

FRANCO SECCHIERI

PROBLEMATICHE RELATIVE ALLA RACCOLTA E ALL'INTERPRETAZIONE DEI DATI PER UN NUOVO CATASTO DEI GHIACCIAI

ABSTRACT: SECCHIERI F., *Problems arising from collection and interpretation of data for a new glacier inventory* (IT ISSN 0084-8943, 1985).

RIASSUNTO: SECCHIERI F., *Problematiche relative alla raccolta ed alla interpretazione dei dati per un nuovo catasto dei ghiacciai* (IT ISSN 0084-8948, 1985).

1979 saw the beginning of collection, followed by recording, processing and interpretation, of data on the glaciers and glaciers in the central and eastern sections of the Alps and, in particular, of the whole Alto Adige (South Tyrol) area. In practice, the criteria adopted were those recommended by the Temporary Technical Secretariat on behalf of the World Glacier Inventory (head office in Zürich).

The first phase of work organization entailed subdivision of the territory into minimal hydrographical units, whose area was determined essentially on glaciological considerations. Code numbers were assigned to all glaciers, for their easy and accurate identification. This was followed by analysis of the various factors which are decisive in the setting-up and execution of an operational plan for data collection, which can only be carried out in a relatively short period of time at the end of the summer. Suitable aerial photographs were therefore the most important source of information. Direct samplings taken at the terminus also proved useful, and allowed the gathering of various data, including those of tourist interest.

The scale mostly used for mapping was that of the Istituto Geografico Militare 1 : 25 000. Most mapping work consisted in the updating of glacial mass boundaries and the tracing of important parameters such as snow-line and firnline.

In order to record the units in the inventory, it was necessary to introduce some parameters such as the minimum area acceptable for inventory. Some essential features regarding glaciers were also detailed.

Primary classification and various other morphological descriptions were listed following a greatly simplified system prepared by the T.T.S.. Some very important parameters such as snow-line, were studied with particular reference to their morphometric and physical significance, especially for the purpose of calculating the relationships between ablation areas and accumulation basins.

Among the aims of the World Glacier Inventory, there is also that of a quantitative estimate of the water reserve stored in solid form, and the difficulty of estimating the depth of the glacial masses consequently takes on special importance. Calculation of this parameter was made on the basis of area, separately for glaciers and glaciers.

Special cards, some of which follow the layout proposed by the World Glacier Inventory, were used as a preliminary means of recording all data.

A partire dal 1979 è cominciata la raccolta, seguita dalla interpretazione, elaborazione e trascrizione dei dati relativi ai ghiacciai ed ai glacionevati del settore centro-orientale dell'arco alpino, ed in particolare di tutto l'Alto Adige. I criteri seguiti sono stati in pratica quelli emanati dalla Temporary Technical Secretariat, per il World Glacier Inventory con sede a Zurigo.

La prima fase di organizzazione del lavoro ha comportato la suddivisione del territorio in unità idrografiche minime, la cui estensione è stata determinata sulla base di considerazioni essenzialmente di carattere glaciologico. Ad ognuna di esse è stato assegnato un numero di codice al fine di poter identificare ogni ghiacciato in maniera univoca.

Vengono analizzati poi i molti fattori che determinano il progetto e l'esecuzione di un piano operativo per la raccolta dei dati; questa può essere effettuata solo in un arco di tempo relativamente ristretto, al termine della stagione estiva. Le fotografie aeree, opportunamente eseguite, sono la più importante fonte di informazione. Sono stati utilmente eseguiti anche rilievi alle fronti, che hanno permesso la raccolta di diversi dati, compresi quelli aventi un carattere di informazione turistica.

Come base cartografica è stata principalmente usata quella a scala 1 : 25 000 dell'IGM. Il lavoro cartografico principale è stato quello di aggiornare i contorni delle masse glaciali e di tracciare importanti parametri quali, ad esempio, la « snow-line » e la « firn-line ».

Al fine dell'inserimento delle unità nel catasto, si sono introdotti alcuni parametri, quali la superficie minima accatastabile, e sono state inoltre precisate alcune caratteristiche essenziali riguardanti i glacionevati.

La classificazione primaria ed altre varie descrizioni morfologiche e morfometriche sono state redatte seguendo un semplice schema proposto dalla T.T.S.. Alcuni parametri di grande importanza, come la « snow-line », sono stati esaminati con particolare riferimento al loro significato fisico, specialmente per il calcolo dei rapporti tra le aree dei bacini collettore ed ablatore.

Tra gli scopi del catasto, vi è anche quello di una valutazione quantitativa della riserva idrica immagazzinata sotto forma solida; di conseguenza, particolare importanza assume la difficile valutazione dello spessore delle masse glaciali. Il calcolo di questo parametro è stato fatto sulla base della estensione areale, separatamente per ghiacciai e glacionevati.

Quale primo supporto per la trascrizione dei dati sono state utilizzate delle schede appositamente predisposte, alcune delle quali basate sullo schema proposto dal World Glacier Inventory.

TERMINI CHIAVE: Glaciologia; Alpi italiane.

PREMESSA

Nel 1979, nell'ambito dei programmi di collaborazione del Comitato Glaciologico Italiano con il *World Glacier Inventory*, si è iniziata la raccolta, seguita dalla interpretazione, elaborazione e trascrizione su schede, di una serie di dati relativi alle masse glaciali presenti su alcune aree alpine, in particolar modo sul territorio dell'Alto Adige ⁽¹⁾.

In questa fase sono emerse particolari problematiche, oggetto della presente trattazione. Principalmente il riferimento è alla Provincia di Bolzano per la quale il lavoro è stato completato nel 1982.

I rilievi sono stati seguiti e l'elaborazione dei dati è stata fatta sulla base della normativa emanata dalla Temporary Technical Secretariat (T.T.S.) per il World Glacier Inventory (W.G.I.), nell'ambito di un programma di ricerche predisposto dalla Commissione Internazionale per la Neve ed il Ghiaccio, su scala mondiale ⁽²⁾.

Per la messa a punto delle metodologie relative soprattutto alla raccolta delle informazioni è stata di notevole aiuto l'esperienza di ricercatori di altre nazioni, quali soprattutto Svizzera ed Austria; con essi sono stati sempre mantenuti stretti rapporti di collaborazione. Tali contatti si sono rivelati inoltre indispensabili al conseguimento di risultati omogenei con altri catasti e per la descrizione di ghiacciai attraversati da confini politici.

