

La scoperta dei mulini glaciali

Giovanni Badino - Dipartimento di Fisica Generale dell'Università di Torino
Associazione Culturale La Venta

From time to time, adventurous researchers have made descents of moulins. (...) The hazards of this questionable practice are made clear in this quotation from Holmlund and Hooke: «While one of us was down in a moulin measuring its geometry, two loud cracks were heard. Almost immediately, the water level in the moulin (...) began to rise at a rate of about 7 meters per hour».

BENN D.,
EVANS D.,
Glaciers and
Glaciations,
Arnold, 1998.

*L'Hôtel des
Neuchâtelois
sul Ghiacciaio
dell'Aar
(DESOR, 1844).*

Abstract

The first observations of glacier moulins were made around the middle of XIX century by Forbes, Agassiz and Désor. In the first part of this work we show and discuss their annotations, that appear surprisingly accurate and modern.

In the second part we discuss the glacier caves fall in the myth and oblivion during the last century.

Introduzione

La speleologia glaciale è una attività nata pochi anni fa come espressione estrema della speleologia tecnico-esplorativa. Essa è andata formandosi in mezzo alla più totale indifferenza sia della glaciologia, che la vede come attività sportivo-estrema, sia della speleologia, che la sente come esercizio tecnico privo dello spessore che dà l'esplorazione di nuovi territori.

In effetti il procedere delle ricerche in quegli autentici mondi ci aveva spinto ad approfondire le conoscenze nel campo, ma avevamo scoperto che le idee sui mulini glaciali erano praticamente inesistenti: il problema pareva non aver suscitato mai interesse.

Le ricerche condotte in questo ventennio mostrano invece che si tratta di argomenti interessanti e, come sappiamo da poco, anche importanti; d'altra parte esse riguardano strutture localizzate in zone specifiche ma molto evidenti. Abbiamo quindi approfondito le ricerche e siamo andati a cercarne le citazioni fatte dai naturalisti che per primi avevano descritto i ghiacciai; li abbiamo avuto l'enorme sorpresa di scoprire che essi avevano fatto molte ed accurate descrizioni dei fenomeni che riguardano i pozzi glaciali e che sono state poi praticamente dimenticate per un secolo, quando le difficoltà tecniche li avevano fatti scivolare fuori dell'ambito delle cose interessanti.

Abbiamo iniziato questo lavoro di ricostruzione storica distrattamente, quasi a costituire un archivio di citazioni, e ci siamo tro-

vati in mezzo a osservazioni che ancora adesso sono di un estremo interesse e alla definizione precisa di problemi ancora da risolvere.

Nell'ultima parte di questo lavoro abbiamo analizzato ricerche di autori italiani per seguire quella che potremmo chiamare «l'entrata nel mito» dei mulini glaciali.

Speriamo che questo primo contributo all'argomento, un vasto spaccato di ricerca fra fine Settecento e primo Novecento, sia di stimolo ad approfondimenti e aiuti a chiudere la cesura che la specializzazione dei naturalisti ha aperto da oltre un secolo fra speleologi e glaciologi, divisi ed ignari l'uno dell'altro.

Le prime citazioni dell'idrologia glaciale

I primi a realizzare osservazioni accurate sui ghiacciai alpini so-

colazione dei torrenti epiglaciali che stupiscono sempre chi si inoltra per la prima volta nelle zone carsiche glaciali, anche se gli manca il primato della prima citazione di un pozzo glaciale, per lui i torrenti hanno soprattutto un aspetto di utilità (pagina 124):

Ci si trova su una distesa di ghiaccio ondulato e attraversato da cavità più o meno profonde dove circolano dei ruscelli di una limpidezza perfetta; mai ne ho visti di più puri ed è esperienza di tutti i giorni che l'acqua di questi ghiacci non fa male, per quanto si sia accaldati. Forse questa qualità è dovuta all'assenza di globuli d'aria che non hanno ancora avuto tempo di penetrarvi.

La cosa che ora ci appare più importante è che Bourrit racconta con dovizia di dettagli il lavoro delle guide di Chamonix per le

quali oramai l'accompagnamento di stranieri curiosi su questi territori selvaggi ed inutili (si veda anche [JOUTARD, 1986]) sta diventando una fonte significativa di reddito; da questo, e dalla mancata citazione dei «Moulin», possiamo dedurre che la scoperta di queste strutture come oggetto peculiare

di interesse turistico deve essere attribuita alle ricerche condotte da ignote guide di «Chamouni» per fini turistiche, a cavallo fra la fine del Settecento e i primi dell'Ottocento. Ci ritorneremo.

Ora compiamo un balzo di mezzo secolo ed andiamo a Jean de Charpentier, i cui lavori precedono quelli di Agassiz e Forbes. All'interno del suo testo [DE CHARPENTIER, 1841], un libro che non è più cronaca di un viaggiatore ma è ormai orientato ad una glaciologia scientifica, ci si preoccupa già dell'idrologia glaciale. A pagina 87 leggiamo:

I crepacci o fenditure sono in qualche modo le arterie o i canali conduttori che distribuiscono l'acqua della pioggia e della fusione in tutta la massa del ghiacciaio, mettendola in contatto con le crepe e fessure capillari, che



no il classico Ferdinand De Saussure e Marc Theodore Bourrit. Il primo non ha realizzato però osservazioni significative sull'argomento che ci interessa e lo citiamo solo per completezza. Più interessante è il secondo che opera sul principale ghiacciaio del Monte Bianco, la Mer de Glace. A pagina 68 di una delle sue opere troviamo [BOURRIT, 1785]:

Che scenario magico! Fra la Francia e la bella Italia vedo riuniti gli orrori dei due Poli e l'immagine della natura come doveva essere all'uscita dal caos.

E poco oltre allude a «fente de vingt pieds de large et des abysses qu'à peine nous osions sonder», ma visto che parla della lingua del Talèfre, priva di pozzi, è ragionevole pensare si tratti di crepacci. E' attento però alla cir-

Molino nella valle del Braldo, in Karakorum, proprio sulla via di avvicinamento ad un grande ghiacciaio carsico, il Biafo.



Marc Thodore Bourrit (1739-1819) era il figlio di un orologiaio di Ginevra. Divenne cantore nella chiesa di Saint Pierre nel 1768, ma si dedicò soprattutto all'esplorazione delle Alpi, con innumerevoli viaggi nel Vallese e nell'Oberland bernese che descrisse in numerosi libri a partire dal 1773.

trattengono tutto ciò che possono assorbire. La porzione d'acqua che non è assorbita arriva al suolo, letto del ghiacciaio, del quale essa segue l'inclinazione e le sinuosità sino ai piedi del ghiacciaio dove essa riappare sotto forma di uno o di più torrenti.

Dunque confonde crepacci e mulini e sostiene per primo l'idea che l'acqua attraversi l'intero spessore del ghiacciaio, che è perciò semplicemente «trasparente» ai flussi d'acqua. E' un'idea che durerà molto a lungo... Val la pena di notare come per lui, ma anche per il primo Agassiz e per Hugi, i crepacci non siano strutture tettoniche ma si formino a causa degli sbalzi di temperatura.

La prima osservazione dei pozzi glaciali

I primi che si occupano seriamente del problema dei pozzi glaciali sono due svizzeri, Louis Agassiz ed Edmond Désor, e lo scozzese James Forbes, che operano fra la fine degli anni '30 e i primi dei '40 del 1800. Da quanto scrivono si deduce che le loro ricerche suscitarono un forte interesse presso un pubblico vasto, tanto da giustificare l'edizione di libri che ancora attualmente sono di estremo pregio. L'interesse pubblico fu forse ancor più acceso dalle polemiche che si scatenarono fra di loro riguardo la priorità di certe scoperte. Il primo che descrive i mulini glaciali è Agassiz nel suo celebre lavoro [AGASSIZ, 1840] sul Ghiacciaio del Gorner (che egli chiama «ghiacciaio del Monte Rosa»), proprio quello che è tuttora il ghiacciaio alpino col carsismo più intenso (i motivi vengono analizzati altrove in questa rivista: vedi a pagina 82 e 94). A pagina 54 leggiamo:

E' qui che si trovano le grandi cavità che avevamo visto dalla sommità del Riffel e che noi eravamo curiosi di esaminare da vicino. Sono, in maggioranza, dei vasti imbuti, disposti su una immensa linea che si stende dalla base del Monte Rosa sino al oltre il

Riffelhorn; solo alcuni sono pieni d'acqua ed essi brillano da lontano di un magnifico azzurro. Gli altri hanno un'uscita inferiore nella quale si vanno a perdere sia dei piccoli rivoli d'acqua sia dei torrenti di volume notevole. Mi pare incontestabile che siano formati dall'acqua che corre sulla superficie del ghiacciaio, dato che non conosco nessun altro ghiacciaio la cui superficie sia solcata da un così gran numero di piccoli ruscelli.

