

ROBERTO AJASSA
Comitato Glaciologico Italiano
Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Torino

IL NUOVO CATASTO DEI GHIACCIAI ITALIANI: CONFRONTO CON IL CATASTO DEL 1958

1 - Introduzione

I 2,8 milioni di km³ di ghiaccio esistenti attualmente sulla terra, sono oggetto di importanti studi ai fini della tutela e conservazione della risorsa "acqua", in quanto riserva strategica per l'umanità di acqua dolce e per ora immuni da gravi processi di inquinamento.

Lo studio dei ghiacciai si rivela molto importante se pensiamo che complessivamente essi costituiscono oltre il 70% di tutte le riserve di acqua dolce disponibili, comprese quelle sotterranee, pur rappresentando solo il 2% circa dell'intera massa d'acqua del nostro pianeta (per il 96% circa contenuta negli oceani e nei mari interni).

Un secondo motivo di interesse, non in ordine di importanza, è quello scientifico: recenti ricerche attribuiscono un ruolo molto importante ai ghiacciai, i quali concorrerebbero alle grandi modificazioni climatiche planetarie (Global Change). I ghiacciai, estesi complessivamente sul 10% delle terre emerse, sono infatti in grado di influenzarne l'andamento climatico, in maniera più o meno evidente, sia a livello locale, sia a scala planetaria, con le loro cicliche variazioni di volume ed estensione. Tale condizionamento è connesso all'influenza che le grandi masse glacializzate esercitano sulle correnti marine e queste sulla circolazione atmosferica, sulla temperatura, sulle precipitazioni e sull'albedo.

Contemporaneamente sono attendibili indicatori della dinamica climatica in atto, nonchè fedeli registratori delle variazioni climatiche

avvenute nel Quaternario, quando si sono succedute diverse fasi di espansione e di riduzione (glaciazioni pleistoceniche).

Mentre la problematica del Global Change investe quasi esclusivamente le due grandi calotte glaciali continentali dell'Antartide e della Groenlandia, dove si concentra oltre il 95% delle masse glacializzate della terra, molti altri motivi di discussione e di ricerca investono i ghiacciai minori. La dinamica dei piccoli ghiacciai, tra cui quelli alpini, è stata quindi oggetto di studio a partire dagli anni cinquanta per l'importanza che questi rivestono per la produzione di energia elettrica, per lo sviluppo delle attività turistico-ricreative e sportive, per il carattere di risorsa ambientale e di riserva idrica, oltre che dal punto di vista geografico-fisico.

In particolare proprio l'uso "plurimo" delle acque di fusione delle nevi e dei ghiacciai, insieme all'interesse scientifico ed ambientale, ha indotto i grandi utilizzatori e la comunità scientifica a sviluppare diversi programmi di ricerca e di monitoraggio sui principali corpi glaciali, soprattutto quelli sfruttati per l'alimentazione dei numerosi invasi artificiali utilizzati per fini idro-potabili, irrigui ed idroelettrici, presenti in tutto l'arco alpino.

Non va dimenticato, in ultimo, l'interesse che la glaciologia riveste nello studio della morfogenesi di ambiente glaciale, cioè nello studio delle forme della superficie terrestre originatesi per il modellamento dei ghiacciai. Questi infatti, con il loro movimento, lasciano tracce molto chiare della loro presenza, sia attraverso il processo erosivo (esarazione) sia quello deposizionale: proprio attraverso lo studio delle forme attuali e dei processi che le producono è possibile comprendere gli eventi verificatisi nel passato, le cui testimonianze sono assai evidenti nelle tipiche morfologie glaciali che caratterizzano il paesaggio alpino (valli ad "U", valli sospese, soglie, circhi, rocce montonate, cordoni morenici, ecc.).

Tra le tracce del passato bisogna ricordare anche quelle situate in zone piuttosto distanti da aree attualmente glacializzate, ad esem-

pio gli estesi apparati morenici planiziali che bordano il margine alpino della Pianura Padana, che si sono formati nel corso del Quaternario, quando i ghiacciai, come detto più sopra, a più riprese si sono espansi su vaste aree dell'emisfero Boreale, ed hanno formato una calotta ricoprente il 30 % dell'intera superficie emersa (fase di massima espansione).

In questo contesto si collocano gli studi condotti a partire dai primi decenni del secolo sui principali ghiacciai del versante alpino italiano, sia nell'ambito del Comitato Glaciologico Italiano, che di altri Enti di ricerca pubblici e privati, dei quali il Catasto in allestimento non è che una naturale continuazione. Esso rappresenta infatti un aggiornamento del lavoro svolto negli anni cinquanta da diversi ricercatori sotto la guida del Professor Ardito Desio e pubblicato nel 1961 dal C.G.I.

Tra questi studi va ricordata l'annuale Campagna Glaciologica, mediante la quale siamo oggi in possesso di una delle più lunghe serie d'osservazione del mondo dei movimenti delle fronti glaciali, l'atlante dei ghiacciai di G. PORRO (1925), il primo Catasto, già menzionato, realizzato nel 1957-58, quello predisposto per il World Glacier Inventory e riguardante la situazione del 1975, e i numerosi studi a carattere nivologico e glaciologico.

Nel VI *Convegno Glaciologico Italiano*, organizzato nel 1991 a Gressoney dal Comitato Glaciologico, è stato fatto il punto sull'attuale stato della ricerca in questo settore di studi ambientali. Nel corso delle celebrazioni per il *Centenario del CGI*, svoltesi a Torino nell'ottobre 1985, sono stati illustrati gli sviluppi più recenti e le prospettive di tale ricerca.