I dati definitivi sono poi stati trascritti su schede appositamente predisposte, sulla base di quelle proposte dal W.G.I.

Per soddisfare infine specifiche esigenze della Provincia Autonoma di Bolzano si è provveduto ad una integrazione con informazioni di vario genere allo scopo di fornire una immagine il più completa possibile di ogni unità accatastata. Il lavoro per l'Alto Adige è stato inoltre arricchito con un adeguato archivio fotografico, uno cartografico ed una bibliografia su temi glaciologici sia generali che specifici dei ghiacciai della regione.

Nella elaborazione dei dati ci si è attenuti a criteri guidati dalla necessità di produrre un risultato il più aggiornato possibile e della massima omogeneità, anche se la raccolta del materiale utilizzato è avvenuta in più anni.

Come base di partenza si sono utilizzate tutte le strisciate aerofotogrammetriche rese disponibili. Per l'aggiornamento si è ricorsi ad una ulteriore, ampia documentazione consistente di foto aeree prospettiche, di stereofoto terrestri e di rilievi diretti.

In particolare per l'Alto Adige, le operazioni di campagna sono state condotte alla fine della stagione di ablazione delle annate dal 1978-79 al 1981-82. Gli interventi eseguiti nella prima di esse sono soprattutto serviti per la messa a punto delle metodologie di rilevamento, di elaborazione e di organizzazione dei dati.

Resta da segnalare, infine, l'utilità, la praticità e la

convenienza delle foto aeree oblique: sia per la relativa semplicità di esecuzione, sia per il non trascurabile vantaggio del costo limitato.

UNITÀ IDROGRAFICHE MINIME E CODICE DI IDENTIFICAZIONE

La pianificazione del lavoro ha richiesto anzitutto la suddivisione del territorio in *unità idrografiche minime*. La loro delimitazione è stata fatta sulla base di criteri orografici, idrografici e, soprattutto, glaciologici. L'estensione delle unità è stata infatti regolata principalmente dal grado di glacializzazione del territorio in esse contenuto.

Il più delle volte le unità idrografiche minime hanno coinciso con singole valli, altre volte anche più torrenti (e relativi bacini) sono entrati a far parte di una sola unità. Al limite, bacini anche estesi, come quelli prealpini, ma con caratteri geografici insufficienti al possibile sviluppo di attuali processi di glacializzazione, non sono stati considerati.

Ad ogni unità minima è stato assegnato un particolare numero di codice di identificazione, atto poi alla numerazione di tutte le masse glaciali in essa contenute.

Per incarico del Comitato Glaciologico Italiano, la suddivisione e la codificazione in unità idrografiche minime sono state eseguite per l'intero versante meridionale delle Alpi e per l'Appennino.

Il nuovo criterio di numerazione dei ghiacciai, all'apparenza complicato, si discosta totalmente da quello precedentemente utilizzato nel Catasto dei Ghiacciai Italiani (CNR, 1959-1962). Esso presenta, tra l'altro, il vantaggio di poter operare variazioni all'interno di una unità idrografica senza dover modificare la numerazione delle altre.

L'assegnazione del codice di identificazione, su cui ci si sofferma brevemente, è stata fatta seguendo la già citata normativa per il W.G.I. La numerazione è risultata tale da poter essere inserita nella banca dei dati creata presso la T.T.S., a Zurigo, e si presta inoltre ad una eventuale, futura gestione computerizzata del catasto.

Ogni unità glaciale inventariata individuata da un indicatore composto da un totale di 12 codici, trascritti in caratteri alfanumerici.

Per il bacino del Po e per quello dell'Adige, i primi rispettivamente 6 e 7 indicatori sono stati preventivamente assegnati dal W.G.I. Il Po ha ricevuto un ordine superiore rispetto all'Adige e ciò sulla base di quei criteri di cui si è fatto cenno.

L'intero bacino del Po porta il seguente indicatore: I-4L01, l'Adige: I-4L001. Le prime due posizioni del codice individuano lo Stato di appartenenza (I-: Italia), La terza e quarta posizione (4L) si riferiscono all'intero bacino dell'Adriatico, ivi compresi i bacini greci, albanesi e jugoslavi. Le altre posizioni servono alla identificazione dei bacini fino al 4° ordine per l'Adige e fino al 5° per il Po. Le due ultime posizioni servono per la numerazione (fino ad un massimo di 99) delle unità glaciali all'interno delle unità idrografiche. A titolo di esempio, per l'Alto Adige il massimo numero di unità glaciali

⁽¹⁾ Per l'Alto Adige il lavoro è stato commissionato e finanziato dall'Amministrazione della Provincia Autonoma di Bolzano.

⁽²⁾ La Temporary Technical Secretariat per il World Glacier Inventory è stata insediata nel 1976 presso lo Swiss Federal Institute of Technology (ETH) di Zurigo.

presenti per un singolo bacino è stato di 48 (nell'unità idrografica corrispondente alla Valle Aurina).

Il criterio di gerarchizzazione adottato per le unità idrografiche è stato quello inverso di Strahler, partendo dal 4° ordine. Per il bacino del Po la posizione eventualmente corrispondente a bacini di 5° ordine è stata lasciata inutilizzata e a disposizione nel caso di specifiche esigenze locali. Per la individuazione e la lettura delle unità idrografiche minime è stato necessario stendere una mappa chiave alla scala di 1 : 250 000, con sopra riportati i vari codici di identificazione.

PIANO DI RILEVAMENTO E RELATIVI INTERVENTI

Il piano di rilevamento dei dati catastali è partito con un accurato esame preliminare del territorio per la individuazione di tutte quelle aree eventualmente adatte ad ospitare masse glaciali, anche di piccole dimensioni.

L'esperienza ha dimostrato l'insufficienza del solo esame della cartografia, anche la più aggiornata, ed il riferimento al Catasto dei Ghiacciai Italiani. Questo in quanto le masse glaciali o non comparivano, o risultavano mal cartografate e/o non aggiornate, o, infine, perché le indicazioni fornite non confacevano più alle nuove esigenze.

Per molte aree di indagine è stato possibile l'utilizzo di precedenti strisciate aerofotogrammetriche eseguite in condizioni opportune, come ad esempio per l'Alto Adige, per il quale si disponeva di diverse di esse tra le quali una del Settembre 1975 su circa l'80 % del territorio interessato.