Ipotizza poi che queste cavità siano formate dall'incontro dei ruscellamenti che a causa della loro temperatura poco maggiore di zero e delle ghiaie che trasportano, formano delle depressioni che si ingrandiscono sino ad incontrare qualche caverna (!) sottostante che inghiotte la massa d'acqua. Poi prosegue:

Abbiamo visto alcuni di questi imbuti di più di trenta piedi di diametro nei quali si inabissavano veri torrenti. E' impossibile immaginare uno spettacolo più bello che quello di tali fiumi che cadono fra le pareti di ghiaccio e vanno a perdersi con gran frastuono nell'interno del ghiacciaio! Cioè che tenderebbe a provare che la loro origine è quella che ho detto è che essi non hanno alcuna specie di fissità; variano da un anno all'altro e sembra, a sentire gli abitanti della valle, che in un certo anno ce ne siano molti, in un altro pochi.

Agassiz diventa così il primo estimatore noto dei pozzi glaciali (che per ora egli chiama «creux»). Si noti che in questo scritto il processo di formazione gli appare disordinato: ne ha ben donde, il Ghiacciaio del Gorner è molto particolare! E infatti Agassiz continua:

Ma come è possibile, mi verrà chiesto, che fenomeni così non si trovino abitualmente altrove? Senza pretendere di rispondere a questa domanda in modo assoluto, penso sia dovuto alla posizione stessa del ghiacciaio. In mezzo a questo gran mare di ghiaccio, la cui inclinazione è molto piccola, il ghiacciaio del Monte Rosa, proprio per la posizione, non può avere nu-

merosi crepacci dato che essi si concentrano sui pendii e sui bordi del ghiacciaio. Il ghiaccio che fonde (e abbiamo visto che la massa d'acqua che gli si accumula in superficie è molto grande) deve necessariamente aprirsi una strada in assenza di crepacci, e questo le è tanto più facile qui visto che il ghiaccio non ha acquisito la durezza e la compattezza che ha più in basso.

Oltre alla peculiarità del Gorner, qui Agassiz si accorge di due caratteristiche fondamentali per la formazione di carsismo glaciale: scarsità di crepacci e debole pendenza. Poi prosegue:

Ho osservato torrenti simili sul ghiacciaio inferiore dell'Aar, che sono abbastanza voluminosi quando ha piovuto o quando la fusione della superficie è intensa, ma visto che incontrano spesso dei crepacci, vi si precipitano formando magnifiche cascate che originano dei corridoi verticali.

L'apparizione del termine «Moulin»

Ora passiamo ad un altro padre fondatore della glaciologia, James Forbes [FORBES, 1843]. Alcune delle litografie riprodotte in questa rivista appartengono alla prima edizione e in particolare all'unica copia pubblica esistente in Italia, presso la Biblioteca Storica della Provincia di Torino. L'edizione successiva, del 1900, identica per il testo e le illustrazioni, non contiene però le litografie a tutta pagina di quella del 1843.

Parlando in generale dei ghiacciai Forbes scrive (pagina 21):

Scorrono in canali ghiacciati, scavati da essi stessi ed essendo di purezza straordinaria, a differenza dell'acqua che esce da sotto il ghiacciaio, sono sia bellissimi che rinfrescanti. Raramente tuttavia proseguono a lungo la loro corsa ma raggiungono qualche crepaccio o cavità nel ghiaccio, formata meccanicamente durante il suo moto, e si precipitano con grosse cascate nelle sue viscere dove, con tutta probabilità, vanno ad aumentare il flusso d'acqua che sgorga dalle parti terminali.

Ma le frasi più importanti sono a pagina 85, frasi riprese identiche (riciclavano i testi di libro in libro!) nel [FORBES, 1855]. Racconta la visita ai pozzi della Mer de Glace, sopra Chamonix:

Vicino a quel punto vi sono i «mulini» che le guide fanno sempre notare ai viaggiatori che vanno ai Jardin. Si tratta di profondi e quasi cilindrici buchi nel ghiaccio, nei quali l'acqua accumulata nei canaletti che formano il drenaggio superficiale di questa parte del ghiacciaio si precipita in più o meno grandi cascate, a seconda della stagione. A volte in uno stesso buco cadono due cascate, o un solo torrente si separa in due cadendovi; ma sempre, quale che sia lo stato di avan-



James Forbes (Edinburgo, Scozia, 1809-Clifton, Inghilterra, 1868). Studiò nella città natale, divenendo nel 1832 membro della Royal Society of London. Divenne professore di filosofia naturale nella locale università per poi passare come successore di Brewster alla direzione dell'United College di St Andrews, carica che tenne sino alla morte. Fu il primo membro onorario dell'Alpine Club. Conducente prevalentemente ricerche sulla conduzione del calore. Fu Agassiz che, in una sua conferenza a Glasgow nel 1840, lo orientò a ricerche sui ghiacciai, e negli anni seguenti effettuò viaggi in Svizzera e Norvegia che lo portarono a formulare per primo una spiegazione visco-plastica dello scorrimento delle lingue glaciali, anche in polemica con Tyn-dall. Realizzò anche ricerche nell'ambito della geologia su sorgenti termali e vulcani estinti.

In alto: sezione ideale di un ghiacciaio (FORBES, 1843)

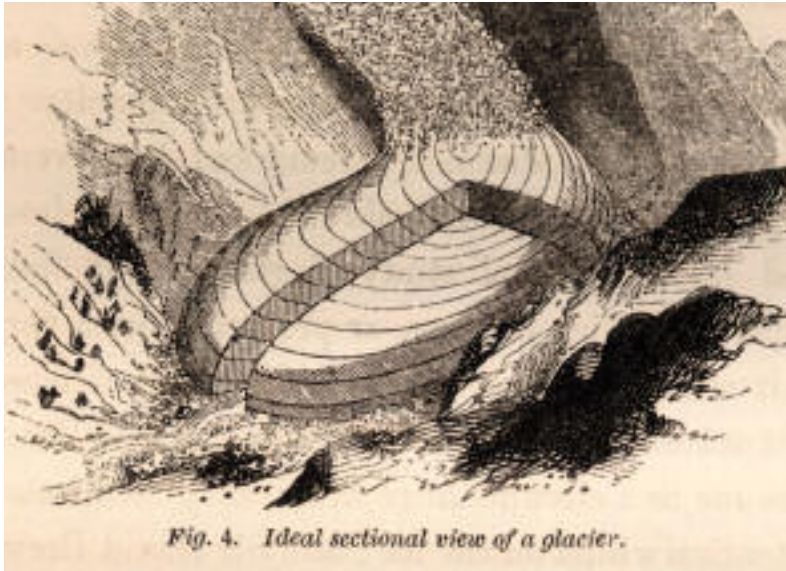


Fig. 4. Ideal sectional view of a glacier.

zata del ghiacciaio, queste cascate o «Moulins» vengono trovate quasi esattamente nella stessa posizione, cioè opposte allo stesso oggetto fisso a lato del ghiacciaio. Questa è una prova evidente del continuo rinnovarsi del ghiaccio come del suo stato di aggregazione, rimanendo fisse le forme esterne mentre le parti costituenti avanzano.

Il corsivo è di Forbes: è evidente che quella della posizione costante dei pozzi glaciali gli pare essere un'idea importante. Quarant'anni dopo lo parrà anche all'abate Stoppani, che citerà la frase per intero, saltando però l'ultima frase che troviamo splendida: «the external forms remaining fixed, whilst the integrant parts are advancing».

Da questo passo possiamo finalmente capire da dove diavolo sia arrivata l'idea di chiamare i pozzi glaciali col bizzarro termine di «mulini». Da quel che diceva Bourrit nel 1785 e ora il nostro scozzese, appare chiaro che le guide di Chamonix, oramai molto occupate ad accompagnare sulle pendici del Bianco dei cittadini facoltosi, avevano localizzato alcune delle bizzarrie dell'alta quota e fra esse, i pozzi glaciali. Ignari di pozzi, di inghiottitoi e di carsismo, avevano associato quelle strane strutture in cui piombava e rombava il tumulto di un torrente, a quanto facevano i mulini con cui in valle macinavano il grano.

Si potrà obiettare che i mulini non sono fatti a pozzo, né hanno un gran tumulto nelle loro profondità. Questo è vero per i mulini che conosciamo ora, quelli per grandi comunità, che consistono in un intero edificio con canale apposito che porta acqua ad una ruota efficiente (e quindi poco tumultuante) con asse orizzontale, ingranaggi costosi, grande produttività. Ma queste ruote industriali si sono diffuse solo recentemente; ad esempio, nelle valli occitane del Piemonte sono apparse solo a fine Otto-

cento, forse a seguito dell'introduzione di tasse sul macinato (comunicazione privata dell'amico Gianpiero Boschero).

Prima di allora il «mulino» era una struttura familiare, o poco più, sottostante un pezzo della casa, in cui un torrente si precipitava ad azionare un'inefficiente, e dunque assai tumultuante, pala ad asse verticale, direttamente collegata alla macina. Era poco efficiente ma piccolo, economico, facilissimo da costruire dato che le pale potevano essere imprecise e non c'era necessità di nessun ingranaggio. Si tratta dei mulini cosiddetti a «ritrecine» (il nome della loro ruota) che sono persino citati come «mulini terragni» nella Divina Commedia (Inferno XXIII):

Non corse mai sì tosto acqua per doccia

a volger ruota di molin terragno, quand'ella più verso le pale approccia,

E' ben credibile che alle guide di Chamonix la visione dei pozzi glaciali abbia evocato la vista dei buchi rombanti in cui il torrente si buttava a macinar grano.