Un contributo fondamentale alla conoscenza attuale dei corpi glaciali è stato dato negli ultimi anni dalle ricerche promosse dal Ministero dell'Ambiente ed effettuate dal Comitato Glaciologico Italiano, rivolte, tramite fotointerpretazione, alla redazione di un nuovo catasto.

L'attività è stata sviluppata nel biennio '93 - '94, con finanziamenti erogati dal Ministero dell'Ambiente, a cui è rivolto un sentito ringraziamento, mediante convenzione col CGI.

I dati e le informazioni contenuti nella presente comunicazione sono tratti da note e relazioni prodotte nell'ambito del Programma di ricerca citato e riportate in bibliografia.

2 - La ricerca

Sono stati presi in considerazione i ghiacciai italiani, localizzati tutti sulle Alpi, con la sola eccezione del Calderone, sito sul Massiccio del Gran Sasso nell'Appennino Centrale.

Il lavoro si è articolato in più fasi:

- individuazione e perimetrazione (rilevamento) dei corpi glaciali esistenti, per fotointerpretazione del "Volo Italia '88/'89";
- trasposizione su supporto informatico delle informazioni cartografiche;
- elaborazione dei dati;
- confronto tra i dati relativi al rilevamento (Catasto '89) e dati del Catasto '58.

Il lavoro si è sviluppato a partire dall'analisi dei dati disponibili, dell'ampia bibliografia argomento, patrimonio quasi secolare del CGI, e della moltitudine di studi specifici che vari Autori hanno prodotto nel tempo.

La scelta del Catasto 1958 come base di riferimento è stata, per certi versi, obbligata, in quanto quest'opera, oltre ad essere il documento più "vecchio" relativo a tutto l'arco alpino, costituisce l'unico riferimento organico utilizzabile come "indice" per gli scopi prefissati. Il Catasto Internazionale dei Ghiacciai, (World Glaciers Inventory) realizzato alla fine degli anni settanta e pubblicato nel 1985, è stato utilizzato come documento di verifica e controllo.

La fotointerpretazione è stata realizzata con l'ausilio del DVP (Digital Video Plotter), strumentazione che ha permesso il posizionamento dei corpi glaciali individuati e perimetrati direttamente su supporto magnetico. Si è così potuto costruire un archivio informatizzato e georeferenziato di ghiacciai (Biasini e Salvatore; 1993), che sono stati codificati con la stessa numerazione del "vecchio" catasto.

Il "Volo Italia '88-'89", utilizzato per la fotointerpretazione, è una sequenza di fotogrammi stereoscopici del territorio nazionale, effettuata con pellicole pancromatiche in scala nominale 1:70.000 (Biasini e Salvatore; 1993). Questa levata fotografica, effettuata nei mesi di luglio e agosto, si è rivelata particolarmente idonea agli scopi preposti, in quanto lo scarsissimo innevamento dell'arco alpino in quel periodo assicura la possibilità di delimitare con ottima approssimazione (circa 50 cm, Biasini; 1991) i contorni dei corpi oggetto della ricerca.

Per consentire il confronto tra i dati del Catasto '58 e del Catasto '89, i ghiacciai sono stati suddivisi in tre gruppi.

- **Tipo (A)**, estinti: sono quei ghiacciai di cui si ha solo più documentazione storica. Questa tipologia, pur segnalata nelle tabelle, non viene presa in considerazione nelle analisi che verranno proposte;

- **Tipo (B)**, con superficie < 5 ha. Definiti glacionevati in base alla classificazione internazionale del WGI, non sono stati sommati ai ghiacciai veri e propri (tipo C) né come numero né come superficie. Sono stati utilizzati per chiarire la tendenza evolutiva generale delle masse glacializzate. L'utilizzo è avvenuto attraverso il paragone con i corpi analoghi del catasto 1958;

- **Tipo (C)**, con superficie > 5 ha sono quei ghiacciai la cui area risponde alle caratteristiche di corpo glaciale secondo i canoni WGI sui quali verranno compiute le analisi. A questi corpi vanno riferite le misure di estensione (Area Totale). (Per una valutazione più approfondita, e aderente ai criteri internazionali assunti in sede AIEA, si è ritenuto di prendere in considerazione solo i ghiacciai superiori ai 5 ha, in modo

da escludere corpi che in linea di massima sono costituiti da glacionevati, privi di movimento interno del ghiaccio).

3 - Il catasto 1958

In occasione dell'Anno Geofisico Internazionale, il CGI, con il patrocinio del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), censiva tutti i corpi glaciali esistenti nell'anno 1957-1958, realizzando il primo "Catasto dei ghiacciai italiani". L'attività di organizzazione e direzione del rilevamento fu svolta da una Commissione costituita dai Professori Manfredo Vanni, Giuseppe Nangeroni e Giuseppe Morandini, responsabili rispettivamente dei Settori alpini Occidentale, Centrale ed Orientale, coordinati dallo stesso Nangeroni.

Tale catasto fu esteso a tutti gli elementi scomparsi nell'ultimo cinquantennio (risalendo quindi fino ai primi del 1900), dei quali era possibile riconoscere la localizzazione e le caratteristiche, sulla base di documentazione storica.

Il rilevamento fu in massima parte realizzato in modo tradizionale, cioè mediante sopralluoghi ed osservazioni dirette, con la compilazione di una scheda relativa a ciascun individuo glaciale censito. Il lavoro prese avvio dall'analisi dell'ampia bibliografia disponibile ed in particolare dall'*Elenco dei ghiacciai italiani*, importante opera (atlante) realizzato nel 1925 dal Gen. Carlo Porro. Di ciascun ghiacciaio fu inoltre raccolta un'ampia documentazione fotografica, alla quale collaborarono attivamente molti soci del CAI.