Il rilievo aerofotogrammetrico per fini glaciologici deve sottostare a particolari condizioni, talvolta distanti da quelle delle normali riprese. Esiste anzitutto la necessità di una contemporaneità (non solo teorica) di esecuzione su tutte le aree glacializzate e nel momento più opportuno, che coincide con il termine della stagione di ablazione. Tale periodo è normalmente compreso tra la fine del mese di Settembre e l'inizio di quello di Ottobre. L'incertezza nel preventivare una data esatta è uno dei più sensibili problemi pratici. Un eccessivo anticipo sul suddetto periodo, con un innervamento residuo ancora abbondante, o viceversa la presenza di uno strato anche leggero di neve fresca renderebbero inutilizzabile il materiale così raccolto.

Nella stesura di un piano di rilevamento deve essere considerata quindi la possibilità dello slittamento di un intero anno per la mancanza di una finestra meteorologica utile e di condizioni opportune per le riprese.

Sulla utilità di foto aeree prospettiche quale supporto alla raccolta ed alla interpretazione di taluni parametri si è già detto. È da ricordare ancora la loro utilità nella verifica del carattere di permanenza o meno di talune masse (glacionevati), per i quali sarebbe impensabile l'effettuazione di una copertura aerofotogrammetrica. Da aggiungere che le foto aeree oblique sono state utilizzate anche per la verifica o l'aggiornamento di alcuni parametri prettamente stagionali.

I rilievi diretti alle fronti, previsti ed attuati, sono

serviti per la verifica di situazioni di difficile interpretazione dalle sole foto aeree e per l'effettuazione di misure di una certa precisione.

Pur se dispendiosi dal punto di vista temporale, e talvolta faticosi, i rilievi diretti sul terreno sono da considerarsi insostituibili per soddisfare a determinate esigenze di un piano di intervento come ad esempio quello predisposto per l'Alto Adige.

La qualità e la quantità di informazioni che devono essere raccolte, l'andamento delle condizioni meteorologiche, la vastità del territorio da indagare, assieme alla disponibilità delle forze operanti e dei mezzi a disposizione, sono risultati elementi che impegnano e condizionano la durata dell'intero lavoro forse più che non le successive fasi di elaborazione e trascrizione dei dati.

RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA DELLE UNITÀ GLACIALI

Il problema successivo alla esecuzione dei rilievi è stato quello della rappresentazione cartografica delle masse glaciali per tutti quei casi in cui non si è resa disponibile la restituzione delle stesse⁽³⁾. In tali situazioni si è dovuto far ricorso ad una restituzione speditiva strumentale.

Per questo lavoro è stata utilizzata quale base cartografica quella dell'IGM, a scala 1 : 25 000 (tavole). Gran parte del territorio esaminato era rappresentato nell'edizione a 5 colori, con l'aggiornamento basato su rilievi aerofotogrammetrici e con la sovrastampa della quadrettatura UTM. Per le aree mancanti di cartografia al 25 000 aggiornata, come, ad esempio, parte del Gruppo dell'Adamello⁽⁴⁾, si è potuto constatare la buona possibilità di utilizzo dell'ingrandimento fotomeccanico, alla scala voluta, dei fogli al 50 000, ingrandimento fornito dallo stesso IGM. Molti di tali fogli esistono nella edizione aggiornata, a 6 colori, con la sovrastampa della quadrettatura chilometrica in color magenta.

Il denominatore di scala 25 000 si è dimostrato il più opportuno anche in rapporto alla precisione del metodo di restituzione. Si tenga presente, ad esempio, che i dati del Catasto svizzero sono stati ricavati da una cartografia alle scale di 1 : 25 000 e di 1 : 50 000.

Nella pratica operativa, il lavoro di cartografatura si è tradotto nella correzione e l'aggiornamento dei contorni di ghiacciai e glacionevati già rappresentati sulle tavole. In taluni casi si è invece trattato di riportare quelli delle masse non cartografate (per la maggior parte glacionevati). Per il relativamente modesto spessore supposto per i glacionevati di dimensioni inferiori agli

⁽³⁾ Da notare che anche nel caso di restituzione analitica o analogica possono essersi presentati all'operatore problemi di foto-interpretazione di difficile soluzione: si pensi ad esempio al riconoscimento della « snow-line » o della « firn-line », oppure alla delimitazione del contorno di un bacino collettore in presenza di ghiaccio o nevato di parete. È da considerarsi quindi necessaria una verifica del lavoro di restituzione attraverso il confronto con gli stessi fotogrammi utilizzati.

⁽⁴⁾ Il lavoro per questo settore è stato commissionato e finanziato dal Comitato Glaciologico Italiano ed è tutt'ora in corso di attuazione.

0,5 km² cartografati per la prima volta (mediamente 3 metri), non si è posto il problema della rappresentazione anche della superficie, oltre al contorno. Per le esigenze di catasto si è ritenuto sufficiente considerare la superficie ghiacciata coincidente con quella del fondo roccioso rappresentato sulla carta. A riguardo è da ricordare anche come la precisione di taluni parametri sia legata alla qualità del supporto cartografico.

Un elemento di grande importanza che si è provveduto a riportare sulla carta è stato il limite delle nevi, per quei ghiacciai ovviamente dove esso poteva essere riconosciuto o per i quali avesse un effettivo significato.

Per maggiore chiarezza e facilità di lettura, è stato riprodotto a parte il relativo spezzone di tavoletta (fotocopia in bianco e nero). Su questa vera e propria scheda sono stati messi in rilievo col colore i bacini ablatore e collettore ed altri interessanti elementi (morene galleggianti, ghiaccio morto, ecc.). Vi sono stati poi riportati gli estremi necessari alla individuazione dell'unità e della cartografia.

DEFINIZIONE DI UNITÀ GLACIOLOGICA

Taluni problemi interpretativi e la necessità di accatastare tutte le masse di ghiaccio e di nevi perenni esistenti hanno richiesto la formulazione di una quanto più precisa possibile definizione di *unità glaciologica accatastabile*.