Torniamo a Forbes. Poco oltre (pagina 93) ci segnala che quei «mulini» lo hanno incuriosito già dall'estate precedente, cioè nel 1841:

Dalla parte opposta del ghiacciaio del Talèfre vi sono due «moulins», uno dei quali la scorsa estate era notevole per la sua grande profondità e la sua perfetta verticalità. Io volevo accertarmi con precisione della sua profondità, ma mi fu impedito da una nevicata e dalla rottura del filo con cui avevo calato il mio martello da geologo come peso a questo scopo.

La prima discesa dentro un ghiacciaio

A questo punto diamo la parola a Edouard Désor [DESOR, 1844]. La parte che ci interessa riguarda la campagna del settembre 1841 sul Ghiacciaio dell'Aar, dunque strettamente contemporanea al-

le ricognizioni di Forbes alla Mer de Glace. Operano vicino al cosiddetto Hôtel des Neuchâtelois, un gran masso da essi utilizzato come riparo dalle intemperie. A pagina 302 leggiamo:

Attraverso le cavità aperte nella superficie, alle quali numerosi rivoli d'acqua risultanti da piogge o dalla fusione del ghiaccio superficiale, apportano il loro tributo. Queste cavità a grandi aperture sono i crepacci, i pozzi o mulini, le vasche a forma di tinozza e i tubi verticali al fondo dei quali si trovano piccoli frammenti di roccia.

Tutti fenomeni caratteristici del carsismo glaciale. Poco oltre c'è il racconto della prima discesa in un pozzo glaciale, fatto da Agassiz in persona.

E' un'operazione importante per la storia della speleologia in generale perché essa era proprio agli albori. Ma, al solito, l'operazione viene compiuta dall'autore senza sentirne il valore pionieristico: forse questo è il contrappeso alle innumerevoli imprese che si credono pionieristiche e non lo sono affatto, chissà. Sta di fatto che lo scopo principale (scusa...) della discesa e del racconto per noi ora è molto marginale: la preoccupazione dell'autore è quella di affermare i suoi diritti (dubbi) nel rivendicare la scoperta della struttura «a bande» del ghiaccio, in una polemica con Forbes su cui torneremo.

Benché le osservazioni fatte all'inizio della nostra permanenza sul ghiacciaio dell'Aar mi portassero già a ritenere che questa struttura lamellare si estendesse a grande profondità, ho voluto tuttavia assicurarmene in maniera diretta, e a tal fine mi sono fatto calare in una di queste cavità o pozzi glaciali dove vengono ad inabissarsi («s'engrouffer») la maggior parte dei ruscelli che serpenteggiano alla superficie. Sono così stato in grado di seguire le bande blu e bianche sino a 120 piedi di profondità, dove ho incontrato l'acqua.

Vado a raccontar in poche parole questa discesa che i miei compagni di viaggio hanno più tardi chiamato la mia discesa agli Inferi. Era verso la fine della nostra permanenza sul ghiacciaio; eravamo alla fine della nostra perforazione e ci preparavamo a partire quando discutendo, come al solito, sui fenomeni che andavamo osservando, un membro del gruppo fece osservare che forse sarebbe stato facile farsi calare senza pericolo in uno dei pozzi glaciali: forse avremmo visto cose inattese! Tutti applaudimmo a questa proposta e senza indugio ci mettemmo alla ricerca di un pozzo adatto alla prova. I pozzi o moulins, come dico nei miei Etudes, sono verosimilmente antichi crepacci cui dei piccoli corsi d'acqua hanno impedito di richiudersi completamente e il ruscello, invece di restringere, tende ad allargare sempre più, soprattutto quando è abbondante.



Desor, Edouard (Friedrichsdorf, Germania, 1811 - Nizza, Francia, 1882) Studiò legge e poi scienze a Parigi, dove si era rifugiato per motivi politici nel 1832. Stabilitosi in Svizzera, dal 1837 collaborò alle ricerche glaciologiche di Louis Agassiz. Nel 1847 accompagnò Agassiz negli Stati Uniti, ma tra i due si manifestarono dei forti dissapori. Tornò in Svizzera nel 1852. La sua proprietà di Combe-Varin, a Noiraigue, che aveva ereditato dal fratello Frédéric nel 1858, diventò luogo d'incontro per scienziati di ogni paese, specie nel campo degli studi sui fossili. Si occupò anche di archeologia preistorica, in particolar modo di antiche culture lacustri. Fu molto attivo sia nelle istituzioni scientifiche che politiche del cantone di Neuchâtel.

Si noti come l'adozione fatta l'anno prima da Forbes del termine «moulin», in uso presso le guide di Chamonix per indicare dei punti di interesse della Mer de Glace, oramai costringa anche Agassiz ad utilizzarlo per quelli di un ghiacciaio ben lontano e in area linguistica tedesca.

Trovammo a qualche distanza dalla nostra capanna uno di questi pozzi che ci parve appropriato al nostro scopo; aveva otto piedi di apertura e sembrava scendere verticalmente sino ad una grande profondità. Decisi di tentare l'avventura. Per farlo bisognava cominciare col deviare il ruscello costruendogli un altro letto.

E' un approccio tuttora sensato per ruscellamenti estremamente piccoli: deviare i torrenti epiglaciali veri è invece impensabile.

Ci mettemmo tutti all'opera; quando il letto fu costruito feci drizzare sul pozzo il treppiede che ci era servito per la perforazione.

Le guide fissarono al capo della corda un'asse che mi sarebbe servita da sedile e poi mi legarono a quella stessa corda con uno spezzone che mi passarono sotto le braccia in modo che avessi le mani libere. Per proteggermi dall'acqua che non era stato possibile deviare completamente mi copriro le spalle con una pelle di capra e mi misero in testa un berretto di pelliccia di marmotta.

L'abbigliamento è essenziale, ma in realtà gli speleologi dell'epoca non avrebbero potuto consigliargli di meglio: nel 1892 (mezzo secolo dopo!) Martel venne ancora calato in modo analogo nel primo pozzo dell'abisso Jean Nouveau, sopra Vaucluse.

Così coniato discesi munito di un martello e di un bastone. Il mio amico Escher doveva dirigere la discesa; per farlo si distese bocconi sull'orlo del precipizio, con l'orecchio teso per sentire meglio i miei ordini. Convenimmo che se io non avessi chiesto di essere tirato su mi avrebbero calato sino a che il signor Escher avesse continuato a sentire la mia voce.

Agassiz si rende conto del lato comico della vicenda, pur cercando di fare al meglio: ma accordarsi di continuare a calare in caso di mancanza di altri ordini è un errore madornale, non tarderà a scoprirlo...

Arrivai senza ostacoli sino ad una profondità di 80 piedi, osservando con interesse la struttura lamellare del ghiacciaio e dei piccoli ghiaccioli di cui ho parlato prima e che erano sospesi da tutte le parti lungo la parete del pozzo. Questi ghiaccioli avevano da 2 a 5 e 6 pollici di lunghezza e qualche linea soltanto di diametro; erano arcuati come dei ganci piantati nelle pareti del pozzo e si formavano ben chiaramente a causa della percolazione dell'acqua attraverso il ghiaccio

perché se fossero stati generati dall'acqua di superficie del ghiacciaio non sarebbero stati né così uniformi né così regolarmente distribuiti su tutte le pareti.

Derivano invece quasi certamente dalla deposizione dell'aerosol e della condensazione creata dalle cascate.

Quelli che provenivano dalla cascata superiore erano molto più grandi, attaccati al muro di ghiaccio e per di più limitati ad una sola faccia del colatoio. Mi sembrava che le bande di ghiaccio blu divenissero insensibilmente più larghe a misura che io scendevo; erano allo stesso tempo meno nette e contrastavano anche meno con le lame o bande di ghiaccio bianco.

Incontrai a circa ottanta piedi una quinta di ghiaccio che divideva il pozzo in due parti; tentai di entrare nella più larga, ma non riuscii ad entrare per più di cinque o sei piedi perché il colatoio si divideva in vari canali stretti. Mi feci tirare su, e cercando in modo da tenere la corda verticale mi infilai nell'altro ambiente. Mi ero accorto scendendo che c'era dell'acqua in fondo al buco ma la credevo ad una profondità molto maggiore e visto che la mia attenzione era soprattutto diretta alle bande verticali che io seguivo continuamente con gli occhi, grazie alla luce che era riflessa dalle brillanti pareti di ghiaccio fui molto sorpreso quando di colpo mi sentii i piedi nell'acqua. Ordinai subito di recuperarmi ma l'ordine fu mal compreso e invece di tirarmi su continuarono a calarmi. Lanciai allora un grido di disperazione che venne sentito e venni recuperato prima che mi fosse necessario nuotare. Mi sembrò di non aver mai incontrato dell'acqua tanto fredda nella mia vita; sulla sua superficie galleggiavano dei frammenti di ghiaccio, senza dubbio resti di ghiaccioli. Le pareti del pozzo erano ruvide al tatto, senza dubbio a causa di fessure capillari.