Il documento è stato pubblicato in tre volumi (uno per settore alpino: occidentale, centrale e orientale) comprendenti: l'elenco dei ghiacciai, una cartografia in scala 1:400.000, e le schede con le caratteristiche salienti dei diversi ghiacciai, complete dei riferimenti bibliografici disponibili.

Nel documento in oggetto sono stati indicati come *ghiacciaio* (o *vedretta* laddove questo termine era maggiormente in uso) tutte le masse glacializzate, con il toponimo che veniva loro tradizionalmente attribuito (gli stessi toponimi, oltre alla numerazione di riferimento, sono stati ripresi sia nel catasto del W.G.I., che nel catasto 1989).

A ciascun corpo glaciale è stato attribuito un numero progressivo. L'ordine di elencazione tiene conto essenzialmente del bacino idrografico e la progressione numerica inizia sempre dal versante destro idrografico di ogni valle. L'individuazione di alcuni nuovi ghiacciai, a numerazione già fissata, ha determinato l'esigenza di introdurre i doppi numeri, distinti con l'appendice "bis". Come cartografia di base fu utilizzata la carta IGM alla scala 1:25.000.

Complessivamente vennero censiti 1036 ghiacciai, 1035 nell'arco alpino, 1, il Calderone, nell'Appennino abruzzese (Gran Sasso).

Il totale dei corpi censiti comprende ovviamente i ghiacciai estinti ed esistenti nel 1958, nonché tra questi ultimi quelli di piccole dimensioni, inferiori ai 5 ha (tab. I).

Nell'Atlante del Porro erano segnalati 774 ghiacciai.

Nella tabella I si evidenzia la situazione globale dei ghiacciai al 1958, suddivisi nelle tre categorie precedenti e per gruppo montuoso.

Su 1036 corpi glaciali censiti, nel 1958 ben 201 unità (19.4 %) risultavano estinti, 90 (8.7 %) risultavano avere un'area inferiore a 5 ha (o non indicata) e 745 ghiacciai (71.9 %) un'estensione superiore ai 5 ha.

Solo su quest'ultimo gruppo (tipo C) si è compiuta una analisi dei dati areali, utilizzata in seguito per la comparazione con il nuovo catasto (anche se in modo indicativo a causa della scarsa confrontabilità del metodo di rilevamento e di misura).

L'incidenza dei ghiacciai di tipo A e B cresce progressivamente nei settori centrale ed orientale (Alpi Lepontine, Retiche p.p., Noriche, Dolomitiche e Giulie).

La maggiore concentrazione numerica e la maggior area glacializzata totale si ha nel gruppo delle Alpi Retiche, seguite dalle Graie, nelle quali però cresce in misura considerevole l'area media dei singoli ghiacciai. Con quantità percentuali inferiori all'unità rispetto al totale si distinguono le Alpi Marittime, Cozie e Giulie, a parte naturalmente il ghiacciaio Appenninico del Calderone.

La variabilità dimensionale è compresa, ovviamente tra un'area minima di 5 ha e i 2000 ha del Ghiacciaio dei Forni nelle Alpi Centrali, che è un ghiacciaio di tipo Himalaiano-alpino con tre confluenze.

Come si può osservare nella tabella II (ghiacciai osservati divisi per classi di estensione areale), i 90 ghiacciai di tipo B si estendono su una superficie complessiva di 250 ha; i 4 ghiacciai di maggiori dimensioni (> 1000 ha, Miage, Lys, Forni e Mondrone) su una superficie di 5.400 ha. La maggioranza assoluta dei ghiacciai ha una superficie compresa tra 5 e 100 ha (74,5% del totale, pari al 31,5% della superficie glacializzata.).

4 - Il catasto 1989

Come precedentemente accennato, la metodologia seguita per la redazione del nuovo catasto dei ghiacciai italiani è fondata sulla fotointerpretazione e restituzione, su supporto informatico, del volo Italia '88/'89. Tale procedura è stata espletata, con apposita strumentazione ottico digitale, disponibile presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza". Come base cartografica è stata utilizzata la Cartografia Ufficiale IGMI a scala 1:25.000.

Tale metodologia ha comportato alcuni problemi. Tra questi si segnala quello delle occasionali difficoltà di perimetrazione dei corpi glaciali interessati da fenomeni di detritazione dei versanti, che, portando

alla formazione di ghiaccio coperto, rende talora difficoltosa la definizione esatta dei limiti del corpo glaciale stesso. Un secondo tipo di difficoltà si è riscontrato nel caso, peraltro limitato, di innevamento recente e di copertura nuvolosa. In tali casi si è provveduto ad integrare le informazioni mancanti attingendo ad altre fonti.

Le unità contigue, non differenziabili in modo sicuro su base morfologica, sono state considerate come un'unica entità.

Un limite della visione zenitale (e in genere di tutti i metodi di rilevamento indiretto) è rappresentato dall'impossibilità di poter valutare lo spessore del ghiaccio, il che ha portato a considerare (come del resto nel vecchio Catasto) solo misure areali e non volumetriche, queste ultime ottenibili solo con appositi rilevamenti in campo.

I corpi glaciali censiti nel catasto 1989 sono, in numero relativamente ridotto, *ghiacciai vallivi (alpini ed himalaiani secondo la vecchia classificazione)*, come il Miage, il Lys ed il ghiacciaio dei Forni, presenti nei settori più interni della catena alpina; la maggior parte dei corpi sono classificati invece come *ghiacciai montani (pirenaici)*, a bacino semplice, di circo, di nicchia, di falda, di canalone, ecc., e come glacionevati.