Il sensibile aumento del numero di individui glaciali riscontrato nelle aree sottoposte ad indagine rispetto al precedente censimento non deve ovviamente indurre a supporre l'esistenza di una nuova piccola glaciazione! Ma l'incremento deve sostanzialmente essere attribuito all'adozione di nuovi criteri valutativi, oltre che ad un più accurato esame del territorio. Vanno anche considerate le mutate condizioni di glaciazione rispetto a quelle di decenni precedenti. Un confronto solo numerico col precedente Catasto dei Ghiacciai Italiani sarebbe in tal senso poco significativo.

Nel corso del lavoro si è potuto riscontrare una certa oggettiva difficoltà nel fissare i criteri di valutazione e classificazione delle masse ghiacciate, e la normativa per il W.G.I. non è stata in questo di aiuto. Di questo ci si può rendere conto anche osservando tutte le modifiche e gli adattamenti apportati dai ricercatori delle Nazioni partecipanti al Progetto.

Per quanto di competenza, la normativa generale è stata integrata secondo le necessità con l'aggiunta di talune specifiche che sono parse opportune per gli scopi e le finalità del catasto.

Dimensione areale minima: La normativa internazionale non ha fissato limitazioni di sorta circa le dimensioni areali delle unità da inventariare. È parso però opportuno introdurre un limite di area per la definizione di una soglia minima di catastabilità.

I ricercatori svizzeri hanno fissato in 0,01 km² il limite areale minimo per le masse da accatastare: si tenga però presente che i rilievi su cui è basato il Catasto svizzero risalgono al 1973. Le condizioni di abbondante innevamento residuo riscontrato sulle aree esami-

nate negli anni dal 1979 in poi e l'elevatissimo numero delle masse ghiacciate più piccole, hanno fatto ritenere opportuno elevare a 0,05 km² il valore areale minimo da prendere in considerazione. Masse con superficie minore oltre che a dare scarse garanzie circa un necessario carattere di permanenza, sono state ritenute di fatto ininfluenti ai fini idrologici dell'indagine.

Quella areale è stata la prima valutazione sulla catastabilità o meno delle unità, a prescindere dal fatto che si trattasse di ghiacciaio o di glacionevato, anche se, di fatto, essa ha riguardato solo questi ultimi. Per i ghiacciai (specialmente alcuni dolomitici) si è derogato alla regola, indicandone comunque sempre le motivazioni nelle apposite note aggiuntive.

Condizioni per il riconoscimento di un glacionevato:

Una prima definizione sommaria di glacionevato può essere quella di massa più o meno omogenea e compatta, costituita da nevato e/o ghiaccio, di estensione e forma varie, che permane per due o più anni consecutivi e non dotata di movimento.

Definita la soglia areale, rimangono da valutare il movimento ed il carattere di permanenza. Per le masse definite come glacionevati non sono stati osservati movimenti paragonabili a quelli di un ghiacciaio, anche piccolo, con tutte le conseguenti manifestazioni morfologiche, come ad esempio le crepacciature. La presenza di movimento non è genericamente da escludere, anche se il fenomeno è limitato ed in stretta dipendenza con la topografia del letto. Fratture sono state osservate, ad esempio, in ripidi canali o in prossimità del contatto con pareti rocciose, in aggiunta a quelle dovute a fusione.

Movimento e permanenza sono caratteri che possono anche avere legame tra loro, dato che incrementi continui di massa portano a generare un movimento di discesa ed alla formazione perciò di un vero e proprio ghiacciaio. La mancanza di movimento esclude la possibilità di un ricambio di massa: gli strati più profondi al riparo dell'ablazione, subiscono nel tempo una trasformazione da nevato a ghiaccio, principalmente per processi di rigelo. Placche con la superficie simile a quella del ghiaccio di ghiacciaio sono state osservate al termine di annate con forte ablazione estiva (in aggiunta allo scarso innevamento invernale) e conseguente esaurimento della copertura di neve vecchia e nevato, come ad esempio nel Settembre del 1982.

La presenza di un tale tipo di superficie ha costituito di per sé uno dei criteri di valutazione del carattere di permanenza, condizione necessaria all'inserimento in catasto dell'unità. La dote di permanenza è stata valutata ancora grazie alla semplice osservazione della superficie constatando la presenza di due o più caratteristiche zone di colore sulle tonalità del grigio, spesso separate da strisce scure (superfici estive). Dato che ogni fascia corrisponde al nevato di una annata, tale caratteristica è stata risolutiva del problema interpretativo.

Le suddette osservazioni non possono essere fatte ovviamente in caso di copertura totale della superficie per neve vecchia. In tale condizione l'unica soluzione non legata a sopralluoghi diretti è la ripetizione delle osservazioni in annate successive e per questo, come si è det-

to, un valido aiuto è costituito dalle foto aeree prospettiche.

Prima del definitivo accatastamento di un glacionevato, talvolta è parso opportuna una verifica, per quanto possibile attenta, per rivelare eventuali cause con carattere di eccezionalità e perciò non ripetitivo, responsabili quindi di un accumulo non in grado di rispondere a quel sicuro carattere di permanenza richiesto.

Oltre a quanto detto, i glacionevati hanno presentato ancora problemi di carattere interpretativo come ad esempio il tracciamento del contorno specialmente con abbondante innevamento residuo. La soluzione di qualsiasi tipo di problema è comunque sempre stata ispirata, pur in casi di estrema incertezza, a criteri di *interpretazione restrittiva*.

Interdipendenza di unità glaciologiche: Spesso si è presentata la necessità di risolvere dubbi circa i rapporti di interdipendenza tra unità, specialmente nel tracciare i limiti di separazione tra glacionevati, tra glacionevati e ghiacciai e, infine, tra gli stessi bacini collettori di ghiacciai.

Per i soli glacionevati si è trattato, in genere, di decidere se raggruppare o meno masse all'apparenza eterogenee sulla base di considerazioni essenzialmente topografiche e, raramente, per le differenze nelle condizioni di alimentazione. L'indirizzo della scelta non è stato condizionante, per questi casi, sulla qualità dei dati per il catasto, limitandosi alle sole variazioni del computo numerico.

Più interessanti e di maggiore importanza ai fini dei dati catastali i rapporti tra glacionevati e ghiacciai. Sono stati osservati casi di continuità tra superfici di glacionevati e di bacini ablatori o collettori di ghiacciai. Nel primo caso il problema è sempre stato di facile soluzione, specie per la sostanziale differenze tra le superfici.

