (24 milioni di m³). Nel dopoguerra la richiesta di energia, soprattutto da parte delle industrie dell'Italia settentrionale, aumentò in modo massiccio e fu necessario realizzare serbatoi con capacità anche di 100 milioni di m³. In Val d'Aosta, per esempio, vennero costruiti gli impianti di Valgrisenche (70 milioni di m³) e di Place Moulin (105 milioni di m³). La scelta, dopo gli anni Settanta, di incrementare massicciamente l'uso delle fonti termoelettriche a discapito di quelle idroelettriche (che nel 2000 sfioravano il 25% della produzione totale) ha naturalmente ridimensionato l'importanza delle acque glaciali, a differenza di quanto avviene nelle valli francesi, svizzere e austriache. Poiché oggi non sussistono più le condizioni per la costruzione di grandi invasi, la produzione di energia idroelettrica può derivare da impianti ad acqua fluente che abbiano un ridotto impatto sul regime idrologico e sull'ambiente. In questo contesto i ghiacciai delle Alpi italiane, che in sintesi come volume complessivo di acqua sono paragonabili a oltre un centinaio dei bacini maggiori sopra elencati, possono veramente rivestire un ruolo strategico di importanza non secondaria.

Per quanto riguarda l'importanza dei ghiacciai come fattori di polarizzazione turistica è appena il caso di ricordare che in circa duecento anni la frequentazione alpinistica dell'alta montagna si è trasformata da episodica iniziativa elitaria ad attività che coinvolge ogni estate centinaia di migliaia di persone (è una transizione che in altre catene montuose ampiamente glacializzate come l'Himalaya e il Karakorum ha richiesto un arco di tempo di circa mezzo secolo). E' difficile quantificare il numero di presenze e il conseguente peso economico della frequentazione turistica delle zone montane glaciali. Certamente basta percorrere le «vie normali» delle più alte montagne alpine, dove il ghiacciaio costituisce una parte preponderante dell'itinerario (per esempio il Monte Bianco dal versante francese, la Punta Gnifetti del Monte Rosa dal versante italiano, il Pizzo Bernina, la Marmolada ecc.), per constatare che ci si trova veramente di fronte a un fenomeno di massa. Lo stesso si può dire per i percorsi di *trekking* himalayani, come quello che porta ai piedi dell'Everest lungo il Ghiacciaio Khumbu, frequentato annualmente da alcune migliaia di turisti. Si tratta di attività dal notevole peso economico, anche per l'indotto da esse creato (abbigliamento tecnico, impianti di risalita, infrastrutture per il pernottamento, guide e

portatori ecc.). Un indicatore indiretto della frequentazione dell'alta montagna glacializzata e della sua variazione nel tempo, che in ogni caso sicuramente sottostima il fenomeno, può essere costituito dal numero dei rifugi e soprattutto dal numero dei loro posti letto. Valga come unico esempio il Rifugio Gnifetti a 3.611 m sul versante italiano del Monte Rosa, punto di sosta lungo la via più facile per la Punta Gnifetti, 4.454 m, i cui posti letto sono passati da 20 nel 1886 agli attuali 280 (Smiraglia e Diolaiuti, 2002).

Un caso particolare di risorsa economica è lo sfruttamento dei ghiacciai per lo sci estivo. Sul versante italiano delle Alpi sono numerosi gli apparati glaciali utilizzati per periodi più o meno lunghi per questa attività (Ghiacciaio Indren sul Monte Rosa, Scerscen Inferiore sul Bernina, Presena sull'Adamello, Vedretta Piana, Madaccio, Platiglole e Vitelli al Passo dello Stelvio, Cevedale, Marmolada, Gioio Alto in Val Senales). La fase di contrazione glaciale in atto e la relativa difficoltà di accesso, unite a motivazioni più strettamente socio-economiche, hanno costretto alla chiusura di alcuni impianti (Scerscen, Cevedale presso il Rifugio Casati, Indren) o al loro utilizzo solo per una parte della stagione estiva (Presena). Anche gli apparati più estesi e di più antico utilizzo, come quelli del Passo dello Stelvio, hanno comunque visto una continua evoluzione degli impianti in parte per ammodernamento, ma in gran parte per riduzione o scomparsa di intere porzioni di ghiacciaio. Le stesse variazioni nella topografia del ghiacciaio inducono cambiamenti delle pendenze delle piste da sci e rendono necessari interventi di sistemazione delle stesse e degli impianti di risalita. E' questo il caso dei ghiacciai dello Stelvio dove quanto rimane degli impianti utilizzati sul Ghiacciaio delle Platiglole appare oggi posato su roccia con totale assenza di ghiaccio e gli impianti di risalita hanno subito nel corso degli anni cambiamenti nella loro posizione, estensione e numero. Studi recenti hanno messo in evidenza lo stretto rapporto fra dinamica meteo-climatica e utilizzo dei ghiacciai dello Stelvio per lo sci estivo (Diolaiuti e altri, 2001; Belò e altri, 2002). Emblematico è il confronto fra le stagioni estive 2000 e 2001. In una tendenza generale alla riduzione del numero di passaggi sugli impianti di risalita nel comprensorio sciistico dello Stelvio (da poco meno di tre milioni nel 1996 a 1,5 milioni nel 1999), si è arrivati a circa 800.000 nel 2000, risaliti però a un milione nel 2001. Il confronto fra le condizioni meteorologiche delle due annate offre risultati interessanti: l'inverno 2000-2001 ha avuto il doppio delle precipitazioni solide dell'inverno 1999-2000, mentre l'estate 2001 ha fatto registrare 492 gradi-giorno positivi rispetto agli 836 dell'estate 2000. Questo in pratica ha comportato una durata diversa della stagione sciistica fra le due annate e una diversa qualità dell'utilizzo sciistico dei ghiacciai (apertura di crepacci, emersione di aree detritiche, chiusura di piste e tracciati di impianti nel 2000) (fig. 2).