I corpi censiti, ai fini delle successive elaborazioni, sono stati elencati separatamente, secondo il raggruppamento prima indicato (ghiacciai di tipo B con superficie < 5 ha, corrispondenti, secondo il W.G.I., ai glacionevati, e ghiacciai di tipo C con superficie > 5 ha). Per analogia con quanto indicato nel Catasto 1958, sono stati inoltre conteggiati i ghiacciai di tipo A (estinti).

I risultati

Il numero complessivo di ghiacciai censiti (tabella III) è di 1114 unità, compreso il Calderone, di cui il 28% estinti, il 9% con superficie

< 5 ha e il 63% con estensione > 5 ha (solo su quest'ultimo gruppo sarà effettuata una valutazione statistica della variabilità areale)¹.

Nella tabella III si evidenzia la situazione globale dei ghiacciai, suddivisi per categoria e per gruppo montuoso.

I gruppi montuosi in cui si concentrano maggiormente i ghiacciai sono le Alpi Retiche (51% del totale) e le Alpi Graie (26%); i due gruppi tuttavia si differenziano in quanto nelle Alpi Graie il 77% dei corpi appartiene al tipo C (superficie > 5 ha) mentre nelle Retiche tale valore si riduce al 61%; l'estensione media delle unità, in questi due gruppi, è molto simile (71 e 69 ha rispettivamente).

Per quanto riguarda i ghiacciai di tipo A (estinti), si fa notare che nella tabella vengono conteggiati quelli riconosciuti come tali nel nuovo rilevamento, prendendo come riferimento il censimento completo del 1958. Poichè nel nuovo rilevamento alcuni ghiacciai precedentemente classificati estinti sono stati individuati (ghiacciai di tipo B), il numero totale dei ghiacciai effettivamente estinti a partire dal 1958, non coincide con la differenza tra il numero dei ghiacciai estinti nel 1989 e quello degli estinti nel 1958.

I corpi glaciali compresi tra 5 e 100 ha sono il 73%, nettamente prevalenti numericamente (tabella IV), rappresentano solo il 31% dell'intera superficie glacializzata. A titolo di curiosità si fa notare che i 90 ghiacciai di tipo B rappresentano solo lo 0,6% della superficie e ben il 12,5% del totale delle unità.

¹ La numerazione dei ghiacciai è stata effettuata secondo lo schema precedentemente adottato (catasto '58); tuttavia nella fase di fotointerpretazione è emerso che alcuni ghiacciai si sono suddivisi in più corpi di minori dimensioni. Ciò spiega l'aumento numerico delle unità censite nel nuovo Catasto. Tale aumento riguarda solo unità di dimensioni ridotte, per cui, ai fini delle valutazioni che verranno fatte sull'estensione, il loro peso è assolutamente trascurabile.

È inoltre necessario sottolineare che, in conseguenza dei limiti insiti nella fotointerpretazione esposti più sopra, non è stato possibile discriminare i confini di alcuni corpi glaciali adiacenti, e che in questa fase verranno trattati come un'unica entità.

Variazioni del numero dei ghiacciai per settore alpino tra il 1958 e il 1989

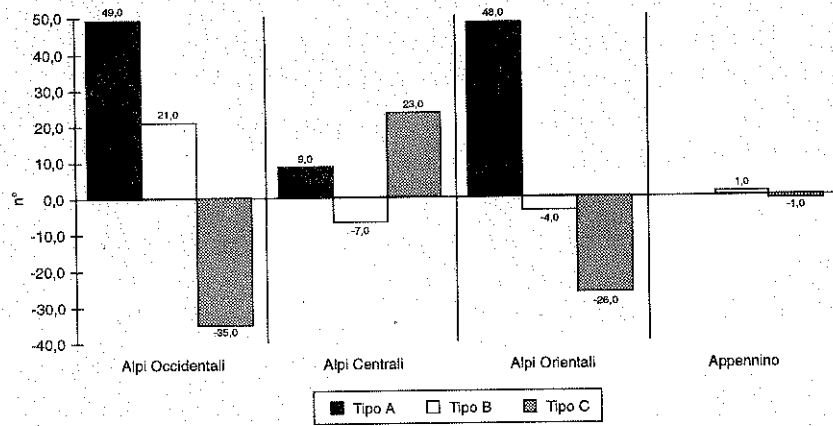


Fig. 1

Variazione della superficie complessiva dei ghiacciai di estensione > di 5 ha tra il 1958 e il 1989

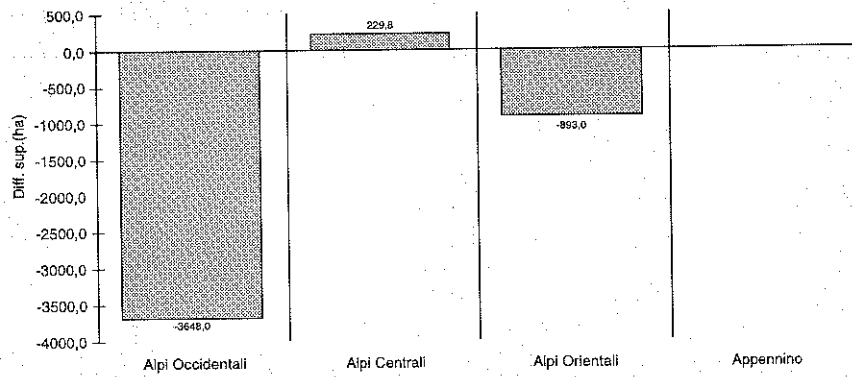


Fig. 2

5 - Confronto tra i dati del Catasto 1958 e del Catasto 1989.