Meno facile interpretare i collegamenti tra bacini collettori e masse di nevato non considerabili come parti integranti dell'unità maggiore. Questa casistica è stata relativamente abbondante e non sempre è stato possibile arrivare ad una soluzione soddisfacente. Orientativamente le situazioni più incerte sono state risolte con l'unificazione delle aree all'unità di classifica superiore.

Il terzo ed ultimo caso ha riguardato i collegamenti più o meno evidenti tra bacini collettori, ablatori, o entrambi, dei ghiacciai, dove ad una apparente continuità di superficie non poteva corrispondere un uguale rapporto tra le masse. La identificazione, in sostanza, dei reali bacini di drenaggio. Anche in questo caso la normativa del W.G.I. non ha fornito esaurienti indicazioni, lasciando la soluzione alla esperienza ed alla discrezionalità del compilatore.

Modifica di precedenti classificazioni: A fianco delle suddette problematiche, si è dovuto talvolta risolvere il caso della modifica di radicate, tradizionali o addirittura storiche classificazioni, quantomeno per le necessità del nuovo catasto.

Le più significative modifiche sono dipese, ad esempio, dal dover riunificare colate coalescenti o comunque alimentatrici di un unico apparato, o di colate costituenti un unico bacino ablatore, e considerate precedentemente

come singoli individui. A titolo di esempio possono essere citati i casi dei Ghiacciai della Croda e di Valledlunga (Rio Carlino), delle Vedrette Orientale e Centrale di Ries (Val di Riva) in Alto Adige, ed i ghiacciai del versante di Macugnaga nel Gruppo del Monte Rosa.

Situazioni notevolmente complesse si sono infine presentate per ghiacciai a cavallo dello spartiacque continentale ed attraversati da confini politici, come ad esempio il Ghiacciaio del Giogo Alto (Val Senales - Alto Adige). In questi casi le soluzioni adottate sono state quelle già trovate per il catasto della Nazione confinante, generalmente già completato. Non tutti i casi dubbi, relativi ai diversi problemi accennati, hanno potuto trovare una definitiva o soddisfacente soluzione.

Talvolta si è preferito conservare suddivisioni certamente radicale nella tradizione, riportate dal Catasto dei Ghiacciai italiani, limitandosi al più ad una aggiornata delimitazione dei bacini, specialmente collettori. Possono essere ricordati, a riguardo, i casi del Ghiacciaio di Solda e delle Vedrette della Forcola e del Cevedale, tutti in Alto Adige.

I DATI RICHIESTI DAL WORLD GLACIER INVENTORY

Il W.G.I. ha richiesto, per ogni unità accatastata, un massimo di 43 parametri, con l'aggiunta di eventuali note esplicative.

A seconda del tipo, i dati possono essere divisi in tre gruppi:

- 1) informazioni generali e codice di identificazione;
- 2) parametri morfometrici e di classificazione;
- 3) « snow-line » e parametri da essa derivati.

La trascrizione è stata eseguita su di un supporto costituito da schede appositamente predisposte, sulla base del modello proposto dalla T.T.S. ⁽⁵⁾.

Pur essendo la maggior parte dei dati in codice, la scritturazione è stata fatta per facilitare, per quanto possibile, anche una prima lettura diretta e per una più agevole trascrizione su schede perforate o sulla memoria dell'elaboratore.

Per ogni unità è stato previsto un numero minimo di tre schede, estendibili però fino ad un massimo di 99: le prime tre raccolgono i parametri menzionati, le rimanenti 96 le eventuali note aggiuntive.

1) INFORMAZIONI GENERALI E CODICE DI IDENTIFICAZIONE.

Codice: Come si è detto, il codice di identificazione si compone di un totale di 12 cifre, ed è riportato su ciascuna scheda la quale è pure individuata da un numero d'ordine che, aggiunto al codice, rende univoca la sua identificazione. A titolo di esempio, il codice relativo al Ghiacciaio di Solda, il 17° individuo del bacino del Rio di Solda, è il seguente: I-4L00112417. Per quanto riguarda le informazioni generali ed i loro adattamenti, vengono brevemente di seguito descritte.

⁽⁵⁾ Il tipo di schede predisposte per la Provincia di Bolzano è stato poi in parte adottato anche per le altre zone.

Nome: Il nome che è stato riportato è quello del Catasto dei Ghiacciai Italiani. Essendo a disposizione un totale di sole 16 cifre, la trascrizione in forma abbreviata è stata fatta seguendo le disposizioni della Commissione Catasto del Comitato Glaciologico Italiano. Per le nuove unità accatastate non è stato proposto alcun toponimo. Per le unità che sono venute a suddividersi in più individui, rispetto alla precedente situazione, il nome è stato riportato solo per quello avente la maggiore estensione areale. Nei casi invece di raggruppamento di più ghiacciai in singole unità, è stato riportato il nome di quello che possedeva singolarmente la superficie maggiore. Tutti gli altri nomi sono comunque sempre stati riportati nelle note, con le relative spiegazioni quando necessarie.

Coordinate: Per l'ubicazione geografica delle unità si sono preferite le coordinate UTM alla latitudine e longitudine; questo anche per una più facile ed immediata lettura sulla base cartografica, tutta fornita di reticolato chilometrico.

Bacini di drenaggio (numero): Questo è un dato importante per le finalità idrologiche dell'inventario. Il computo è stato fatto sulla base delle unità idrografiche minime.

Cartografia: Le indicazioni richieste e fornite sono state quelle inerenti la scala della base cartografica utilizzata e l'anno del rilievo relativo all'ultimo aggiornamento (da non essere confuso con l'anno di edizione della carta).

Fotografie: Le informazioni richieste hanno riguardato sia il tipo di foto utilizzate che il metodo adottato per la fotointerpretazione (o restituzione), oltre all'anno di presa. In presenza di più fonti di informazione sono stati forniti i dati relativi alle foto adoperate per l'aggiornamento (in genere foto aeree prospettiche), soprattutto riguardo alla linea del nevato o della neve vecchia.

2) PARAMETRI MORFOMETRICI E DI CLASSIFICAZIONE.

Una volta definiti e riportati sulla carta i contorni aggiornati delle masse glaciali, la successiva determinazione dei dati quantitativi non ha posto particolari problemi. Questo però per quelle aree rappresentate in una cartografia aggiornata e affidabile. Per quelle unità mancanti di una accettabile cartografia ed in mancanza anche di una restituzione (come ad esempio alcune aree del Settore alpino occidentale) alcuni parametri che non potevano essere calcolati con sufficiente precisione non sono stati riportati.