L'attributo scenico. Che ai ghiacciai l'attributo scenico conferisca un valore particolare non è certo da porre in discussione. La transizione culturale che trasforma l'alta montagna da luogo privo di fascino, caotico, non degno di attenzione perché poco poetico, nel regno del selvaggio e della maestosità divina avviene a fine Settecento (Lombardo, 2002). Sono soprattutto i romantici



a

Fig. 2 – I ghiacciai: l'attributo socio-economico

L'escursionismo, l'alpinismo (a), lo sci estivo (b) e in senso lato il turismo di alta montagna costituiscono le forme più diffuse di utilizzo delle aree glaciali e hanno contribuito alla rivalorizzazione socio-economica di zone di alta montagna. La foto 2b: comitiva di sciatori sulla Vedretta Piana (Stelvio), 1930, è tratta da Club Alpino Italiano, *Cento anni di alpinismo*, Bologna, Locati, 1973



b

inglesi, sull'onda della nuova sensibilità estetica, a guardare alle vette e ai ghiacciai come ai luoghi che più si avvicinavano ai canoni del sublime. L'interesse crescente verso il panorama, la possibilità di osservare vasti orizzonti identificabili con la grandiosità della natura, la ricerca di libertà e di spazi immensi furono sicuramente fra le motivazioni fondamentali dello sviluppo del turismo alpino e dell'alpinismo in senso stretto. La lettera di Shelley del 25 luglio 1816, che descrive una sua escursione ai ghiacciai di Chamonix e del Monte Bianco, potrebbe essere il manifesto di questo acquisito valore scenografico dei ghiacciai alpini: «Siamo ritornati dalla visita al ghiacciaio de Montanvert o, come lo chiamano, Mer de Glace: una scena, in realtà, d'una vertiginosa e prodigiosa bellezza [...] La valle stessa è colmata da una massa di ghiaccio ondulato ed ha una pendenza graduale anche verso i più remoti abissi di queste orribili solitudini [...] Ha un aspetto tale per cui sembra che il gelo abbia indurito improvvisamente le onde e i gorgi di un impetuoso torrente [...] Le onde si innalzano fino a 12 o 15 piedi sulla superficie del ghiacciaio che è intersecato da fenditure di incommensurabile profondità, le cui pareti di ghiaccio sono di un azzurro più bello di quello del cielo». Certamente nella frequentazione dell'alta montagna glacializzata altre motivazioni si aggiungeranno nel tempo, in particolare quelle di tipo più strettamente esplorativo e sportivo; l'attrazione e il fascino del panorama restano tuttavia anche oggi un fattore indiscusso di polarizzazione del turismo alpino. L'attrattiva scenica, il panorama il più vasto possibile su vette e ghiacciai diventano merce preziosa, i «belvedere» si moltiplicano anche in rapporto all'evoluzione tecnologica dei mezzi di trasporto e comunicazione. Una fitta rete di treni e di funivie (l'esempio classico è quello delle montagne svizzere!) porta il turista sempre più in alto a diretto contatto con i ghiacciai. Si pensi ai classici siti del Gornergrat, raggiungibile dal 1898 con la ferrovia a cremagliera, o dello Jungfrauoch (la costruzione della ferrovia inizia nel 1912), «belvedere» rinomati a livello internazionale aperti verso i ghiacciai del Monte Rosa (il Gorner in particolare) e dell'Aletsch; per il Gorner si è aggiunta dal 1980 la terrazza panoramica della cima del Piccolo Cervino a 3.820 m di quota, raggiungibile con una funivia e con un ascensore interno (fig. 3).

L'attributo scientifico e le sue valenze. Come detto precedentemente, per inquadrare l'evidenza geomorfologica «ghiacciaio», ci si soffermerà in particolare sull'attributo «scientifico» e sulle sue valenze che, sempre seguendo Panizza (1992), comprendono: il modello di evoluzione geomorfologica, l'esemplarità didattica, la testimonianza paleogeomorfologica, il supporto ecologico, con grado di interesse locale, regionale, nazionale o mondiale e con la valutazione del grado di conservazione. L'attribuzione di tali parametri permette di censire e di valutare il ghiacciaio come geomorfosito e pertanto può rappresentare un tentativo di sintetizzare la sua importanza scientifica.

E' appena il caso di sottolineare che i ghiacciai rappresentano comunque siti di rilevanza geomorfologica per la loro diffusione, la loro varietà tipologica – in questo caso il termine «geodiversità» proposto da Panizza e Piacente (2002),

sembra particolarmente adatto – e la loro rapida dinamica che li rende indicatori climatici fondamentali.

Per limitarci alle Alpi italiane va ricordato che nell'ultimo catasto del Comitato Glaciologico Italiano sono state censite poco più di 1.000 unità glaciali (Ajassa, 1997). Le tipologie morfologiche sono svariate; si passa infatti dai grandi ghiacciai vallivi semplici e composti con lingue pronunciate diffusi nel gruppo del Monte Bianco e del Monte Rosa (per esempio il Ghiacciaio del Lys) ai ghiacciai di circo, molto più numerosi, che si annidano nella maggior parte delle testate vallive della catena alpina, ai glacionevati, ancor più numerosi, fino ai *debris-covered glacier*, come il Miage o il Belvedere.

Il ghiacciaio come modello di evoluzione. – A proposito della valenza scientifica è opportuno sottolineare l'aspetto forse più caratterizzante dell'evidenza geomorfologica «ghiacciaio», cioè la rapidità di trasformazione causata dal suo breve tempo di risposta (a parte naturalmente le calotte polari) alle dinamiche climatiche. L'acquisizione di un particolare ghiacciaio come geomorfosito basata sulla sua rappresentatività come modello di evoluzione deve quindi tenere conto della sua limitata persistenza temporale, che può anche essere solo di pochi decenni. E' quindi chiaro che il riferimento concettuale deve essere costituito dalla fase evolutiva in cui il ghiacciaio si trova al momento del censimento e quindi dalla sua classificazione attuale; questa può essere, facendo riferimento alla classificazione internazionale del World Glacier Monitoring Service, sia di tipo primario (*valley glacier, mountain glacier, glacieret and snowfield*), sia di tipo formale (*compound basin, simple basin, cirque, niche, crater* ecc.). Si tratterà quindi di identificare quegli apparati che in *quel* momento appaiono i più adatti a rappresentare il «ghiacciaio vallivo a bacino composto» oppure il «ghiacciaio montano di circo» e così via.

Per quanto riguarda la persistenza di questi modelli di evoluzione geomorfologica, basta confrontare il catasto del 1959-1961 (Comitato Glaciologico Italiano, 1959-1961) con quello del 1989 (Ajassa, 1997) per osservare come il numero dei ghiacciai sia aumentato (da 1.036 a 1.114), non per la formazione di nuovi individui grazie a favorevoli condizioni climatiche, ma per la frammentazione di apparati maggiori in individui di minori dimensioni: l'incremento del numero di apparati è stato in realtà accompagnato da una riduzione del 9% dell'area totale glacializzata. La frammentazione ha talora comportato una trasformazione di tipologia (da vallivi in montani e soprattutto da montani in glacionevati). Va ricordato che il fenomeno di contrazione delle masse glaciali alpine è in atto dalla metà del XIX secolo con la conclusione della Piccola Età Glaciale e ha comportato fra il 1850 e il 1970 una riduzione areale del 40-50% (Maisch, 2000); sulle Alpi italiane i valori di riduzione areale sono compatibili e si sono aggirati per esempio fra il 42% della Valle d'Aosta (Vanuzzo, 2001) e il 47 % del Gruppo Ortles-Cevedale (Pelfini, 1994) (fig. 4).