In relazione alle differenze metodologiche e tecniche adottate nella redazione dei due catasti, il confronto sviluppato nel presente paragrafo tra i dati numerici (numero di ghiacciai) risulta valido in senso assoluto, mentre quello areale (misura delle superfici) mostra un maggior grado di incertezza.

I dati sintetici sui ghiacciai (numerici ed areali), come risultanti dai due Catasti considerati, raggruppati per settore alpino, sono riportati nelle tabelle V e VI.

Nella tabella successiva (tab. VII) sono evidenziate le differenze.

Il numero complessivo, rispetto al 1958, risulta aumentato (1114 unità) poiché alcuni corpi glaciali risultano essersi ricostituiti (allora erano indicati come "estinti"), altri derivano dallo smembramento di un unico corpo in due o più elementi, altri ancora costituiti da più elementi precedentemente censiti come un unico corpo.

La distribuzione geografica dei ghiacciai nel 1989 rispecchia quella del 1958.

Facendo esclusivo riferimento ai ghiacciai con superficie superiore a 5 ha, (tab. VI) i corpi glaciali attualmente censiti sono 706, con una diminuzione nell'intero arco alpino di 39 unità, rispetto ai 745 corpi censiti nel 1958.

La superficie glacializzata complessiva nel 1989 (tabella VI) è di 48.184 ha, dei quali il 42% nel settore alpino occidentale, il 34% in quello centrale e il 24% nell'orientale, rispetto ad una superficie di 52.501 ha censita nel 1958 (45% settore occidentale, 31% nel centrale e 24% nell'orientale). In termini percentuali la riduzione complessiva della superficie è pari all'8,2%.

L'unico settore che appare in crescita è quello centrale (tabella VII), sia per quanto concerne la superficie glacializzata totale, sia per il numero di ghiacciai di estensione maggiore di 5 ha. All'aumento rela-

tivo della copertura glaciale nel settore centrale (+ 2,7%, + 429,8 ha) corrisponde una diminuzione nel settore occidentale (- 15,4%, -3.648 ha) e nel settore orientale (-7,1%, - 893 ha). L'area del ghiacciaio appenninico è scesa sotto la soglia dei 5 ha.

Nelle figure 1 e 2 è rappresentata graficamente la variazione del numero di ghiacciai per settore alpino e per tipo, (fig. 1) e la variazione complessiva di estensione per settore (fig. 2).

L'analisi per classi di estensione effettuata sia sul numero dei corpi che sulla loro superficie è sintetizzata nella tabella VIII.

La diminuzione dei corpi glaciali rispetto al 1958 riguarda esclusivamente le classi di minor estensione (da 100 a 400 ha) mentre la diminuzione in superficie riguarda in generale tutte le classi: va sottolineato, in quest'ultimo caso, che a fronte di una generale riduzione delle aree, l'incremento in talune classi è riconducibile ad una diminuzione di elementi e di aree nelle classi di dimensione appena superiore.

Se il confronto è limitato ai ghiacciai di estensione superiore ai 100 ha, 129 elementi nel 1958, 115 nel 1989, la riduzione superficiale è minore. Per i ghiacciai più grandi (Mandrone, Miage, Lys, Rutor, ecc.) la variazione areale è piuttosto contenuta.

Le risultanze del catasto e le tendenze evolutive delle masse glacializzate delle Alpi italiane sono in parte confermate e in parte corrette dai risultati tratti nelle campagne glaciologiche più recenti e dagli studi specifici effettuati su alcuni dei ghiacciai più rappresentativi.

6 - Le campagne glaciologiche e i bilanci di massa: alcune considerazioni.

Le campagne glaciologiche ogni anno interessano circa il 20% dei corpi glacializzati esistenti, scelti fra quelli più indicativi, e consistono nella misura dell'avanzamento o del regresso delle fronti glaciali.

Nel 1987-88 nelle Alpi occidentali e centrali finisce la fase di limitata avanzata o di stazionarietà che era iniziata nel 1971, ed anche i ghiacciai più grandi e dotati di maggiore inerzia (Forni, Ventina, ecc.) incominciavano ad entrare in una fase di regressione particolarmente rapida (tab. IX).

Su tutto l'arco alpino essi risentono della diminuzione delle precipitazioni solide, ma soprattutto dell'aumento della temperatura, in vistoso incremento fin dal 1983. Anche nel periodo più recente i controlli effettuati, oltre che direttamente sul terreno, con il "remote sensing" confermano tale riduzione areale, in particolare nei ghiacciai di piccole dimensioni e nei glacionevati.

Conseguenza diretta di questa fase di ablazione eccezionale sono stati alcuni fenomeni di instabilità, tra cui ricordiamo lo svuotamento improvviso del lago proglaciale del Miage, il crollo improvviso di una parte consistente del Ghiacciaio Superiore di Coolidge (Monviso).

La fase di forte regresso raggiunse l'acme nel biennio 1990-91, e interessò sia i grandi corpi, sia i ghiacciai minori. Essa fu registrata in ugual misura sia dai ghiacciai che avevano conosciuto nell'intervallo 1971-86 un periodo di avanzata (registrata dal catasto del World Glacier Inventory), sia da quelli che invece avevano subito anche in quel periodo una fase di moderato ritiro.

Attualmente pare che le tendenze evolutive fra i diversi settori del versante alpino meridionale si stiano differenziando (tab. X).

Mentre le Alpi Orientali e Centrali sono ancora in netto arretramento, nel settore Occidentale la ritirata delle fronti si riduce, sia in percentuale dei corpi osservati, sia in intensità sulle singole lingue terminali. Alcuni ghiacciai registrano addirittura un lieve progresso. Altri ancora, come il Lys, pare stiano uscendo in ritardo dalla fase di forte regresso.