Alcuni parametri come l'area totale, lo spessore medio ed il limite del nevato (o delle nevi dell'anno) sono stati accompagnati da una stima dell'errore, valutato in base alla seguente tabella:

indice di errore	area (%)	spessore medio (%)	quota media del limite del nevato (m)
1	0 - 5	0 - 5	0 - 25
2	5 - 10	5 - 10	25 - 50
3	10 - 15	10 - 20	50 - 100
4	15 - 25	20 - 30	100 - 200
5	25	30	200

Aree: Questo dato, sicuramente uno dei più interessanti, è stato ricavato nella quasi totalità, dalle tavolette al 25 000. Le misure sono state eseguite a mezzo di un planimetro polare, più che sufficiente alla precisione richiesta. Tuttavia alcune letture sono state ricontrollate a mezzo di un coordinatometro polare.

La valutazione dell'indice di errore è stata fatta determinando lo scarto quadratico medio. Tuttavia, una sua definizione finale ha tenuto conto pure di altri fattori. Oltre a quelli relativi alle metodologie di restituzione, si è cercato anche di dare una valutazione anche di altre difficoltà, difficilmente quantizzabili, come quella del tracciamento dei contorni in presenza di morena galleggiante o abbondante innevamento residuo. Come si è già detto, comunque, essendosi sempre cercato di seguire una interpretazione di tipo restrittivo, l'indice di errore lo si è di regola approssimato all'eccesso.

Per quanto riguarda la copertura di morena galleggiante, sono state considerate ricoperte solo aree con una elevata densità superficiale del detrito, tale da obliterare completamente la superficie del ghiaccio (come ad esempio gran parte del bacino ablatore del Ghiacciaio di Solda).

Infine, il problema delle aree per quei ghiacciai attraversati da confini politici, è stato risolto sulla base di contatti con i compilatori dei Catasti delle Nazioni confinanti.

Parametri lineari: Per ogni unità sono state generalmente fornite le misure di lunghezza, larghezza media e massima per l'intera superficie e per i bacini ablatore e collettore.

Il W.G.I. richiedeva le misure medie solo per i ghiacciai di tipo vallivo. Questo dato è stato invece fornito anche per piccole unità e ciò al fine di dare una migliore immagine quantitativa del soggetto accatastate.

In generale il diverso criterio di valutazione introdotto circa il dato di lunghezza si è ripercosso in una diversa interpretazione dei limiti dei bacini collettori. Infatti la loro estensione è arrivata a comprendere, ove presenti, anche il ghiaccio o il nevato di parete, non limitandosi più quindi alla sola crepaccia terminale più elevata.

Quote: Anche i dati relativi alle quote sono stati assoggettati alla presenza di ghiaccio o nevato sulle pareti incumbenti i bacini collettori. C'è da aggiungere a riguardo che l'aver esteso alle suddette masse (ivi compresi i ripidi canali di alimento) il contorno dei bacini ha portato a quell'aspetto sovente frastagliato della pianta sulla carta.

I dati relativi alle quote più basse sono stati in molti casi rilevati direttamente sul terreno. In presenza di morena galleggiante è sempre stata specificata la differenza di quota tra limite inferiore del ghiaccio scoperto e quello del ghiaccio obliterato.

Altezza mediana: Questo dato, inteso come isoipsa che divide il ghiacciaio in due aree equivalenti, è stato calcolato con particolare attenzione. Esso è stato ricavato per via grafomeccanica dalla curva ipsografica. Tale curva non è richiesta dal W.G.I., tuttavia essa è stata costruita per tutte le unità con una estensione pari o su-

periore agli 0,50 km², per fasce altimetriche di 50 metri di ampiezza.

Per corpi glaciali di minore estensione, essa è stata ricavata direttamente dalla carta con metodi empirici e solo quando ritenuta significativa.

Spessore medio: Com'è noto, questo dato è molto difficile da ricavare, specialmente in presenza di relativamente scarsi elementi come nel nostro caso. Sono stati comunque forniti dei valori che devono essere considerati, alla fine, come molto approssimativi. In mancanza di maggiori elementi di valutazione, è stato assegnato un unico indice statistico di errore.

Nel tentativo di migliorare comunque la qualità di questo parametro, si è proceduto ad una suddivisione ulteriore della tipologia rispetto a quanto fatto dal Casto Svizzero preso come esempio.

Il dato di spessore è stato calcolato in funzione della dimensione areale.

Oltre che a differenziare le unità rispetto alle loro superfici, si è proceduto anche ad una distinzione tra glacionevati e ghiacciai. Lo spessore medio, espresso in metri, è quindi stato ricavato in base alla seguente tabella:

area totale (km ²)	0,05-0,5	0,5-23	maggiore di 23
glacionevati	3	5 ⁽⁶⁾	—
ghiacciai	5	5,2 + 15,4√area	(⁷)

(⁶) Tranne che per i glacionevati « a gruppo » (v. classificazione), per i quali lo spessore rimane di 3 metri.

(⁷) Non si sono avuti ghiacciai di simili dimensioni. La formula di calcolo dello spessore per i ghiacciai compresi tra gli 0,5 ed i 23 chilometri quadrati è stata ricavata da una curva di regressione costruita sulla base dei dati relativi a 16 ghiacciai svizzeri (tra vallivi e montani), per i quali sono state fatte delle verifiche dirette (MÜLLER & alii, 1976).

Classificazione: Lo schema classificativo, proposto dal G.G.I. è, come si è detto, molto semplice. Esso viene riassunto nella seguente tabella, ulteriormente semplificata rispetto all'originale, essendo omesse le tipologie mancanti nei territori investigati. Sulle schede è stato riportato il solo numero di codice e non la descrizione in chiaro.

Non si entra qui nel merito di ogni singola voce, rimandando per questo alla bibliografia a riguardo. Ci si sofferma solo brevemente su taluni problemi sorti soprattutto per la difficoltà di inserimento nella griglia di tipologie con caratteri non del tutto definiti a favore di uno o di altri tipi.

Non è stato semplice classificare ghiacciai di piccole dimensioni, ma con una ben sviluppata lingua di ablazione, ospitata anche parzialmente nella valle. Come pure il caso inverso di ghiacciai anche di dimensioni rilevanti, privi di un ben definito apparato ablatore.