Avrei voluto arrestarmi ancora a esaminare i dettagli della struttura del ghiaccio e a gioire dello spettacolo unico che offriva la vista del blu del cielo visto dal fondo di questo abisso, ma il freddo mi obbligò a risalire in

fretta. Quando arrivai in superficie i miei amici mi confessarono di aver avuto un momento di forte angoscia sentendomi urlare in fondo al pozzo; avevano avuto ogni sorta di difficoltà a tirarmi su, benché fossero in otto. Io stesso non avevo riflettuto al rischio della mia situazione ed è sicuro che se l'avessi saputo non mi sarei esposto ad esso; perché sarebbe bastato che il colpo dato dalla corda avesse staccato una delle grosse concrezioni di ghiaccio incollate sulle pareti perché la mia perdita fosse certa. Così non consiglio a nessuno che non sia guidato da un possente interesse scientifico di ripetere una tale esperienza.

L'interesse principale della discesa (ci viene da dire: la scusa per realizzarla) è dunque quello relativo alla struttura lamellare del ghiacciaio e a chi possa rivendicare la paternità della scoperta, contesa fra Agassiz, Forbes e Guyot.

Le note e la lettera di pagina 434 del testo citato, che non riportiamo, danno un'idea della litigiosità dei protagonisti: Forbes, che aveva venduto la struttura lamellare come scoperta sua, viene accusato di plagio, ingratitudine, insensibilità e per buona misura anche di essere cattivo camminatore. Avevano effettivamente una tendenza a scorrettezze e personalismi che per fortuna ora sono spariti dal mondo della ricerca...

Ancora sulla persistenza di posizione dei mulini

L'anno dopo Désor riprende l'argomento [DESOR, 1845]. Nel capitolo «Persistence des Puits» (pagina 163) scrive:

Mi rimane da citare una ultima osservazione che non è priva di importanza per la teoria del movimento dei ghiacciai. Si sa che esiste, soprattutto sui ghiacciai di lieve pendenza, in particolare nel ghiacciaio dell'Aar, dei buchi profondi, con pareti verticali, noti con il nome di pozzi o di moulins, nei quali si inabissano le acque dei ruscelli superficiali. La maggior parte di essi arrivano ad una profondità



Il Ghiacciaio del Gorner (AGASSIZ, 1847)



Agassiz, Louis (Môtier, Svizzera, 1807 - Cambridge, USA, 1873) Studiò medicina e scienze naturali a Zurigo, Heidelberg e Monaco. Nel 1830 si recò a Parigi, a collaborare con Cuvier sui pesci fossili. Morto Cuvier si trasferì a Neuchâtel, dove fu titolare di scienze naturali. Pubblicò ricerche sui pesci fossili, sugli echinodermi, sui ghiacciai alpini e sulle glaciazioni. Nel 1846-47 intraprese un viaggio negli Stati Uniti per numerose conferenze e vi rimase. Realizzò diverse spedizioni al Lago Superiore, in Florida, in Brasile e intorno al Sudamerica che condussero a varie scoperte in materia di coralli, fauna abissale e vestigia glaciali. In seguito sviluppò una teoria evolutiva che era in contrasto con quella darwiniana. A lui, primo professore di zoologia negli Stati Uniti, si deve in particolare la compilazione di una tassonomia dei pesci fossili e la diffusione della glaciologia nell'area anglofona.

Pozzo sullo Sulztaler Ferner, Stubai, Tirolo. Da FLAIG W., Das Gletscher-Buch, Leipzig, 1938.

molto grande, testimoniata da quello in cui il signor Agassiz realizzò nel 1841 la sua famosa discesa agli inferi. Non avendo trovato l'anno seguente alcun cambiamento nella forma di questi pozzi, il signor Agassiz incaricò il signor Wild di determinarne la posizione esatta relativamente a punti fissi del reticolo trigonometrico e in raffronto a diversi punti della morena mediana. Si fece lo stesso pure di un intaglio di forma particolare che si trovava nella morena, all'incirca dinanzi al pozzo, e allo scopo di determinare meglio i cambiamenti che potevano sopravvenire nella loro forma e posizione questi due punti furono inseriti al loro posto sulla grande carta del ghiacciaio disegnata dal signor Wild.

Sin qui possiamo solo sottolineare quanto Désor riesca ad essere preciso nel descrivere le caratteristiche di formazione, e soprattutto il suo «engouffrent», già usato da Agassiz negli *Etudes*: sapevano che si trattava di grotte...

Durante la campagna del 1845, non potemmo tentare nessuna verifica a causa della grande quantità di neve che ricopriva il ghiacciaio. In questo frattempo, per soddisfare le esigenze di una nuova teoria, si era preteso, senza prova alcuna, per la verità («sans preuve aucune, il est vrai») che i pozzi si chiudessero tutti gli anni, a misura che il ghiaccio avanzava, e che altri si formassero nello stesso posto.

«Si era preteso senza prova alcuna, per la verità...»: ce l'ha con Forbes, e mica poco. Salvo che ha più ragione lo scozzese, lo discuteremo fra breve.

Mi interessava dunque verificare la cosa con le due stazioni di cui era nota la posizione. Verso la fine della campagna di quell'anno ebbi in effetti la soddisfazione di vedere il ghiacciaio sgombrarsi dalla neve. Ritrovai il pozzo tale e quale l'avevamo lasciato nel 1842, con la sola differenza che l'acqua, invece di essere a 40 metri, era a 25. Misurai la distanza dal blocco di granito numero 5 e dell'intaglio che ho citato sopra, e la trovai uguale a quella della carta. Ora, visto che quei due punti erano andati avanti di 150 metri in due anni, è evidente che il pozzo che è a qualche passo dalla morena aveva dovuto spostarsi di una quantità simile. E' dunque dimostrato che i pozzi, lungi dal chiudersi tutti gli anni, persistono al contrario per vari anni e si spostano come le altre parti del ghiacciaio. Non pretendo negare con questo che certi pozzi si rinnovino annualmente. Lungi da me: ne ho persino visto esempi frequenti sul ghiacciaio del l'Aar, dove dei ruscelli dopo esserci rovesciati per un certo tempo in un pozzo, l'abbandonano d'improvviso quando un crepaccio viene a formarsi sul loro cammino. Ma questo è ben diverso da una periodicità regolare, come suppone l'opinione che combattiamo.

Ha un taglio molto «naturalisti-

co», dell'unico caso osservato fa regola e motivo di annotazione. La frase successiva è interessante perché Agassiz la riprenderà quasi esattamente:

Questo significa che non esiste alcuna relazione fra questi pozzi e il movimento del ghiacciaio? Sono lungi dal supporlo. Inclino invece a credere che sia in conseguenza dell'avanzata del ghiacciaio nelle zone dove si trovano i pozzi in questione che si spiega la loro persistenza.

Abbiamo visto più su che il movimento del ghiacciaio dell'Aar va aumentando di velocità dall'alto in basso sino ad un certo punto che si trova a 700 metri a valle del vecchio Hôtel des Neuchâtelois, e che passato questo punto diminuisce di nuovo gradualmente sino alla fine del ghiacciaio. La pressione del ghiacciaio da dietro in avanti, quale che sia, deve essere meno sensibile se c'è accelerazione che se c'è rallentamento. Ora, il nostro pozzo si trova fra l'Hôtel des Neuchâtelois e il punto dove la velocità è massima, in una zona dove l'accelerazione è sensibile (di 7 metri in due anni su una distanza di 720 m). Fra qualche anno avrà superato il massimo ed entrerà nella zona di movimento rallentato. Se dobbiamo dunque attribuire all'accelerazione la persistenza del pozzo su più anni, ne viene che per la stessa ragione che il pozzo dovrà chiudersi, quando avrà superato questo limite, e questo per la stessa ragione che fa sì che gli affluenti di destra dell'Aar non sono crepacciati alla loro estremità, malgrado la loro forte pendenza, mentre i due ghiacciai di Trift lo sono profondamente; in altri termini perché c'è un rallentamento dell'intera massa.

Sa di non essere specialista di sforzi e pressioni (e chi lo era allora?) ma intravede con chiarezza il fatto che il ghiaccio è sottoposto a tensioni che variano da un punto all'altro anche quando l'assenza di crepacci non lo mette in evidenza. Ma è alla variazione di questi sforzi che dobbiamo attribuire molte morfologie e per lui, in particolare, il collasso dei pozzi. Noi ora sappiamo che i pozzi collassano nelle parti profonde anche per sola spinta idrostatica e vanno inoltre riempiendosi di neve, ma l'intuizione di Désor è attualissima per quanto riguarda le condizioni di formazione ed evoluzione delle forme di questi pozzi.