Nella tabella IX viene riportata a titolo esemplificativo la variazione frontale di alcuni ghiacciai campione, oggetto di regolari osservazioni e misure.

Il dato medio generale, relativo alla percentuale di ghiacciai in regresso dal 1987/88 al 1992/93, ricavato dalle rispettive campagne glaciologiche, è riportato nella tabella X.

Le Alpi Orientali continuano ad essere il settore in cui il ritiro è più vistoso. Anche in quest'area tuttavia è prevedibile una flessione: un indizio in tal senso è la percentuale dei ghiacciai in regresso, scesa per la prima volta dopo cinque anni al di sotto del 90%.

L'osservazione delle variazioni areali, caratteristiche di un bilancio eseguito da foto aerea, quella delle variazioni frontali, eseguita mediante il rilevamento diretto proprio della campagna glaciologica, non sono tuttavia da soli elementi che esauriscono le possibilità di capire a fondo la tendenza evolutiva delle masse glacializzate. A queste analisi si sono aggiunte quelle del bilancio di massa, cioè misurazione delle variazioni volumetriche, che, meglio delle oscillazioni areali o frontali, può verificare lo "stato di salute" dei ghiacciai ed essere usata per fini idrologici.

In generale, dalle misure effettuate, i bilanci di massa degli ultimi anni risultano fortemente deficitari; ovvero si è registrata una consistente riduzione volumetrica delle masse glaciali. La riduzione volumetrica dei grandi apparati è stata accompagnata dall'estinzione di non pochi ghiacciai minori. Alcune di queste misure sono state effettuate, realizzate con il contributo dell'ENEL e dell'Azienda Elettrica Municipale di Milano, sul ghiacciaio del Careser (Alpi Orientali, Gruppo del Cevedale), dove questo tipo di ricerca è stato avviato alla fine degli anni sessanta, sullo Sforzellina (Alpi Centrali, Alta Valtellina) e sul Lys (Alpi Occidentali, Gruppo del Monte Rosa), dove i dati si riferiscono solo ad anni recenti.

L'analisi sulla dinamica dei ghiacciai alpini del versante italiano sviluppata sulla base dei due Catasti, delle osservazioni relative alla variazione delle fronti (Campagne Glaciologiche sui ghiacciai campione), dei bilanci di massa e di studi più approfonditi sull'evoluzione complessiva di importanti ghiacciai (ghiacciai dei Monte Bianco, del

Lys, delle Grandes Murailles, dell'Ortles-Cevedale) consente di proporre alcune considerazioni di carattere generale.

Il periodo di lieve espansione o di stazionarietà delle masse glaciali registrato negli anni '70 e prima metà degli anni '80, a cui è seguita una fase di rapido e consistente ritiro negli anni successivi, si inquadra nella generale fase di regresso che si è avviata all'inizio del secolo scorso, al termine della Piccola Età Glaciale.

In tale fase si sono infatti alternati momenti di parziale inversione di tendenza rispetto a quella prevalente sul lungo periodo, con periodi di forte accelerazione della fusione degli apparati glaciali, interrotti da periodi di parziale incremento dei ghiacciai.

La fase di marcato ritiro dei ghiacciai italiani registrata negli ultimi anni, come evidenziato più sopra, è correlabile con la riduzione delle precipitazioni nevose ed al modesto ma costante aumento delle temperature. Attualmente la tendenza al rapido forte ritiro dei ghiacciai pare essersi attenuato, in modo più evidente nel Settore Alpino Occidentale, anche se non è possibile parlare di inversione di tendenza. Lo stato di precarietà dei ghiacciai non va comunque considerato come terminato, in particolare nei piccoli apparati, i più esposti a variazioni irreversibili.

BIBLIOGRAFIA

- R. AJASSA e G. BRANCUCCI (1993) - *Nuovo catasto dei ghiacciai italiani*. C.G.I., Torino.
- R. AJASSA, A. BIASINI, G. BRANCUCCI, C. CAPUTO, F. PUGLIESE, M.C. SALVATORE (1993) - *Il Catasto dei Ghiacciai Italiani: primo confronto tra i dati del 1958 e 1989*. Atti Conv. "Una nuova geologia per l'ambiente", Genova - Giugno 1993.
- R. AJASSA, A. BIANCOTTI, A. BIASINI, G. BRANCUCCI, C. CAPUTO, F. PUGLIESE, M.C. SALVATORE (1993) - *Italian Glacier Changes during the past thirty years*. 3rd International Geomorphology Conference. Hamilton - Agosto 1993.
- R. AJASSA, A. BIANCOTTI, G. BRANCUCCI, L. MOTTA, M. MOTTA e E. SATTÀ (1994) - *Nuove ricerche sui ghiacciai italiani*. Atti Acc. Sc. Tor, 128 (5-6). 147-156.
- S. BELLONI, M. PELFINI, C. SMIRAGLIA (1993) - *I ghiacciai del Gruppo Ortles-Cevedle, settore lombardo. Consistenza e variazioni recenti*. C.G.I., Torino.
- A. BIASINI (1991) - *Caratteristiche e impieghi delle fotografie aeree da alta quota dell'Italia*, Atti del IV Workshop del Progetto Strategico C.N.R. "Clima, ambiente e territorio nel Mezzogiorno", Potenza, 26/29/11/1990
- A. BIASINI e M.C. SALVATORE (1993) - *Fotogrammetria digitale e cartografia glaciologica*. (in stampa)
- S. BELLONI (1992) - *Oscillazioni in atto nei ghiacciai italiani e clima*. Geog. Fis. Din. Quat. - Boll. C.G.I., III s., 15, 43-57.
- BOLLETTINO DEL COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO - *Relazioni glaciologiche degli anni 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993*, pubblicate in Geog. Fis. Din. Quat. - Boll. C.G.I., III s., sui numeri 11(2), 12(2), 13(2), 14(2), 15(1 e 2), 16(2), 17(2), Torino.
- A. V. CERUTTI (1992) - *L'espansione dei ghiacciai italiani nel Monte Bianco fra il 1962 ed il 1989*. Geog. Fis. Din. Quat. - Boll. C.G.I., III s., 15, 67-74.
- A. V. CERUTTI (1993) - *Clima e ghiacciai sul versante italiano del Gruppo del Monte Bianco*. C.G.I., Torino.
- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO (1961) - *Catasto dei ghiacciai italiani*. 4 voll., C.G.I., Torino.
- F. DUTTO e G. MORTARA (1992) - *Rischi connessi con la dinamica glaciale nelle Alpi Italiane*. Geog. Fis. Din. Quat. - Boll. C.G.I., III s., 15, 85-100.