Valga come esempio quello del maggiore ghiacciaio alpino, l'Aletsch, che nel 1860 copriva una superficie di 145 km², mentre nel 1973 si riduceva a 87 km², isolando altri due imponenti apparati vallivi a bacini composti (il Mittela-

a



b



Fig. 3 – I ghiacciai: l'attributo scenico

Da quasi due secoli i ghiacciai rappresentano il simbolo dell'alta montagna e costituiscono l'oggetto naturale più apprezzato, divenendo importanti fattori di polarizzazione scenica di «belvedere» ormai famosi. L'Aletsch (a), il maggiore ghiacciaio dell'intera catena alpina, e i Forni (b), il più grande ghiacciaio vallivo delle Alpi italiane

a



b

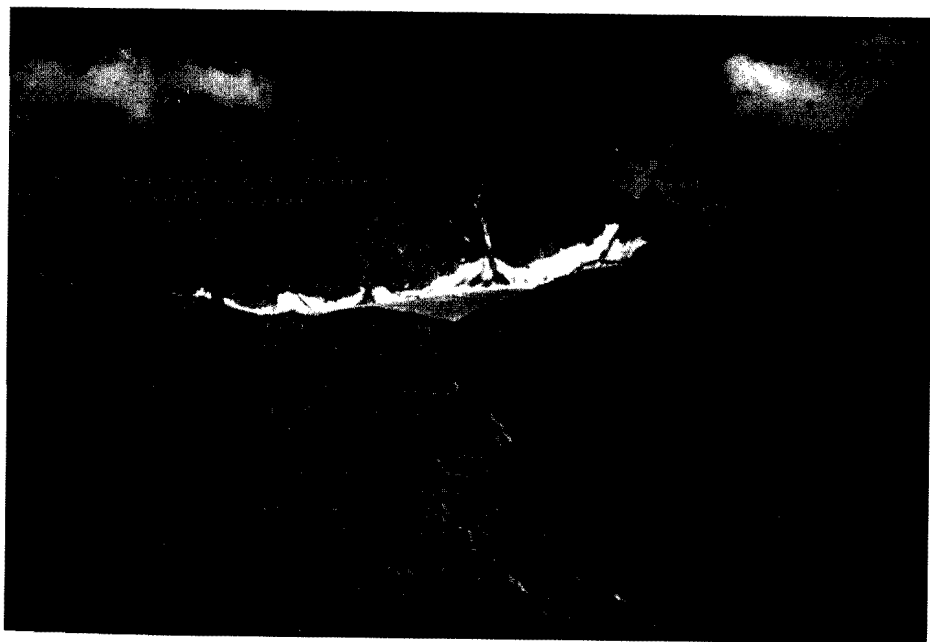


Fig. 4 – *L'attributo scientifico: il ghiacciaio come modello di evoluzione*

Le trasformazioni del Ghiacciaio della Sforzellina, nel gruppo dell'Ortles-Cevedale, dall'inizio (a) alla fine (b) del XX secolo, ben rappresentano l'evoluzione recente delle masse glaciali alpine e ne testimoniano la fase di intensa degradazione

letschgletscher e l'Oberaletschgletscher), oltre a una decina di ghiacciai minori (montani di circo) (Bachman, 1980). Dopo una breve inversione di tendenza fra il 1970 e il 1985, il regresso è ripreso, comportando un'ulteriore perdita del 20% della superficie. Ancora più diffuso è il fenomeno delle rapide modificazioni morfologiche, per cui gran parte dei ghiacciai delle Alpi italiane nell'ultimo decennio ha incrementato la copertura detritica nella zona di ablazione, avviandosi a trasformarsi da *clean glaciers* in *debris-covered glaciers*. Ben esemplificativo a questo proposito è il caso dell'unico ghiacciaio appenninico, il Calderone sul Corno Grande del Gran Sasso d'Italia, che dal 1884 al 1990 ha subito una riduzione areale dell'80%, si è ricoperto quasi interamente di detrito e dalla fine degli anni Novanta del XX secolo si è frammentato in due minuscole unità glaciali (D'Orefice e altri, 2000).

Il ghiacciaio come esemplarità didattica. – Questa valenza si raccorda evidentemente con quella precedente e molte delle considerazioni sopra esposte le si possono adattare (in particolare la rapida evoluzione); infatti un geosito che costituisce un modello di evoluzione geomorfologica possiede di solito un'elevata esemplarità didattica. I due aspetti analizzati possono essere riuniti in un concetto che potremmo definire di «classicismo», cioè di perfetta corrispondenza tra l'elemento naturale e i canoni geometrici o formali («questo ghiacciaio è un classico esempio di ghiacciaio di circo»; per calarci nella realtà potremmo dire, sempre restando sulle Alpi, che l'Aletsch, la Mer de Glace o il Gorner sono classici esempi di ghiacciaio vallivo a bacini composti, mentre i Forni o il Lys rappresentano un esempio classico di ghiacciaio vallivo a bacino composto, il Ventina lo è per i ghiacciai vallivi, il Miage o il Belvedere per i *debris-covered glacier*).

L'attribuzione della valenza di esemplarità didattica non può prescindere dalla possibilità di fruizione del geomorfosito e dalla sua accessibilità, elementi che possono poi suscitare ulteriori riflessioni sulla sua valorizzazione e salvaguardia.