L'estensione areale non è stata di fatto utilizzata quale elemento discriminante tra un tipo e l'altro.

Dubbi sono talvolta emersi per dei casi che potevano porsi al limite tra la classificazione di ghiacciaio o quella di glacionevato.

I rock-glaciers sono stati generalmente esclusi. Talvolta, consistenti masse ghiacciate, alla testata di rock-glaciers, sono state considerate e classificate come glacionevati. Nelle note relative, comunque, si è sempre fatto cenno alle caratteristiche osservate.

La classificazione della forma « a gruppo » per i glacionevati è stata sempre interpretata in maniera restrittiva o meno in dipendenza, come si è già detto, delle caratteristiche stesse del bacino ospitante. Una forma a gruppo è costituita da un insieme di più placche, anche di dimensioni minime, ma sicuramente permanenti che nel loro complesso omogeneo raggiungono la dimensione areale richiesta per la catastabilità.

cod.	classificaz. primaria	forma	fronte	profilo longit.	alimentaz. preval.	attività lingua
0	incerto o misto	incerta mista	normale mista	incerto misto	incerta mista	incerta
1		bacini composti		regolare	neve	marcato ritiro
2		bacino composto		sospeso	valanghe	ritiro moderato
3	di calotta	bacino semplice	lobata	a gradinata	ghiaccio sovraimp.	stazionar.
4		circo	« calving » (laghi)	seraccato		moderata avanzata
5	ghiacciaio vallivo	nicchia	coalesc.	interrotto rigenerato		forte avanzata
6	ghiacciaio montano					« surging » possibile
7	glacionevato	placca				« surging » noto
8		a gruppo				oscillazioni
9	rock-glacier	ghiaccio morto				

Per quanto riguarda la forma di « ghiaccio morto », vale la pena di ricordare il bell'esempio ritrovato in Valle di Solda (Alto Adige), costituito da una cospicua massa di ghiaccio isolata e ricoperta di morena, resto della vecchia lingua del Ghiacciaio di Solda.

Riguardo all'attività della lingua per quei ghiacciai per i quali il dato è stato reperito, si è posta pari a 20 metri/anno la soglia oltre cui considerare marcato lo spostamento della fronte in entrambi i sensi. Variazioni di 1-2 metri/anno sono state considerate come semplici « oscillazioni ». I dati relativi alle variazioni frontali sono stati desunti o da osservazioni dirette, oppure attraverso la consultazione delle relazioni per le campagne glaciologiche.

È stato anche aggiunto il periodo di tempo cui le osservazioni sulla attività della lingua si riferiscono, limitandone però l'ampiezza massima all'ultimo decennio.

Per taluni ghiacciai, pur in mancanza di dati quantitativi, è stato possibile dedurre, anche se con un certo margine di approssimazione, la tendenza delle fronti sulla base della sola fotointerpretazione. In questo caso è stato indicato il solo anno di presa delle foto utilizzate.

Non sono mai stati osservati fenomeni di « surge ».

Morene: Poiché il Catasto Internazionale lo ha richiesto, sono state fornite indicazioni di carattere qualitativo sugli apparati morenici, sia a contatto col corpo glaciale, sia a valle dello stesso. Per questi ultimi apparati l'osservazione è stata limitata alle sole morene storiche.

Le morene sono state suddivise nei seguenti gruppi (tra parentesi il numero di codifica utilizzato): morene assenti (0); morene terminali (1); morene laterali e/o mediane (2); morene di spinta e di neoformazione (3); combinazione tra i gruppi 1 e 2 (4); combinazione tra i gruppi 1 e 3 (5); combinazione tra i gruppi 2 e 3 (6); combinazione tra i gruppi 1, 2 e 3 (7); detrito di origine incerta (8); morene di tipo incerto o non presenti tra quelle elencate (9).

3) « SNOW-LINE » E PARAMETRI DA ESSA DERIVATI.

Come ultimo gruppo di parametri richiesti dal W.G.I., vi è la quota media del limite delle nevi dell'anno (corredata dalla data di osservazione e dall'indice di errore) e, come conseguenza, i dati relativi ai bacini ablatore e collettore (lunghezza e quota mediana).



FIG. 1 - Vedretta Pendente (Val Ridanna - Agosto 1982). Si noti l'evidente separazione tra bacino collettore e bacino ablatore, ed inoltre le caratteristiche zonature, ognuna corrispondente al nevato di una annata diversa (foto F. SECCHIERI).

Le condizioni di innevamento osservate soprattutto alla fine della stagione estiva delle annate 1980/81 e 1981/82, assieme ad alcune specifiche osservazioni, hanno indotto a non utilizzare la « snow-line », ma al suo posto la « firn-line ». In altre parole non il limite altimetrico raggiunto dal manto nevoso residuo dell'annata, ma il limite del nevato. Sulle superfici dei ghiacciai entrambi i suddetti limiti si sono potuti osservare essendo quello della neve vecchia ovviamente più elevato di quello del nevato. Addirittura nell'Agosto del 1982 è stata osservata la quasi totale scomparsa del manto nevoso residuo su molti ghiacciai.

Se in tali condizioni si fosse utilizzato il limite delle nevi dell'anno, molte unità sarebbero risultate addirittura senza bacino collettore! Sulla scelta poi della « firn-line » come parametro è gravata anche la necessità di ottenere dati il più omogenei possibile, anche con rilievi effettuati in diverse annate successive.

Il limite del nevato si è rivelato più idoneo alle esigenze del catasto in quanto parametro più conservativo e meno soggetto, quindi, alle vicende meteorologiche delle singole annate. Esso può considerarsi, in effetti, il solo parametro rappresentativo degli effetti del clima sul territorio dal punto di vista glaciologico.

È stata comunque osservata una certa sensibile fluttuazione del limite del nevato nel corso dell'ultimo decennio su alcuni ghiacciai sottoposti ad osservazioni continuative.

La posizione del limite del nevato nel 1979 è stata determinata dalle condizioni delle annate attorno alla metà degli anni '70, che ne hanno provocato un notevole abbassamento. Le opposte vicende meteorologiche delle annate più recenti, hanno determinato una modifica contraria favorendone un sensibile innalzamento medio.

I dati sul limite del nevato tratti dalle più recenti osservazioni (1982) sono verosimilmente più consoni all'andamento climatico medio sul territorio sottoposto ad indagine.