Ritorniamo ad Agassiz, ma ora al seguito di *Etudes* [AGASSIZ, 1847], un cui pregio speciale è la dettagliata bibliografia. Nel capitolo «Puits ou Moulins» (pagina 99) troviamo:

Tutti i ruscellamenti di qualche importanza si inabissano in buchi circolari od ellittici che sono in rapporto con il loro volume e che vengono designati sotto il nome di pozzi o mulini. Questi pozzi sono notevoli per la loro profondità e dato che sono verticali e di diametro uniforme è possibile, se si

devia il ruscello, lasciarvi calare e penetrare in questo modo a una grande profondità nel ghiacciaio, cosa che ho fatto varie volte(*). Quando un nuovo crepaccio si forma sul cammino del ruscello e ne cattura il corso il pozzo che riceveva le sue acque persiste; per questo troviamo nella regione dell'Hôtel des Neuchâtelois un così gran numero di pozzi senza ruscello che a volte sono vuoti, a volte pieni sino in superficie.

La sua discesa del 1841 crea ora una vasta vanteria, ad onta dei suggerimenti passati di mai più rifarla. Purtroppo la nota indicata ci rimanda ad un disegno di questo pozzo glaciale che dovrebbe essere in Fig. 9 della tavola V: ma non c'è. Per un probabile refuso tipografico vi si ripete quasi uguale la Fig. 10... Peccato. A pagina 343 c'è già nel titolo un nuovo modo di definire i pozzi glaciali, «Des Trous de Cascade»:

I buchi di cascata, chiamati anche pozzi o mulini, sono intimamente legati ai crepacci. Sono dei buchi circolari od ellittici, di grande profondità e a pareti verticali, nei quali vengono a sparire dei ruscelli. Ecco qual'è la loro origine. Se un crepaccio mediano si viene a formare sul cammino di un ruscello, esso vi si inabissa: allo stesso tempo l'acqua che è lanciata contro le pareti scava il ghiaccio e ne risulta un pozzo il cui volume è in rapporto con la portata del ruscello. Una volta formato questo pozzo persiste, persino quando il crepaccio si richiude, e continua a servire da inghiottitoio del ruscello, sino a quando non si formano nuovi crepacci a monte. Può accadere che il ruscello sia molto grande in rapporto al crepaccio che si forma sul suo cammino e questo non possa ricevere la massa d'acqua che trasporta; in questo caso va oltre e continua a correre nel vecchio letto sino a che l'acqua non riesce a scavarsi un buco adeguato alla sua portata. Il giorno dopo che si erano formati, vicino all'Hôtel des Neuchâtelois, i crepacci mediani di cui ho parlato sopra, fui sorpreso di vedere, passando dinanzi al più grande di questi ruscelli, che l'acqua era ben meno abbondante che il giorno prima. Risalii il ruscello per



Contatto fra ghiaccio e roccia, Mer de Glace (FORBES, 1843)

capirne il motivo e vidi che una parte dell'acqua si perdeva in un crepaccio formatosi di fresco. Qualche giorno più tardi il ruscello si era scavato un buco sufficiente in quest'ultimo crepaccio e il letto ulteriore era completamente a secco. Da questo risulta che l'origine e il punto di partenza di tutti i pozzi è nei crepacci. Anche se non si troverà traccia di crepacci su un ghiacciaio si sarà tuttavia in diritto di affermare che ne sono esistiti ovunque ci siano dei pozzi.

L'ultima osservazione è precisa ed interessante, e a questo punto dobbiamo spiegare che il problema dei punti di formazione dei pozzi glaciali non è stato praticamente più affrontato, e tanto meno risolto con chiarezza.

Abbiamo visto nell'articolo introduttivo di questa rivista che paiono accumularsi nei punti dove la variazione spaziale della velocità di scorrimento del ghiaccio è massima, quindi per esempio a lato delle morene mediane. È noto che i crepacci si aprono lungo la direzione in cui il complesso degli sforzi superficiali ha una componente estensiva. I pozzi glaciali tendono a formarsi su linee che corrispondono a quella che sarebbe la locale direzione dei crepacci, se lì ce ne fossero, cioè sul piano di sforzo normale di intensità minima. Inoltre la presenza della cavità sicuramente accresce gli sforzi nel ghiaccio circostante (e fa diventare estensivo quello che in assenza della cavità sarebbe stato un debole sforzo compressivo) e questo accentua sicuramente la tendenza ad un allargamento tettonico della cavità, che assume delle direzioni privilegiate anche se il flusso d'acqua che vi piomba dentro non le ha.

Ogni volta che il pozzo glaciale viene trascinato a valle la struttura di sforzi cui è sottoposto il ghiaccio in quel punto, legata alle condizioni del vincolo, cioè al-

la roccia, si riforma e con essa si riforma una cattura sul flusso d'acqua, che pian piano ridiventa il pozzo glaciale. Ogni quanto tempo questo avvenga dipende dalla velocità del ghiaccio, dall'alimentazione e da tante altri parametri ancora oggi poco chiari. In genere tendono a riformarsi di anno in anno, ma sul Gorner, ad esempio, tutto si è fermato e da anni ormai i pozzi sono lì sempre quasi uguali. All'opposto, sul Perito Moreno i pozzi si riformano ogni poche settimane.

La profondità di questi buchi di cascata o pozzi è in genere molto considerevole. Nel 1842, vicino all'Hôtel des Neuchâtelois, c'era un pozzo nel quale la sonda è scesa sino a 260 metri e ne ho sondati vari che indicavano 100 metri ed oltre. Tutti erano perfettamente verticali sino al loro sbucare in canali interni con i quali comunicavano.

Si tratta di vanterie. Il cordino della sonda era evidentemente tirato dall'acqua e questo rendeva impossibile capire se la sonda si era arrestata o meno (per inciso, vedremo che Tyndall non casca in questo errore); in pratica non esistono pozzi glaciali così lunghi, e anche la stima di 100 metri, benché possibile, è poco credibile: un sondaggio in pozzi alpini è destinato a fermarsi a 30-50 metri. Soprattutto non si vede come potesse sostenere che i mulini avevano queste caratteristiche morfologiche (verticalità e canali) su distanze così grandi. Ma ora Agassiz va a regolare i conti con Forbes:

La presenza di canali interni che fanno seguito ai pozzi non è un'ipotesi gratuita. Li si possono vedere al fondo dei pozzi tutte le volte che essi sono vuoti. Li si intravede, a volte anche dalla superficie, quando i pozzi non sono molto profondi. Mi ero fatto calare nel 1842 in uno di questi buchi, situato su un ramo del Lauteraar, non lontano dall'Hôtel des Neuchâtelois, per studiarvi la disposizione degli strati e vi incontrai, alla profondità di 16 metri, un canale dall'apparenza tortuosa la cui apertura non aveva che un piede di diametro. Penetrava obliquamente nell'interno del ghiacciaio e la sua forma e la direzione contrastavano in modo strano con le pareti regolari e verticali del pozzo.

I pozzi non si trovano indifferentemente in ogni parte del ghiacciaio. Nel ghiacciaio dell'Aar, dove sono numerosi, non si estendono al di là del Pavillon. Sono soprattutto numerosi nei dintorni dell'Hôtel des Neuchâtelois, sul Lanteraar, come pure sul Finsteraar. E' quasi inutile dire che bisogna cercarli nelle zone uniformi e poco accidentate perché solo là i ruscelli possono acquistare una certa portata. I crepacci che li originano non sarebbero dunque che dei crepacci mediani, i soli che possono formarsi in quelle zone.

I pozzi sono un fenomeno meno effi-



mero che i crepacci e le altre cavità del ghiacciaio. In genere persistono per parecchie estati consecutive; è così per il grande pozzo del ghiacciaio dell'Aar nel quale discesi nel 1841: esiste ancora a lato della morena sull'affluente della Strahleck. Ma è a torto che il signor Forbes sostiene che essi rimangano costantemente allo stesso posto. La maniera con la quale egli lo sostiene potrebbe far supporre che se ne sia assicurato con misure dirette. «Quale che sia - dice - lo stato e il modo di progressione del ghiacciaio le cascate o mulini si trovano sempre esattamente alla stessa posizione, cioè opposti agli stessi punti fissi della riva». Ora, niente è più inesatto di questa asserzione, a meno che il ghiacciaio dei Bois non obbedisca a leggi diverse di quello dell'Aar. Ecco le esperienze sulle quali mi baso. Nel 1842, quando feci realizzare una carta del ghiacciaio dell'Aar volli accertarmi se i pozzi che avevo visto in gran numero nei pressi dell'Hôtel des Neuchâtelois, persistevano e si riformavano da un anno all'altro. Di conseguenza ne segnalai due al signor Wild pregandolo di includerli nel reticolo trigonometrico. Uno di questi pozzi era situato sul Finsteraar, all'incirca al bordo, all'altezza del N° V. L'altro si trovava sulla sinistra della morena mediana, 200 metri a valle dell'Hôtel des Neuchâtelois, vicino ad una scarpata del ghiacciaio. Quando nel 1843 lo stesso ingegnere si recò sul ghiacciaio dell'Aar, per misurare il movimento annuale, ritrovò non soltanto i pozzi, ma constatò che si erano spostati quanto i blocchi della morena mediana relativamente ai punti fissi sulla riva. Attualmente questi stessi pozzi esistono ancora ma sono, dopo quattro anni, a una distanza di circa 300 metri dalla loro posizione del 1842.