Un esempio della complessità e dell'intreccio di questi problemi può essere costituito dal Ghiacciaio dei Forni ubicato nel settore centrale delle Alpi (alta Valtellina); qui da quasi un decennio è stata realizzata un'iniziativa di valorizzazione dei beni geomorfologici attraverso la creazione di un sentiero glaciologico denominato «Sentiero Glaciologico del Centenario al Ghiacciaio dei Forni», ubicato in un'area glaciale con una ricca storia naturale (ci si trova all'interno del Parco Nazionale dello Stelvio) e umana (la Grande Guerra), di intensa frequentazione turistica. Si tratta del più vasto ghiacciaio vallivo delle Alpi italiane (13 km²), il cui interesse geomorfologico è rappresentato soprattutto dalla sequenza completa e ben conservata di morene deposte sempre più recenti man mano che ci si avvicina al ghiacciaio. Vi sono infatti le tracce, in gran parte datate, del Tardiglaciale (intorno a 12.000 anni BP), dell'Olocene (3.000 BP), della Piccola Età Glaciale (1.850), degli anni Venti del XX secolo e del 1965-1985. Al turista è offerta attraverso un itinerario guidato e un testo di guida appositamente pubblicato (Smiraglia, 1995), la possibilità di individuare

tutte le fasi di espansione e di ritiro del ghiacciaio, di osservare gli effetti morfologici di questi episodi e di comprendere la dimensione dei fenomeni ambientali (soprattutto climatici) che hanno generato le forme osservabili. In particolare, in prossimità della fronte del ghiacciaio e dei suoi fianchi laterali è possibile osservare ottimamente conservate le «morene di neoformazione», talora a nucleo di ghiaccio, depositate durante l'espansione più recente (anni 1965-1985), che si sovrappongono alle grandi morene depositate durante la Piccola Età Glaciale. Le morene di neoformazione costituiscono un geomorfosito di eccezionale esemplarità didattica in quanto forniscono la chiave di comprensione dei vari processi di accumulo che portano alla genesi delle forme moreniche in generale. Inoltre le superfici liberate dal ghiacciaio durante la ripresa dell'abblazione dopo il 1985 sono ora esposte a tutti quei processi di erosione e accumulo che portano allo smantellamento delle morene, sulle quali sono in atto fenomeni di colonizzazione da parte degli organismi pionieri; tutto ciò rende quest'area un vero e proprio laboratorio scientifico e didattico all'aperto, soprattutto per quanto riguarda i processi geomorfologici e vegetazionali in atto che offrono spunti di osservazione e confronto con le morfologie più antiche. Oltre alle morene il sito presenta morfologie glaciali ben evidenti e accessibili, in particolare valli a U, valli sospese, valli troncate, rocce montonate e striate, forme fluvioglaciali (accumuli da rotte glaciali, forre) e forme periglaciali tra cui «ghiacciai rocciosi» (*rock glaciers*). Infine l'attraversamento del ghiacciaio, la parte sicuramente più emozionante e spettacolare dell'itinerario, permette di osservare la dinamica attuale e le forme epiglaciali (crepacci, *bédières*, inghiottitoi, foliazioni, funghi di ghiacciaio, fori criocritici, seraccate, morene mediane, *ice stream interaction* e *ablation dominant*, morfologie da termocarsismo ecc.) in rapida trasformazione anche nel corso di una sola stagione estiva.

Questo sentiero, ormai collaudato da quasi un decennio, rappresenta uno dei primi esempi realizzati in Italia di itinerario didattico che punta alla valorizzazione con scarso impatto ambientale di un geomorfosito complesso come è il Ghiacciaio dei Forni. L'elevato numero di turisti che annualmente percorrono questo itinerario fa ritenere che la proposta abbia trovato un valido apprezzamento, ma pone al contempo problemi sull'incremento della pressione antropica su un geomorfosito fragile, in particolar modo per quanto riguarda il dissesto lungo il sentiero; si è infatti constatato che, specialmente sul filo delle morene della Piccola Età Glaciale più ripide, il ripetuto passaggio ha ampliato i fenomeni di erosione della cotica erbosa e del suolo (fig. 5).

Il ghiacciaio come testimonianza paleogeomorfologica. – Questa valenza è già ampiamente affiorata nelle considerazioni sopra riportate e per i ghiacciai riveste soprattutto importanza come testimonianza paleoclimatica. Infatti le evidenze lasciate nelle aree liberate dai ghiacciai durante le fasi di regresso (per esempio le morene, le rocce montonate, le stesse valli a U), indicano non solo i processi di origine glaciale che quelle aree hanno modellato, ma anche il limite raggiunto dalle fasi di massima espansione. E' così possibile ricostruire superfici, spessori e volumi dei ghiacciai durante le varie fasi di espansione, ricostruire



Fig. 5 – L'attributo scientifico: il ghiacciaio come esemplarità didattica

Le morene del Ghiacciaio di Estelette nel gruppo del Monte Bianco costituiscono un valido esempio di esemplarità didattica. In poche decine di metri si concentrano infatti le evidenze delle tre più importanti espansioni glaciali degli ultimi secoli. Da destra la grande morena della Piccola Età Glaciale (1550-1850), la morena degli anni Venti del XX secolo e quella, meno regolare, degli anni Ottanta del XX secolo

l'altezza della linea di equilibrio e ricavarne informazioni paleoclimatiche, in particolare paleotermiche. E' questo il caso delle morene frontali, la cui datazione mediante lichenometria, dendrocronologia o radiocarbonio, applicata a suoli o resti lignei sepolti, permette di attribuire alla fase di avanzata un'età calendario e indirettamente un'età alla fase di récrudescenza climatica responsabile del progresso glaciale.

Numerosissimi sono i lavori realizzati a questo proposito anche sulle Alpi italiane, con particolare riguardo ai gruppi del Monte Bianco, Monte Rosa, Bernina-Disgrazia, Ortles-Cevedale, Adamello, Alpi Marittime, che hanno permesso ricostruzioni paleoglaciologiche, paleoclimatiche e paloambientali locali confrontabili con le tendenze generali dei ghiacciai alpini e con quelle della criosfera a scala globale (Pelfini, 1994, Vanuzzo, 2001; Federici e Pappalardo, 1995; Baroni e Carton, 1996).

Il ghiacciaio come supporto ecologico. – Anche la valenza ecologica è decisamente significativa per i ghiacciai. Nonostante l'ostilità dell'ambiente glaciale

per le forme di vita, è sufficiente una minima quantità di detrito sopragliaciale per permettere l'insediamento di alcune specie vegetali, anche arboree. E' questo il caso del Ghiacciaio del Miage in Val d'Aosta, uno dei pochi esempi italiani di *debris-covered glacier*, dove uno studio preliminare sui larici che crescono sopra la fonte glaciale ha permesso di evidenziare una correlazione tra età massima delle piante e spessore del detrito sopragliaciale. Sul lobo sinistro della fronte con lo spessore del detrito di circa 30 cm i larici non superano i 22 anni di età (Smiraglia e altri, 2000); sul lobo destro dove lo spessore del detrito è maggiore (circa 50 cm), le età dei larici sono un poco superiori (26 anni circa). Oltre un certo limite di età infatti la radice del larice entra a contatto diretto con il ghiaccio e la pianta comincia a soffrire fino a soccombere (Marchetti, 1999).