- L. MOTTA e M. MOTTA (1993) - *Il Ghiacciaio del Lys e le sue variazioni storiche*. C.G.I., Torino.
- M. MOTTA (1993) - *Relazione 1993 sulle ricerche in atto sui ghiacciai italiani del Monte Rosa*. E.N.E.L., Torino.
- S. PALMIERI, A. SIANI e A. D'AGOSTINO (1992) - *Tendenze evolutive della temperatura e delle piogge in Italia negli ultimi 100 anni con osservazioni su una serie storica di precipitazioni nevose*. Geog. Fis. Din. Quat. - Boll. C.G.I., III s., 15, 135-142.
- M. PELFINI e C. SMIRAGLIA (1992) - *Alcune serie secolari di variazioni frontali dei ghiacciai delle Alpi Lombarde*. Geog. Fis. Din. Quat. - Boll. C.G.I., III s., 15, 143-147.
- R. SERANDREI BARBERO, R. RABAGLIATI, C. ATTARDI, A. DELLA VENTURA e A. RAMPINI (1992) - *Variazioni biennali di superficie dei ghiacciai delle Alpi Breonie, Aurine e Pusteresi nei dati LANDSAT TM del 13 Settembre 1987*. Geog. Fis. Din. Quat. - Boll. C.G.I., III s., 15, 177-188.
- SERVIZIO GLACIOLOGICO LOMBARDO - C.A.I. MILANO (1992) - *Ghiacciai in Lombardia*. Ed. Bolis, Milano.
- C. SMIRAGLIA (1992) - *Sviluppi recenti e prospettive della ricerca glaciologica in Italia*. Geog. Fis. Din. Quat. - Boll. C.G.I., III s., 15, 189-194.
- C. SMIRAGLIA (1993) - *Il Ghiacciaio del Calderone (Appennino Centrale). Sue caratteristiche e dinamica recente*. C.G.I. Torino.
- G. ZANON (1985) - *L'attuale tendenza evolutiva dei ghiacciai delle Alpi italiane*. Geog. Fis. Din. Quat. - Boll. C.G.I., III s., 8(2), 89-97.
- G. ZANON (1992) - *Venticinque anni di bilancio di massa del Ghiacciaio del Careser (Alpi Centrali), 1966-67/1990-91*. Geog. Fis. Din. Quat. - Boll. C.G.I., III s., 15, 215-220.G.
- G. ZANON (1993) - *I ghiacciai del versante trentino del Gruppo Ortles-Cevedale (Valle di Pejo e di Rabbi)*. C.G.I., Torino.

Il nuovo catasto dei ghiacciai italiani: confronto con il catasto del 1958

Ghiacciai	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Totale	Area totale	% AREA
Gruppo Montuoso						
Marittime	3		7	10	105,00	0,20
Cozie	6	6	11	23	330,50	0,63
Graie	22	3	178	203	13658,20	26,11
Pennine	5	4	91	100	8387,00	16,04
Lepontine	7	2	25	34	1431,50	2,74
Retiche	127	56	353	533	25114,48	47,64
Noriche	7	8	49	64	2626,94	5,02
Dolomitiche	24	7	27	58	817,00	1,56
Giulie		4	3	7	25,00	0,05
Appennino			1	1	6,20	0,01
TOTALI	201	90	745	1036	52501,82	100,00
%	19,4	8,7	71,9	100		

tabella I - Situazione dei corpi glaciali risultante dal catasto 1958, suddivisi per tipo e per gruppo montuoso.

Classi	Numero	Freq. %	Area tot.	Area %
< 5	90,0	10,8	246,8	0,5
5-100	622,0	74,5	16598,3	31,5
100-200	66,0	7,9	8983,7	17,0
200-300	18,0	2,2	5220,7	9,9
300-400	20,0	2,4	6218,2	11,8
400-500	4,0	0,5	1681,0	3,2
500-600	4,0	0,5	3193,0	6,1
600-700	3,0	0,4	1221,0	2,3
700-800	2,0	0,2	2162,0	4,1
800-900	1,0	0,1	870,8	1,7
900-1000	1,0	0,1	953,0	1,8
> 1000	4,0	0,5	5400,2	10,2
TOTALI	835,0	100,0	52748,7	100,0

tabella II - Catasto 1958: distribuzione dei corpi glaciali, (numero ed area) per classi di estensione areale.