Il ruolo di Désor è qui sparito, non sono più in buoni rapporti... La frase successiva, se confrontata con quella già citata di Désor, risulta spassosa, perché non solo ne ripete le opinioni ma pure le ipotesi riguardo alla distruzione dei pozzi quando entrano in una zona di flusso compressivo:

Particolare della zona del ghiacciaio dell'Aar in cui venne effettuata la prima discesa in un pozzo glaciale al punto f (AGASSIZ, 1840)

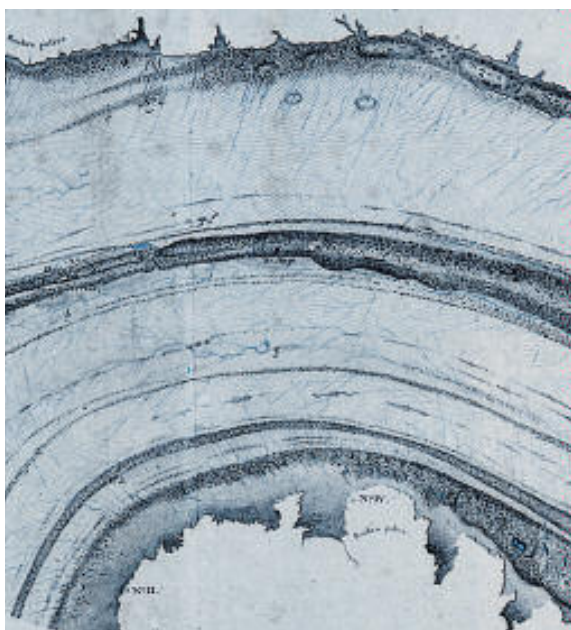


Tavola di ghiacciaio, Mer de Glace (FORBES, 1843)



Ne concluderemo che i pozzi si conservano per sempre? Affatto. Qui occorre distinguere fra le posizioni ove questi accidenti si trovano. Nel ghiacciaio dell'Aar quelli che ho citato in particolare sono tutti situati nella regione intermedia del ghiacciaio, non lontano dal limite del nevato. Ora, vedremo in seguito quella ove il movimento è al suo massimo e che il rallentamento inizia solo a partire dal punto n° 5. Ora, se è proprio di ogni movimento rallentato quello di comprimere la massa e di conseguenza di chiudere le aperture, non si potrà dire lo stesso delle zone dove il movimento è accelerato e le cavità di queste zone avrebbero dunque ben meno possibilità di richiudersi. I crepacci potranno pure sparire ma i pozzi continueranno ad esistere grazie alle loro maggiori dimensioni. Ma dubito fortemente che questi stessi pozzi persisterebbero se venissero trasportati in una zona dove il movimento è rallentato. Vi si chiuderebbero infallibilmente e per questo non se ne trovano nei dintorni del Pavillon.

Altre annotazioni di Forbes
Torniamo a Forbes che in un testo relativo ai ghiacciai norvegesi [FORBES, 1851] si accorge dell'essenza carsificabile del ghiaccio. Parlando dei crepacci nel firn, che sono «roomy expanded chambers of irregular forms» dice:

Stalattiti di ghiaccio che pendono dalle pareti ci circondano esattamente come quelle delle più belle grotte calcaree, ma infinitamente superiori per la luce che le illumina non è quella fumosa di candele da poco, ma una calda radianza che arriva dalle pareti della caverna stessa.

A pagina 139 ripete esattamente la frase di [FORBES, 1843] che abbiamo citato più sopra, con però l'aggiunta di una nota datata all'anno prima:

I mulini probabilmente vengono nuovamente formati ad ogni primavera (o forse ad intervalli più lunghi) dai ruscellamenti che hanno attraversato l'intatta superficie del Glacier du Géant e si gettano nel primo crepac-

cio aperto dalle disuniformità della roccia di Trélaporte. La forma del crepaccio può essere perduta per l'indebolimento e il lavoro del ghiaccio, ma la cascata mantiene aperto il pozzo verticale. Vecchi pozzi abbandonati dall'acqua vengono visti di tanto in tanto (1854).

Gli è finalmente venuto il dubbio che la persistenza dei pozzi possa dipanarsi su più anni, come avevano mostrato Agassiz e/o Désor. Ma è finalmente in [FORBES, 1859] che egli scrive cose che, insieme alle annotazioni che già abbiamo citato, ci fanno pensare che sia lui il vero padre della speleologia glaciale, anche se ha mancato di poco il vanto (minore) di essere il primo speleologo glaciale. A pagina 28 troviamo:

In ghiacciai come la Mer de Glace di Chamouni, che presenta molti e ben marcati «accidenti» in superficie nelle sue varie parti, è ben noto che, benché continuamente in moto e in mutamento, la distribuzione di questi «accidenti» è apparentemente costante. Ogni anno, e da un anno all'altro i ruscellamenti seguono le stesse linee di sviluppo, - i loro flussi si precipitano nel cuore del ghiacciaio in imbuti verticali chiamati «moulins» che si aprono negli stessi punti; le fessure, benché si formino ad angoli diversi rispetto all'asse o ai lati del ghiacciaio in punti diversi della sua lunghezza, tuttavia sono opposti agli stessi punti e sono disposti in modo simile, - le stesse parti del ghiacciaio, relativamente a rocce fisse, sono transitabili tutti gli anni e stesse parti del ghiacciaio sono attraversate da innumerevoli fenditure.

Così il ghiaccio compatto di un anno diventa il ghiaccio fessurato del successivo, e il ghiaccio che ora forma le pareti di un «moulin» il prossimo anno sarà qualche centinaio di piedi a valle senza nessuna perforazione, mentre la cascata rimarrà immobile, o quasi, rispetto a oggetti fissi attorno. Tutti questi fatti, attestati da lunga e invariabile esperienza, provano che il ghiaccio del ghiacciaio assume di continuo ed insensibilmente forme diverse sotto l'influenza di vincoli esterni fra i quali il principale, sotto-

lineiamo, è il suo stesso peso che determina la sua struttura generale insieme alle superfici sulle quali scorre e fra le quali è stritolato. In questo senso è assolutamente simile alle acque di un fiume che hanno qui delle profonde vasche, là dei vortici regolari, che di continuo cambiano di sostanza, ma sempre con forma costante.

L'ultima frase è strepitosa: la percezione di questo comportamento, agli inizi della nostra attività di esplorazione dei mulini glaciali, ci aveva convinti che nei ghiacciai studiavamo un mondo non conquistabile, un mondo di pure forme che si autoreplicavano. Leggiamo ancora, a pagina 36:

A Chamouni la decisione più ovvia era quella di determinare il moto effettivo annuale del ghiaccio, dato che ne avevo già determinato i suoi moti parziali durante l'estate in modo accurato, come ho già spiegato in precedenti comunicazioni. A questo scopo avevo due segnali distinguibili in qualunque condizione, cioè blocchi di roccia che giacevano sulla superficie del ghiacciaio; uno, marcato all'inizio con D 7, e a cui mi sono riferito nei miei «Travels» con tal nome, era situato un po' più in basso della posizione di Montanvert; l'altro, marcato C, o «Pierre platte», sul ghiacciaio di Léchaud, vicino alla sua confluenza con il Glacier du Géant. La posizione del primo di questi blocchi era stata approssimativamente osservata dalla mia guida, Auguste Balmat, durante l'inverno 1842-3, con gran lavoro e fedeltà, osservazioni che per prime hanno provato il fatto che avevo prima solo sospettato, all'opposto delle opinioni correnti, che il ghiacciaio si muove a velocità notevole anche durante l'inverno. Recandomi sul posto con Balmat, e verificando i segni che lui aveva fatto di tanto in tanto, potei vedere che le sue misurazioni, benché non assolutamente corrette, non potevano essere materialmente migliorate a causa delle grosse dimensioni e le rotazioni che aveva fatto il blocco in questione.

Forbes percepisce con chiarezza che la costanza della posizione dei pozzi glaciali è una cosa seria, e la usa anche per asserire una cosa che adesso, con mezzi tecnici e teorici ben superiori, ci pare ovvia e marginale, cioè che i ghiacciai scorrono a valle anche d'inverno. E infine a pagina 37:

La direzione generale e l'aspetto dei crepacci, e la posizione dei «moulins» era la stessa che nel 1842; come se il ghiacciaio fosse rimasto fermo, benché in realtà si fosse mosso qualche centinaio di piedi a valle.

I primi glaciologi e il carsismo glaciale: conclusioni

Forbes, Agassiz e Désor sono andati dunque descrivendo i ghiacciai non solo nella loro fenomenologia complessiva, ma anche



John Tyndall (Leighlin Bridge, Irlanda, 1820 - Hampshire, Inghilterra, 1893) Di famiglia umile, non ebbe accesso a studi universitari. Fu prima ingegnere ferroviario, poi nel 1847 passò ad insegnare a Queenwood, per poi riprendere gli studi per due anni in Germania, dove poi si dedicò a ricerche nel campo della chimica-fisica, divenendo noto per studi sul magnetismo dei cristalli. Dal 1849 cominciò a viaggiare per turismo in Svizzera e prese ad interessarsi di ghiacciai, realizzando numerosi libri sull'argomento che lo resero molto noto. I suoi principali lavori sono però nell'ambito della fisica del calore e della radiazione. Fu grandissimo promotore dell'attività scientifica e celebre conferenziere.

nelle loro forme ablativo, in particolare nei loro fenomeni carsici: e qui è tempo di dire che sono stati molto, molto bravi. Erano naturalisti e viaggiatori che avevano preso ad occuparsi di ghiacciai, percependoli come strutture da capire, problematiche e non semplici depositi di ghiaccio: è stato questo il loro merito enorme.