Sempre riferendoci al ghiacciaio come diretto supporto ecologico vanno ricordati gli «avamposti estremi della vita vegetale ed animale» (Michler, 1980), l'*Hematococcus nivalis* e la *Chlamydomonas nivalis*, microscopiche alghe, e l'*Isotoma saltans* o pulce dei ghiacciai. Si tratta di forme di vita altamente specializzate, i cui processi di adattamento ad un ambiente del tutto ostile sono di estremo interesse (l'*Isotoma saltans*, per esempio, può congelare senza danni e poi ritornare alle normali attività biologiche non appena la temperatura della neve supera di poco 0 °C).

Un aspetto ancora più significativo, almeno a livello di entità delle aree interessate, è rappresentato dalla stretta relazione esistente tra variazioni glaciali, variazioni climatiche e variazioni nelle diverse componenti della vegetazione arborea. Le variazioni glaciali infatti, oltre a modellare sensibilmente una superficie, interagiscono con l'intero ambiente naturale; la vegetazione arborea al contorno, per esempio, può essere danneggiata o distrutta durante le fasi di avanzata glaciale, ma è anche in grado di riconquistare le aree liberate dai ghiacciai in ritiro nonché i versanti limitrofi in conseguenza delle fasi di riscaldamento climatico. Il ritrovamento di ceppi *in situ* o inglobati nelle morene permette inoltre la ricostruzione della storia glaciale e climatica di una regione; talvolta è solo grazie al contributo della documentazione arborea che è possibile ricostruire fasi antiche dalla storia glaciale la cui documentazione geomorfologica è stata cancellata dalle avanzate successive (Pelfini e altri, 1997 e 2003).

La distribuzione stessa della vegetazione sottolinea le fasi di recrudescenza o di riscaldamento climatico responsabili delle fluttuazioni glaciali. Al variare delle condizioni climatiche si può avere un cambiamento nelle associazioni vegetali con perdita/introduzione di nuove specie e una variazione dei limiti altitudinali della foresta. Durante la fase fredda immediatamente precedente il culmine della Piccola Età Glaciale si sono verificate per esempio morie di alberi legate direttamente al deterioramento climatico o ad eventi estremi ad esso associati; durante l'attuale riscaldamento il limite superiore della foresta si è già innalzato di almeno un centinaio di metri in media, nel settore centrale delle Alpi. Ecco pertanto che in ambiente d'alta quota anche la vegetazione può diventare parte integrante di numerosi siti di interesse geomorfologico, in quanto il suo stesso aspetto o portamento contribuisce alla conoscenza dell'evoluzione geomorfologico-climatica dell'area in esame (fig. 6).



Fig. 6 – *L'attributo scientifico: il ghiacciaio come supporto ecologico*

La lingua del Ghiacciaio del Miage ai piedi del Monte Bianco ospita nel suo tratto terminale numerosi esemplari di larici che si sviluppano fino a un metro di altezza allungando le proprie radici nel detrito che copre il ghiaccio vivo

I ghiacciai e il grado di interesse. – Già si è accennato come alle singole valenze possano poi essere attribuiti valori che esprimono il grado di interesse dell'evidenza geomorfologica considerata in rapporto alla sua rarità, e valori che indicano lo stato di conservazione del geomorfosito. Un'applicazione schematica di questi concetti al bene «ghiacciaio» risulta difficile, proprio tenendo conto dell'evoluzione rapida cui normalmente esso è sottoposto. Inoltre rarità e stato di conservazione sono elementi inscindibili e legati strettamente da una correlazione inversa: ciò che è più diffuso assume maggiore valore quanto meglio è conservato; al contrario un'evidenza geomorfologica mal conservata ma molto rara assume elevato valore. Un'esemplificazione può essere proposta sia per quanto riguarda le morfologie glaciali in senso stretto (forme di accumulo e di erosione), sia per gli apparati glaciali veri e propri, normalmente caratterizzati da tempi di persistenza più brevi rispetto alle prime, e quindi da un'evoluzione più rapida. Una forma classica e molto diffusa della morfologia glaciale delle Alpi italiane (ma, ovviamente, non solo italiane!) è rappresentata dalle grandi morene laterali della Piccola Età Glaciale (PEG); in questo caso il valore dell'attributo scientifico sarà tanto più elevato non in rapporto al grado di conservazione in senso lato della morena, quanto piuttosto alla sua capacità di esemplificare *quel* grado di conservazione, e quindi quella morfologia, che