Dal punto di vista pratico ed applicativo la scelta del limite del nevato come parametro di studio ha fornito un primo vantaggio per la facilità del suo riconoscimento sui fotogrammi (specialmente in bianco e nero), essendovi maggior contrasto di tonalità tra le zone del ghiacciaio separate da tale limite.

Nei rilievi eseguiti soprattutto nel 1982, i bacini collettori hanno mostrato una caratteristica zonatura nella loro parte inferiore, con una serie di fasce degradanti dal grigio chiaro a quello più scuro (fig. 1), ciascuna corrispondente al nevato di singole, successive annate. Da notare come si sia rilevata una particolare costanza nel numero di 6 per le suddette fasce, numero talvolta rilevato anche per i glacionevati.

Quale limite da cartografare è stato utilizzato quello coincidente col bordo inferiore della fascia di nevato più bassa (più vecchia), talvolta circondata, a valle, da una zona più o meno ampia di ghiaccio sovrainposto.

Non è sempre stato osservato un andamento regolare di tale limite ed anche il riportarlo su carta è stato un lavoro di interpretazione caso per caso. Una volta cartografato e delimitati quindi i bacini collettore ed ablatore, si è proceduto al computo delle loro aree e a

quello dell'altezza mediana, per la quale si è nuovamente fatto ricorso alla curva ipsografica.

Ovviamente per i glacionevati non è stato riconosciuto e calcolato nessun limite altimetrico e queste unità sono state considerate come fornite di solo bacino collettore.

Per i ghiacciai, infine, è stata fornita anche l'esposizione, diversificata a seconda dei bacini, e trascritta per ottanti.

Fattore AAR: Un dato non espressamente richiesto da W.G.I., ma tuttavia ugualmente fornito su una apposita scheda a parte, è stato il così detto fattore AAR (Accumulation Area Ratio). È un parametro estremamente esplicativo riguardo le condizioni di equilibrio o meno per un ghiacciaio. Esso si ricava dalla seguente formula:

$$AAR = \left(1 - \frac{\text{area ablazione}}{\text{area totale}} \right) \times 100$$

CONCLUSIONE

Il catasto delle masse di ghiaccio e di neve permanenti, redatto sulla base delle indicazioni del W.G.I., una volta completato potrà indubbiamente fornire un realistico quadro glaciologico, avendo appunto compreso masse glaciali anche piccole, ma nel loro insieme non trascurabili, specialmente ai fini idrologici.

La parametrizzazione dei dati e la standardizzazione del metodo sono elementi essenziali per un risultato quanto più oggettivo possibile.

Nelle varie fasi del lavoro, dalla raccolta alla trascrizione finale dei dati, esiste comunque un passaggio che rimane vincolato alla soggettività di chi lo esegue, ed è la fotointerpretazione. L'esperienza e la preparazione dell'operatore si presentano perciò come fattori determinanti ai fini qualitativi del risultato.

Comunque, un catasto così concepito e realizzato, con la possibilità di una sua gestione computerizzata, può essere ritenuto indubbiamente uno strumento moderno sia nella ricerca che nella applicazione in settori molto diversi.

Assai importante rimane la possibilità di poter operare un collegamento con gli altri catasti riguardanti l'arco alpino, pur con gli adattamenti e modifiche attuati per le singole e specifiche esigenze dei ricercatori delle varie Nazioni.

Il fenomeno glaciale è dinamico e questo catasto ne fissa le attuali dimensioni, creando, nello stesso tempo, i presupposti per altri futuri controlli della sua evoluzione.

BIBLIOGRAFIA

- BARSCH D. (1971) - *Rock-glaciers and ice-cored moraines*. Geografiska Annaler, 53A, 3-4, 203-206.
- CARLÀ M. (1980) - *Un problema cartografico: l'aggiornamento delle carte*. L'Universo, 60, 647-652.
- C.N.R. - COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO (1959-1962) - *Catasto dei Ghiacciai Italiani*. Torino, 1196 pp.

- GUIDI F. (1978) - *Fotogrammetria, fotointerpretazione, telerilevamento*. IGM, Firenze, 155 pp.
- LESICA C. (1974) - *La partecipazione italiana al «World Inventory of perennial ice and snow masses»*. Boll. CGI, ser. 2, 22, 127-142.
- MÜLLER F., CAFLISCH T. & MÜLLER G. (1976) - *Firn und Eis der Schweizer Alpen. Gletscherinventar*. Geogr. Inst., ETH, Zürich, Publ. 57.
- MÜLLER F., CAFLISCH T. & MÜLLER G. (1977) - *Instruction for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory*. Geogr. Inst., ETH, Zürich, T.T.S. for W.G.I.
- MÜLLER F., CAFLISCH T. & MÜLLER G. (1978) - *Instruction for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory*. Supplement: *Identification/Glacier Number*. Geogr. Inst., ETH, Zürich, T.T.S. for W.G.I.
- ØSTREM G. (1971) - *Rok glaciers and ice cored moraines, a reply to D. Barsch*. Geografiska Annaler, 53A, 3-4, 207-213.
- REID I. A. (1972) - *Glacier surveys by the Water Survey of Canada*. In: «Proc. Banff Symposia: "The role of snow and ice in Hydrology"», UNESCO-WHO-IASH, vol. 2 ».
- REID I. A. & CHARBONNEAU J. O. G. (1979) - *Glacier surveys in British Columbia - 1976*. Inland Waters Directorate, Ottawa, Rep. Ser. n. 63.
- REID I. A. & CHARBONNEAU J. O. G. (1980) - *Glacier survey in British Columbia - 1978*. Inland Waters Directorate, Ottawa, Rep. Ser. n. 66.
- SCHERLER K. E. (1983) - *Guidelines for preliminary glacier inventories*. T.T.S. for W.G.I., ETH, Zürich, 16 pp.
- UNESCO - AIHS (1970) - *Perennial ice and snow masses. A guide for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory*. Paris, Technical Paper Hydrology, n. 1.
- UNESCO - UNEP - IASH (1978) - *International Workshop on World Glacier Inventory*. Aletsch Centre, Riederalp, 17-22 Sept. 1978, T.T.S. for W.G.I., ETH, Zürich.
- VALENTINI P. (1983) - *Il Catasto dei Ghiacciai della Provincia di Bolzano*. Atti 5° Conv. Glac. It., Bolzano, 1983 (nel presente volume).