Se confrontiamo i loro scritti con le ricerche in corso a quell'epoca (erano gli anni di formulazione del primo Principio della Termodinamica, il Secondo era stato appena enunciato, le tesi di Avogadro erano in sonno, l'Elettromagnetismo e l'Evoluzionismo prendevano forma) questi ricercatori ci sembrano proprio un po' marginali e pieni di un desiderio di rivendicazione di «prima annottazione» di fatti secondari che forse si accompagna necessariamente ad un certo loro provincialismo e al fatto che si tratta di giovani ricercatori in cerca di un posto al sole. Ma hanno avuto il privilegio di accorgersi con chiarezza dell'esistenza dei ghiacciai come strutture di formazione del paesaggio, estese nel tempo al punto di condizionare il panorama attuale. Non è poco.

Nel raffronto sul nostro tema specifico, l'accuratezza delle descrizioni dei fenomeni carsici dei ghiacciai temperati, Forbes ci pare avere una marcia in più nel percepire con una chiarezza allarmante certe cose che, da allora, sono uscite dall'ambito della glaciologia (e che solo ora si stanno riaffacciando), ma in fondo questo non è molto importante. Valga come raffronto il fatto che trent'anni dopo lo sbarco sulla Luna, uno dei più esperti speleologi esistenti aveva fieramente annotato una sua idea originale [BADINO, 1999]:

Ne derivava che esse sono strutture stabili come il gorgo in un fiume, fatto di acque sempre nuove: quando il ghiaccio arriva in quel punto assume la forma di una grotta, sempre più o meno quella.

Ripetendo in pratica esattamente le parole che Forbes aveva scritto un secolo e mezzo prima. Sì, crediamo che sia Forbes, e non uno degli espertissimi speleologi della fine del '900, la persona che può vantarsi di essere il padre degli studi sul carsismo glaciale.

E pensare che è probabile che, se qualcuno glielo avesse detto, lui non avrebbe capito di che cosa si trattava...

Le osservazioni di Tyndall

Ora lasciamoci alle spalle i Padri Fondatori degli Studi sul Carsismo Glaciale e andiamo oltre, con due figure che possiamo considerare di una generazione successiva ai pionieri: Tyndall e Stoppani.

Affiancarli è in verità un po' azzardato e, vedremo, anche un po' ingeneroso: il primo è un vero, grande fisico e glaciologo, il secondo è un grande divulgatore naturalista. Le osservazioni che i due fanno relativamente al fenomeno carsico sui ghiacciai hanno dunque una valenza ben diversa, ma le idee di Stoppani relativamente ai pozzi glaciali andranno avanti nella glaciologia italiana sino alle porte della Seconda Guerra mondiale e dunque hanno avuto comunque un peso scientifico che probabilmente avrebbe sorpreso lo stesso Stoppani.

I lavori cui ci riferiamo sono [TYNDALL, 1877] (ma l'edizione inglese è del 1872). L'altro lavoro è il più completo [TYNDALL, 1896]. Per quel che riguarda l'abate brianzolo il riferimento è il celebre [STOPPANI, 1876], ma noi abbiamo lavorato sulle edizioni del 1881 e 1914; nella edizione più tarda viene aggiunta l'accentuazione su certe vocali interne alle parole, per insegnare la fonetica, ma nella parte che andremo a discutere non c'è nessuna differenza di contenuti.

Le osservazioni di Tyndall sono strettamente «in scia» a quelle di Forbes, di cui costituiscono il completamento sperimentale, relative a misure che precedono di vent'anni il lavoro dello Stoppani.

Iniziamo dal primo libro di Tyndall, dunque, dove a pagina 169 troviamo il capitolo «I Mulini del ghiacciajo»:

Ci è noto per lunga esperienza il carattere della Mer de Glace; l'abbiamo percorso con nuovo scopo di studio ogni giorno, senza per questo chiuder gli occhi al resto che ci si presentava. Le cose osservate per incidenza mentre l'attenzione nostra è occupata d'altro, ci suggeriscono nuovi argo-

menti di studio nelle ricerche scientifiche.

Camminando per esempio sul ghiaccio presso a Trélaporte, spesso ci colpi un rumore come di tuono lontano; più tardi ne abbiamo cercata la ragione e l'abbiamo trovata.

Una grande area di questa parte di ghiaccio è tutta unita e senza crepacci; i piccoli fili d'acqua vi formano dei ruscelli che si uniscono a formare torrenti i quali qualche volta scavano nel ghiaccio profondi canali; tosto o tardi questi corsi d'acqua arrivano a un punto dove il ghiacciajo ha subita una tensione, dove s'è formata una fessura che taglia la strada all'acqua, la quale trova aperta la via al fondo del ghiacciajo; l'azione prolungata della corrente d'acqua scava un buco, e la fessura diventa l'origine di un imbuto del quale non si vede il fondo e dove l'acqua si precipita col rumoreggiar di tuono.

L'imbuto e la cataratta formano per tal modo il così detto «moulin» o mulino del ghiacciajo.

Assicuratevi con una mano e spingete lo sguardo giù nel profondo di questo pozzo pieno di luce azzurrastra, è bello lo spettacolo ma terribile; più di un incauto vi perì, un secondo o due di capogiro e la morte è inevitabile, onde la cautela sui ghiacciai e poi monti deve essere una seconda natura per chi vi si aggira esplorando come noi.

Questo è una probabile eco di leggenda, non risultano esserci mai stati incidenti in pozzi glaciali.

La fessura nella quale si precipitava in principio l'acqua formando il moulin, si muove e discende in basso insieme al ghiacciajo; una nuova parte di ghiaccio arriva al punto dove si esercita la tensione; allora si forma un'altra fessura al di sopra del mulino il quale viene così abbandonato dalla corrente d'acqua, e continua a discendere ma pozzo vuoto. Qui sulla Mer de Glace più innanzi del Grand



The Glacier de Miage and its Moraine.

- a. *Pyramides Calcaires.* b. *Glacier de l'Allée Blanche.*
c. *Glacier de Miage.* d. *Col de la Seigne.*

Moulin ne troviamo di questi pozzi abbandonati non meno di sei, alcuni hanno una profondità di 90 piedi. Vediamo se è possibile di determinare la profondità della Mer de Glace; ce ne offre l'opportunità il Gran Moulin.

Qui affiora un nuovo tema di ricerca che suggerisce di discendere nei pozzi glaciali (una nuova scusa...): determinare la profondità del ghiaccio, nell'illusione che la cascata lo attraversi tutto, illusione apparsa a fine Settecento e coltivata a tutt'oggi da molti glaciologi.

Un primo tentativo per sondare il Moulin non riesce, perché l'impeto delle acque ci rompe la corda della sonda; i marinari mettono un po' di grasso nel cavo di un peso per giudicare del fondo del mare; facciamo così noi pure, ma la nostra sonda discesa a 163 piedi non toccò il letto del ghiacciajo.

Abbiamo tenuto dietro al progredire del Gran Moulin dal 28 di luglio all'8 di agosto; alla prima data ne determinammo la posizione; il 31 luglio era disceso di 50 pollici; un po' più di un giorno dopo erasi mosso di 74 pollici; l'8 agosto lo spostamento era di 198 pollici, il che dà una media di circa 18 pollici per ventiquattro ore. Certo nella prossima estate si troverà sulla Mer de Glace un Gran Moulin che rumoreggia presso Trélaporte, ma, come il crepaccio del Gran Plateau del quale già parlammo, non sarà il *nostro* Moulin. Questo o piuttosto il ghiaccio nel quale era scavato, trovasi ora probabilmente oltre un miglio più a valle di quel che era nel 1857.

Il corsivo è di Tyndall: anche lui ha le idee chiare. Saltiamo a piè pari al più maturo [TYNDALL, 1896] dove a pagina 362 troviamo un intero capitolo dedicato: The Moulins. Ritorna sulle idee di un quarto di secolo prima, ma con altro piglio:

La prima volta che ebbi l'opportunità di vedere questi notevoli camini del ghiaccio fu nell'estate del 1856, sulla parte bassa del ghiacciajo di Grindelwald. Il signor Huxley mi era compagno a quel tempo e attraversando il

cosiddetto Eismeer sentimmo un rumore come di tuoni lontani che proveniva da un pozzo perpendicolare formatosi nel ghiaccio e in cui si scaricava una rumorosa cateratta d'acqua. Il tubo in effetti sembrava una grande canna d'organo le cui note tonanti erano prodotte dal battere dell'acqua in caduta invece che dal gentile flusso di una corrente d'aria.

Bellissimo! E in effetti sui ghiacciai maggiori i grandi pozzi si localizzano dal rombo continuo.