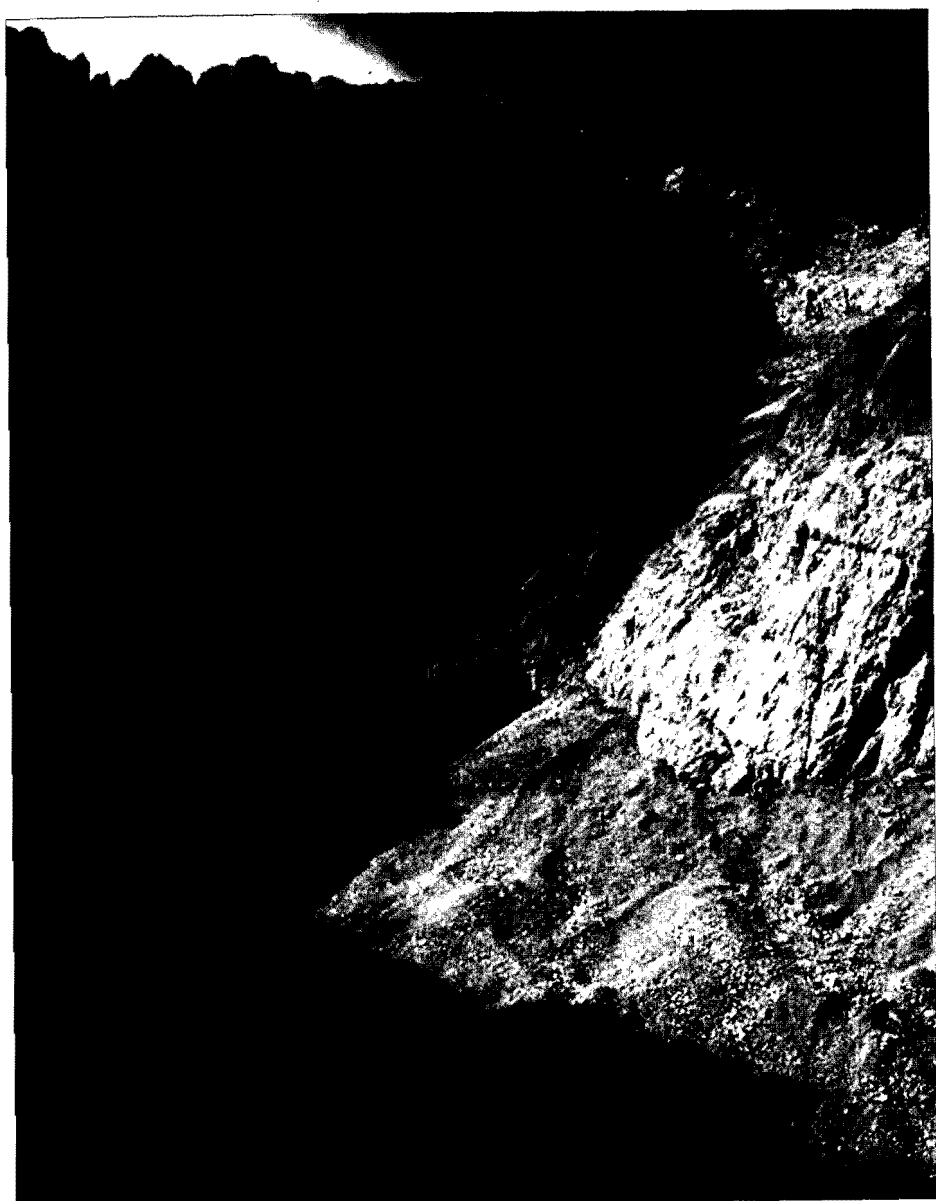


Fig. 7 – *I ghiacciai e il grado di interesse*

Il Ghiacciaio del Calderone annidato in un circo aperto sul versante settentrionale del Corno Grande del Gran Sasso. L'apparato è ormai frammentato e quasi privo di qualsiasi dinamica. In un altro contesto geografico, come quello alpino per esempio, non susciterebbe particolare interesse in quanto si tratta di una forma notevolmente diffusa. Sugli Appennini, invece, il Calderone continua a costituire un *unicum* glaciale e morfologico di estremo interesse in quanto unico ghiacciaio appenninico e apparato glaciale più meridionale d'Europa

caratterizza le morene della PEG e che le differenzia da quelle tardiglaciali (che sono meno conservate) o da quelle di neoformazione (che sono ottimamente conservate). E' quindi chiaro che per una forma diffusa, come le morene PEG, il grado di interesse sarà maggiore, quanto più questo tipo di evidenza geomorfologica racchiuderà in sé le caratteristiche canoniche della morena PEG (dislivello elevato fra sommità della cresta e fondovalle, angolo acuto con lati asimmetrici della sezione trasversale, copertura vegetale sul versante esterno, rigole di ruscellamento sul versante interno, immersione dei clasti di maggiore dimensione parallela al versante esterno, erratici sparsi sul filo di cresta ecc.). A monte si pone naturalmente il problema non trascurabile della identificazione e sistematizzazione di queste caratteristiche canoniche, da cui arrivare alla identificazione di quel geomorfosito di livello nazionale, che racchiuda in sé al massimo livello tutte le valenze scientifiche.

Si pensi per esempio ai ghiacciai neri o *debris-covered glaciers*, che sulle Alpi italiane sono poco diffusi (fra i più noti si possono ricordare il Miage e la Brenva nel gruppo del Monte Bianco, il Belvedere nel gruppo del Monte Rosa, il Venerocolo in quello dell'Adamello, il Ghiacciaio di Solda nel gruppo Ortles-Cevedale). E' chiaro che ciascuno degli apparati citati avrà un grado di interesse almeno regionale, ma al livello nazionale arriverà solo quel ghiacciaio che esprima compiutamente le caratteristiche dimensionali, morfologiche e dinamiche dei ghiacciai neri (lingua di ablazione lunga alcuni chilometri racchiusa fra ripide pareti rocciose, bacino di alimentazione costituito da ripidi canali di valanga, copertura detritica estesa su quasi tutta la lingua, morfologie termocarsiche, ridotto dislivello fra superficie del ghiacciaio e creste della PEG, vegetazione anche arborea sul settore inferiore della lingua, alimentazione della copertura detritica anche da fenomeni parossistici, gradiente di ablazione invertito rispetto ai ghiacciai bianchi, risposta più lenta alle forzanti climatiche ecc.). Nel caso specifico un grado di interesse nazionale andrebbe attribuito al Ghiacciaio del Miage.

Un esempio della correlazione inversa fra rarità e stato di conservazione è sicuramente quello del minuscolo Ghiacciaio del Calderone annidato in un circo del Corno Grande del Gran Sasso d'Italia. Il ghiacciaio, come si è ricordato, dall'inizio del XX secolo a oggi ha subito un'involuzione intensa che ha comportato una sensibilissima riduzione di spessore e di superficie, una copertura quasi completa di detrito, una frammentazione in due unità ancora più piccole e la quasi completa cessazione di ogni attività di trasferimento di massa; si tratta di un complesso di fenomeni che ha riguardato anche numerosissimi ghiacciai alpini di piccole dimensioni e che quindi in un altro contesto geografico sarebbe di interesse appena locale. Ma il Calderone è l'unico ghiacciaio appenninico, il più meridionale d'Europa, una delle pochissime testimonianze residue del glacialismo mediterraneo; la sua rarità, indipendentemente dal suo stato di conservazione, ne fa un *unicum* di elevatissimo interesse. Si tratta quindi di un geomorfosito che per la sua unicità e per la sua rapida evoluzione merita di essere considerato di livello sovranazionale e che pone anche problemi di corretta valorizzazione e di conservazione (fig. 7).

Conclusioni. – Dalle considerazioni sopra riportate dovrebbe essere emerso l'interesse di un approccio che tende a considerare i ghiacciai e le morfologie connesse come un bene naturale che caratterizza le regioni di alta quota e di elevata latitudine, con l'insieme di conseguenze che ne derivano: esigenze di censimento, di selezione, di valorizzazione, di protezione. I diversi valori di tipo scientifico, culturale, socio-economico e scenico che possono essere loro attribuiti ne fanno una risorsa geomorfologica non trascurabile, favorendo una loro percezione non solo come oggetti del paesaggio naturale, ma anche come sistemi sensibili (Smiraglia, 2001c) ed esempi attendibili di geodiversità.

L'utilizzo degli schemi già ampiamente diffusi per una definizione in termini di bene geomorfologico o geomorfosito è senz'altro possibile e auspicabile; sono tuttavia necessarie modifiche negli apparati concettuali per tenere conto delle peculiarità di queste forme del paesaggio. In particolare è opportuno sottolineare due aspetti che rendono il valore scientifico dei ghiacciai di elevata qualità, ma anche di particolare delicatezza nella ricerca; ci si riferisce da un lato alla già più volte ricordata rapida evoluzione dei ghiacciai e al loro breve tempo di risposta ai fattori forzanti esterni, dall'altro al fatto che i ghiacciai sono divenuti nell'ultimo ventennio un oggetto di studio fondamentale per la comprensione degli equilibri globali del nostro pianeta.