Gruppo Montuoso	tipo A	tipo B	tipo C	totale	Area totale	% AREA
Marittime	5	4	1	10	8,5	0,0
Cozie	13	6	5	24	67,3	0,1
Graie	35	18	175	228	12496,3	25,9
Pennine	30	6	71	107	6598,4	13,7
Lepontine	9	2	25	36	1067,9	2,2
Retiche	161	57	354	572	24433,5	50,7
Noriche	37	2	53	92	2961,0	6,1
Dolomitiche	14	4	19	37	532,4	1,1
Giulie	3	1	3	7	19,0	0,0
Appennino		1		1		
TOTALI	307	101	706	1114	48184,4	100,0
%	27,6	9,0	63,4	100,0		

tabella III - Situazione dei corpi glaciali risultante dal catasto 1989, suddivisi per tipo e per gruppo montuoso.

Classi	Numero	Freq. %	Area tot.	Area %
< 5	101,0	12,5	314,2	0,6
5-100	591,0	73,2	14997,6	30,9
100-200	59,0	7,3	8191,5	16,9
200-300	18,0	2,2	4282,6	8,8
300-400	13,0	1,6	4449,8	9,2
400-500	9,0	1,1	3883,6	8,0
500-600	5,0	0,6	2741,2	5,7
600-700	3,0	0,4	1939,6	4,0
700-800	3,0	0,4	2234,1	4,6
800-900	0,0	0,0	0,0	0,0
900-1000	1,0	0,1	936,5	1,9
> 1000	4,0	0,5	4527,8	9,3
TOTALI	807,0	100	48498,5	100,0

tabella IV - Catasto 1989: distribuzione dei corpi glaciali, (numero ed area) per classi di estensione areale.

CATASTO 58	Tipo A	Tipo B	Tipo C	TOTALI	Area totale	% AREA
Alpi Occidentali	41	15	307	363	23755,7	45,2
Alpi Centrali	108	35	220	363	16099	30,7
Alpi Orientali	52	40	217	309	12640,8	24,1
Appennino			1	1	6,2	0,0
TOTALI	201	90	745	1036	52501,8	100
%	19,4	8,7	71,9	100		

Il nuovo catasto dei ghiacciai italiani: confronto con il catasto del 1958

CATASTO 89	Tipo A	Tipo B	Tipo C	TOTALI	Area totale	% AREA
Alpi Occidentali	90	36	272	398	20107,7	41,7
Alpi Centrali	117	28	243	388	16328,8	33,9
Alpi Orientali	100	36	191	327	11747,8	24,4
Appennino		1		1		
TOTALI	307	101	706	1114	48184,3	100,0
%	27,6	9	63,4	100		

tabella VI - Situazione dei corpi glaciali risultante dal catasto 1989.

Diff. 58-89	Tipo A	Tipo B	Tipo C	TOTALI	diff. area	diff. %
Alpi Occidentali	49,0	21,0	-35,0	35,0	-3648,0	-15,4
Alpi Centrali	9,0	-7,0	23,0	25,0	229,8	1,4
Alpi Orientali	48,0	-4,0	-26,0	18,0	-893,0	-7,1
Appennino		1,0	-1,0	0,0		
TOTALI	106,0	11,0	-39,0	78,0	-4311,2	-8,2

tabella VII - Differenze tra il Catasto 1989 e il Catasto 1958.

Classi	Num. 58	Num. 89	Diff. 58-89	Aree 58	Aree 89	Diff. Area
< 5	90	101	11			
5-100	622	591	-31	16598,3	14997,6	-1600,7
100-200	66	59	-7	8983,7	8191,5	-792,2
200-300	18	18	0	5220,7	4282,6	-938,1
300-400	20	13	-7	6218,2	4449,8	-1768,4
400-500	4	9	5	1681,0	3883,6	2202,6
500-600	4	5	1	3193,0	2741,2	-451,8
600-700	3	3	0	1221,0	1939,6	718,6
700-800	2	3	1	2162,0	2234,1	72,1
800-900	1	0	-1	870,8	0,0	-870,8
900-1000	1	1	0	953,0	936,5	-16,5
> 1000	4	4	0	5400,2	4527,8	-872,4
TOTALI	835	807		52501,9	48184,3	4317,6

tabella VIII - Differenze dei corpi glaciali (numero e area) per classi di estensione tra il Catasto 1989 e il Catasto 1958.

Il nuovo catasto dei ghiacciai italiani: confronto con il catasto del 1958

Ghiacciaio	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93
<i>Alpi Occidentali</i>						
Settentr. di Hohsand	7,5	-4	-15	-5	-7,5	1
Lys	-12,5	-8	-11	3	-11	-7
Toules	0,5	3	-9	-14,5	-12	-2
Rutor	1	-2	-0,5	-10,5	-7	-1
<i>Alpi Centrali</i>						
Orientale di Dosdè	-15	-8	-11	-28	-15	-29
Cedèch	-1	-4	-10	-2,5	-9,5	-6
<i>Alpi Orientali</i>						
Vedretta Rossa	-3	-6	-2,5	-11	-4	-6
Cristallo	-13	-5	-4	0	-12	-8
Sup. dell'Antelao	-1	-2,5	-2,5	-3,5	-3,5	-2,5

tabella IX - Movimenti delle fronti in alcuni ghiacciai campione dei tre settori alpini, fra il 1987 ed il 1993.

Settore Alpino	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93
Alpi Occidentali	40%	86%	90%	78%	90%	66%
Alpi Centrali	68%	71%	81%	74%	89%	86%
Alpi Orientali	94%	90%	90%	94%	93%	88%
Media	67%	82%	87%	86%	91%	80%

tabella X - Percentuale dei ghiacciai in regresso nei tre settori alpini.