Nel primo caso sono proprio le veloci trasformazioni di tipologia, dimensione e dinamica a renderli elementi emblematici e rappresentativi dell'intero sistema ambientale terrestre e dei suoi equilibri delicati e instabili. Le trasformazioni non riguardano solamente il valore scientifico, ma anche gli altri attributi, in particolare quello scenico. Il confronto con l'iconografia dei secoli scorsi ben chiarisce il diverso peso che i ghiacciai esercitavano nella percezione dei contemporanei. Classico è il caso del Ghiacciaio del Rodano che durante la Piccola Età Glaciale si spingeva con una colata lunga un paio di chilometri e con una fronte ripida alta 10-15 metri nel piatto fondovalle, tanto che Sebastian Münster nel 1546 poteva scrivere, dopo avere raggiunto la fronte a cavallo, «veni ad immensam molem glaciei» (citato in Le Roy Ladurie, 1982). Già nel 1834 venne costruita una locanda per favorire la visita della fronte del ghiacciaio, che attualmente depressa e frammentata si è ritirata al di sopra di un ripido salto roccioso presso la strada della Furka. «Eppure – come scrive Bachmann, 1980 – anche se sembra in agonia, il Ghiacciaio del Rodano ha mantenuto intatto il suo fascino. Forse è proprio lo spettacolo di un ghiacciaio moribondo ad attrarre tanti turisti».

Per quanto riguarda il secondo aspetto, è appena il caso di ricordare che la criosfera e in particolare i ghiacciai sono ormai al centro di un vasto e articolato complesso di ricerche pluridisciplinari, che ne indagano gli scambi di massa ed energia con litosfera, idrosfera e atmosfera, ne approfondiscono le capacità di efficaci e sensibili indicatori climatici, ne sviluppano le qualità di archivi insostituibili della storia dell'atmosfera terrestre.

In conclusione, i ghiacciai possono essere ritenuti a tutti gli effetti beni naturali e risorse ricche di valori diversificati, per ripetere le parole di Sharp (1988): «unusual, intriguing elements of our natural environment [...] a neverending

source of fascinating information and discovery [...] in themselves beautiful and mysterious. By their actions they have helped create some of the most spectacular scenery of this earth».

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AJASSA R., *Il nuovo catasto dei ghiacciai italiani: confronto con il catasto del 1958*, in «Archivi glaciali. Le variazioni climatiche e i ghiacciai». Atti dell'incontro di Courmayeur, Vercelli, 1997, pp. 29-50.
- BACHMANN R.C., *Ghiacciai delle Alpi*, Bologna, Zanichelli, 1980.
- BARCA S. e F. DI GREGORIO, *Proposta metodologica per il rilevamento dei monumenti geologici e geomorfologici*, in «Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia», Bologna, 1991, 83.
- BARONI C. e A. CARTON, *Geomorfologia dell'alta Val di Genova (Gruppo dell'Adamello, Alpi Centrali)*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», Torino, 1996, 19, pp. 3-17.
- BEIÒ M. e altri, *Rilievi GPS per lo studio dell'evoluzione di ghiacciai antropizzati*, in *Atti della 6a Conferenza Nazionale ASITA*, Perugia, 2002, pp. 397-401.
- BERTACCHINI M. e altri (a cura di), *I beni geologici della Provincia di Modena*, Modena, Artioli, 1999.
- BRANCUCCI G. e M. BURLANDO, *Geosites Inventory in Liguria (Northern Italy): Activation Phases and Its Possible Future Developments*, in SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA, «Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millennium». III International Symposium ProGEO on Conservation of Geological Heritage (1999), Proc. Book, Madrid, Progeo, 1999, pp. 441-446.
- BURLANDO M., *La tutela del patrimonio naturale: le emergenze geologico-geomorfologiche*, in «Pro Natura», Genova, 1997 (a), 71, pp. 16-20.
- BURLANDO M., *Censimento dei beni ambientali a carattere geologico nell'ambito delle aree protette della Regione Liguria: primo contributo relativo al Parco Naturale Regione del Bric Tana, Comune di Millesimo (SV)*, in *II International Symposium on Conservation of Our Geological Heritage (Roma)*, pre-prints, 1997 (b), p. 16.
- CERUTTI A.V., *I ghiacciai alpini come fattore di ricchezza economica*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», Torino, 1995, 18, pp. 211-218.
- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO, *Catasto dei Ghiacciai Italiani*, Torino, CGI, 1959-1961, 4 voll.
- DIOLAIUTI G. e altri, *Gestione tramite GIS di beni geomorfologici, glaciologici e naturalistici per la valorizzazione mediante un turismo sostenibile di aree di alta montagna*, in *Abstracts. «Convegno GIS per la tutela e valorizzazione dei beni ambientali e storico-culturali»*, Firenze, 2001.
- DIOLAIUTI G. e altri, *Geomorphosites in Glacialized Areas: Routes in the Upper Valtellina for the Valuing of the High Mountain Environment*, in *Proceedings. Workshop «Geomorphological Sites: Research, Assessment and Improvement» (Modena 19-22 giugno 2002)*, pp. 57-58.

- DIOLAIUTI G. e altri, *Il turismo estivo al Passo dello Stelvio (Alpi Centrali): problemi e prospettive della fruizione antropica di un ghiacciaio alpino in un'area protetta*, in «Geotema», Bologna, 2001, 15, pp. 42-55.
- D'OREFICE M. e altri, *The Regression of Glaciers in the Mediterranean Area since the End of the Little Ice Age: The Case study of the Calderone Glacier (Gran Sasso d'Italia, Central Apennines, Italy)*, in «Antarctic, Arctic and Alpine Research», Boulder, 2000, 32, pp. 197-201.
- FEDERICI P.R. e M. PAPPALARDO, *L'evoluzione recente dei ghiacciai delle Alpi Marittime*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», Torino, 1995, 18, pp. 257-269.
- LE ROY LADURIE E., *Tempo di festa, tempo di carestia. Storia del clima dall'anno Mille*, Torino, Einaudi, 1982.
- LOMBARDO A., *La fruizione della montagna: sport e cultura*, in L. CAVERI e altri (a cura di), *Montagne d'Italia*, Novara, De Agostini, 2002, pp. 286-297.
- MAISCH M., *The Longterm Signal of Climate Change in the Swiss Alps: Glacier Retreat since the End of the Little Ice Age and Future Ice Decay Scenarios*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», Torino, 2000, 23, 139-153.
- MARCHETTI F., *Le fluttuazioni oloceniche recenti del Ghiacciaio del Miage (Val Veny, AO) indagate attraverso il metodo dendrocronologico*, tesi di laurea in Scienze Naturali, Università degli Studi di Milano, a.a. 1999-2000.
- MICHLER G., *Vita ai margini del ghiacciaio*, in R.C. BACHMANN (a cura di), *Ghiacciai delle Alpi*, Bologna, Zanichelli, 1980, pp. 42-52.
- MOHEN J.P. e C. ELUERE (a cura di), *L'homme des glaces dans les Alpes il y a 5000 ans*, in «Dossier d'Archéologie», Digione, 1997, 224.
- MORTARA G., *I geositi della Provincia di Torino, proposte di valorizzazione*, Torino, Provincia di Torino, 2001.
- NANGERONI G., *Protezione dei fenomeni geologici e geomorfologici in Italia*, in *Atti del II Convegno Pro Natura Italica (Varallo)*, Varallo, Associazione Pro Natura Valsesia-na, 1968.
- PANIZZA M., *Geomorfologia applicata. Metodi di applicazione alla Pianificazione territoriale ed alla Valutazione di Impatto Ambientale*, Roma, La Nuova Italia Scientifica, 1988.
- PANIZZA M., *Geomorfologia*, Bologna, Pitagora, 1992.
- PANIZZA M., *Problemi attuali di rischio e impatto ambientale in alta montagna*, in R. BERNARDI, G. DIOLAIUTI e C. SMIRAGLIA (a cura di), *Uomo e ambiente d'alta montagna. Dalla conflittualità all'integrazione*, in «MSGI», 2001, LXVI, pp. 53-68.
- PANIZZA M. e altri, *Principali evidenze geomorfologiche della Provincia di Modena*, Modena, Amministrazione Provinciale, 1983.
- PANIZZA M. e S. PIACENTE, *Geositi nel paesaggio italiano: ricerca, valutazione e valorizzazione. Un progetto di ricerca per una nuova cultura geologica*, in «I Geositi» (www.geologia.com), 2002.
- PELFINI M., *Equilibrium Line Altitude (ELA) Variations Recorded by Ortles-Cevedale Group (Lombardy, Italy) from the Little Ice Age to Present*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», Torino, 1994, pp. 187-196.
- PELFINI M., *Il contributo della dendrocronologia alla ricostruzione delle fluttuazioni glaciali degli ultimi secoli*, in A. BIANCOTTI e M. MOTTA (a cura di), *Risposta dei*

- processi geomorfologici alle variazioni ambientali*, Genova, Brigati, 2003, pp. 327-344.
- PELFINI M., C. SMIRAGLIA e C. VOLTOLINI, *Il glacialismo attuale delle Alpi Lombarde: conoscenza, utilizzazione di un particolare bene naturale*, in «*L'Italia che cambia. Il contributo della geografia*». Atti del XXV Congresso Geografico Italiano (Taormina, 1989), Catania, 1989, II, pp. 479-490.
- PELFINI M. e altri, *Response Time of the Lys Glacier (Valle d'Aosta). An Example of a Dendrogeomorphological and Environmental Study*, in «*Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, Torino, 1997, 20, pp. 329-338.
- SHARP R. P., *Living Ice. Understanding Glaciers and Glaciation*, Cambridge, University Press, 1988.
- SMIRAGLIA C. (a cura di), *Il Ghiacciaio dei Forni in Valfurva. Sentiero Glaciologico del Centenario*, Sondrio, Lysis, 1995.
- SMIRAGLIA C., *Uomo, ambiente, alta montagna. Nodi problematici e ipotesi di definizione*, in R. BERNARDI, G. DIOLAIUTI e C. SMIRAGLIA (a cura di), *Uomo e ambiente d'alta montagna. Dalla conflittualità all'integrazione*, in «*MSGI*», 2001 (a), LXVI, pp. 17-24.
- SMIRAGLIA C., *Uomo e ghiacciaio. Evoluzione di un rapporto antico*, in *Abstracts. Convegno Nazionale «Glaciazioni e loro effetti territoriali»*, Verona, 2001 (b), pp. 12-13.
- SMIRAGLIA C., *Ghiacciai: da oggetti del paesaggio a sistemi sensibili*, in C. SMIRAGLIA e G. DIOLAIUTI (a cura di), «*Ghiacciai e aree protette*». Atti del Convegno Internazionale (Sondrio, 1997), Sondrio, Centro Documentazione Aree Protette, 2001 (c), 113-125.
- SMIRAGLIA C. e G. DIOLAIUTI, *L'aumento dei pericoli in alta montagna*, in L. CAVERI e altri (2002), pp. 185-193.
- SMIRAGLIA C. e altri, *Recent Areal and Altimetric Variations of Miage Glacier (Monte Bianco Massif, Italian Alps)*, in M. NAKAWO, C.F. RAYMOND e A. FOUNTAIN (a cura di), *Debris-Covered Glaciers*, in «*International Association of Hydrogeological Sciences Publications*», Wallingford, 2000, 264, pp. 227-236.
- VANUZZO C., *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*, in «*Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*», Torino, 2001, pp. 99-113.
- VIAZZI L., *Guerra sulle vette. Ortles-Cevedale 1915-1918*, Milano, Mursia, 1976.

GLACIERS, A GEOMORPHOLOGICAL ASSET IN FAST EVOLUTION. – From some years the scientific community is emphasizing the studies on the geomorphological assets (or geomorphosites), considered as integral part of the natural cultural assets and as a true natural resource of landscape that needs knowledge, valorization and protection. Between the natural components of the landscape recently more interest has been reserved to the glaciers which could be defined as geomorphosites when their scientific knowledge is joined to the knowledge of their importance for mankind. In particular their value must be deepened from many points of view or attributes (cultural, social and economic, panoramic and, of course, scientific). As regards the scientific attribute of the glaciers many values could be comprise: the model of geomorphological evolution (according to their diffusion on every continent, their typological variety and the their

fast dynamics that make them important climatic markers); the didactic value (in that case the possibility of utilization of the geomorphosite and its accessibility must be considered); the paleogeomorphological meaning (or better their paleoclimatic meanings); the ecological support (glacier ice entertains extreme biological features). The levels of local, regional, national or world-wide interest and the appraisal of the their conservation degree must also be considered. The attribution of such parameters allows to define the glacier as a geomorphosite and therefore represents an attempt to synthetize its scientific importance.

Università di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio"

Comitato Glaciologico Italiano, Milano

manuela.pelfini@unimi.it