Accanto al pozzo la nostra guida intagliò dei gradini sui quali ci mettemmo uno dopo l'altro e guardammo nel tremendo buco. Accanto alla cascata principale ce n'era una seconda e più piccola, il cui significato non comprendevo ancora; era più profondo di 20 piedi, ma sembrava pieno di un liquido di blu delizioso, colore dovuto al magico luccicare che proveniva dalle pareti del mulino, che era abbastanza vuoto. Per quel che potevamo vedere il pozzo era verticale ma buttandoci una pietra si sentiva prima un colpo e poi una successione di tonfi, che durava in tutto sette secondi, e poi più nulla. La profondità del pozzo non poteva dunque essere misurata, ma ne trovammo presto un secondo, più largo, che ci fornì dati più precisi. Una pietra lanciata in questo scendeva senza interruzioni per quattro secondi, quando si veniva a sentire un primo colpo; e poi altri tre secondi prima di sentire il tonfo finale. C'era dunque una sola interruzione nella discesa. Supponendo che tutta la velocità acquisita fosse distrutta dal primo urto sommando gli spazi percorsi dalla pietra rispettivamente in quattro e in tre secondi, e tenendo conto del tempo necessario al suono per arrivare in superficie, trovammo la profondità del pozzo, circa 345 piedi.

Tuttora gli speleologi prima di scendere in un pozzo sconosciuto lo sondano con un sasso: la descrizione che ne dà Tyndall è precisa in modo magnifico. Qui notiamo solo, en passant, che il Nostro ha fatto uno scivolone con la matematica delle misure: fornisce un dato preciso al di sotto dell'uno per cento (345) grazie a misure precise a meno di un 20% (tempo di volo del sasso e ipotesi sull'urto). Gli dobbiamo tirare le orecchie? Se le tirassimo a lui, dovremmo strapparle a molti odierni autori di articoli in riviste scientifiche, meglio lasciar perdere. Ci interessa molto invece l'osservazione seguente:

Tuttavia non ci sono motivi per supporre che questa fosse la profondità del ghiacciajo in quel punto.

Bravissimo. A differenza di quando scriveva nel libro precedente ora ha capito che i mulini glaciali non sono obbligati a scendere sino al letto roccioso, e in realtà non si sognano nemmeno di farlo se non in ghiacciai veramente sottili, ma nella letteratura gla-

ciologica viene tuttora ripetuta in modo assolutamente arbitrario l'idea, falsa, che ci arrivino.

Questi pozzi si trovano in gran parte dei grandi ghiacciai; sono molto numerosi nel ghiacciajo di Unteraar, benché molti di essi fossero vuoti. Sulla Mer de Glace li si trova sempre nella zona di Trélaporte, uno di questi pozzi è chiamato, par excellence, il Grand Moulin. Ve ne sono vari altri nel Glacier de Léchaud.

Come venne correttamente osservato dal signor Agassiz, questi mulini si formano solo nelle zone dei ghiacciai che non sono molto fessurate, perché solo lì i piccoli ruscellamenti prodotti dalla fusione superficiale possono raccogliersi a formare torrenti di ogni grandezza.

La citazione di Agassiz fa sembrare che Tyndall all'epoca del precedente libro non lo avesse letto affatto e che solo successivamente abbia scoperto che la priorità era di un altro. Questo indica che Tyndall aveva sviluppato la teoria di formazione dei pozzi glaciali in modo assolutamente indipendente da altri: non è stato l'ultimo, direi che poi abbiamo continuato a riscoprirla.

La valle di ghiaccio non fratturato formata nella Mer de Glace vicino a Trélaporte è particolarmente favorevole per il confluire di tali ruscelli, vi vediamo piccoli corsi d'acqua iniziare e ingrandirsi per il contributo di altri, il ruscello versa il suo contributo in un piccolo torrente che allunga un centinaio di simili braccia sulla superficie del ghiacciajo. Molti di questi ruscelli si uniscono e infine un notevole ruscello che riceve acqua da una vasta area, taglia la sua strada all'interno del ghiaccio.

Ma benché questa zona del ghiacciajo sia priva di quei perduranti e permanenti sforzi che, avendo una volta fessurato il ghiaccio, tendono successivamente ad allargare la frattura e producono impressionanti crepacci, non è tuttavia esente da sforzi locali sufficienti a produrre cracks che penetrano nel ghiacciajo a grande profondità. Immaginate una tale fenditura che interseca un rivolo di ghiacciajo come quelli che abbiamo descritto. L'acqua vi si precipita dentro e presto si scava un imbuto grande abbastanza da inghiottire l'intero flusso d'acqua. Il mulino è così formato e, dato che il ghiaccio si muove verso valle, i lati della fessura sono compressi insieme e rigelati, benché rimanga spesso visibile la linea di giunzione. Ma al continuare del moto altre porzioni del ghiacciajo arrivano nella stessa zona di sforzo ove si era prodotta la prima frattura; una seconda si forma attraverso il ruscello, il vecchio pozzo è abbandonato e uno nuovo viene scavato, nel quale per una stagione la cateratta suona il tuonatore («the cataract plays the thunderer»).

L'ultimo paragrafo potrebbe quasi essere trascritto, così com'è, a descrivere quanto sappiamo noi,

Blocco di granito sulla Mer de Glace (FORBES, 1843).



Granite Block on the Mer de Glace.

La Mer de Glace di Chamounix, da Les Charmoz (FORBES, 1843)



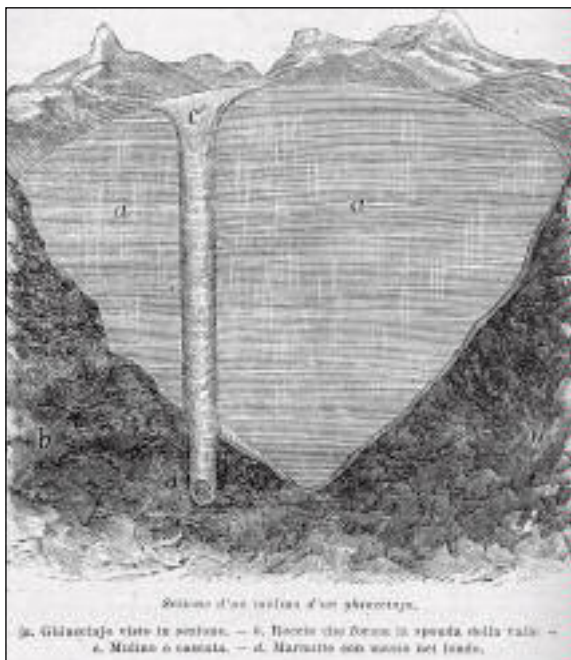
ora, della prima formazione dei pozzi glaciali: avremmo così il vantaggio di una grande precisione di descrizione unita alla bellissima immagine finale della cateratta che suona il «thunderer»!

In certi casi ho contato i pozzi abbandonati di vecchi mulini a valle di uno attivo. Non lontano dal Grand Moulin della Mer de Glace nel 1857 c'era un secondo pozzo, vuoto, che comunicava con un condotto sub-glaciale con quello in cui si precipitava il torrente. Fuori dal vecchio orifizio usciva un forte e freddo getto d'aria che era evidentemente spinto attraverso l'imbocco dall'acqua che cadeva nell'adiacente mulino.

Che noi sappiamo questa è la prima annotazione di uso di correnti d'aria per determinare la struttura di una grotta.

Sezione d'un mulino d'un ghiacciaio (STOPPANI, 1876)

Questi pozzi si trovano sempre nella stessa località; la zona della Mer de Glace alla quale mi riferisco non è mai stata senza di essi. Alcune delle guide affermano che essi sono sempre im-



Sezione d'un mulino d'un ghiacciaio.

a. Ghiacciaio visto in sezione. — b. Trocio che forma la spina della valle. — c. Mulino o cascata. — d. Marmitta con acqua nel fondo.

mobili; e un'affermazione del prof. Forbes ha portato a ritenere che questa fosse pure la sua opinione. Il signor Agassiz, tuttavia, ha osservato il moto di alcuni di questi pozzi sul ghiacciaio dell'Aar; e quando arrivai in quella zona, nel 1857, ero desideroso di decidere la questione con accurate misure col teodolite.

Il mio amico signor Hirst si incaricò dello strumento e il 28 di luglio fissai una singola palina a lato del Grand Moulin, sulla linea retta fra una stazione a Trélaporte e un ben definito segnale su una roccia dall'altra parte della valle. Il giorno 31 lo spostamento della palina era di 50 pollici e all'1 di agosto si era mossa di 74 pollici. Il mulino, in tutta evidenza, occupava la stessa posizione rispetto alla palina. Per accertarsi di questo noi mettemmo altre due paline nel ghiaccio, venendo così a richiudere la bocca del pozzo in un triangolo. All'8 di agosto misurammo gli spostamenti, ottenendo i seguenti risultati:

Spostamento totale
Prima palina (vecchia) 198 pollici
Seconda palina (nuova) 123
Terza 124

Le paline rimasero in posizione per 11 giorni e il loro moto giornaliero, che era anche quello del Moulin fu in media di 18 pollici al giorno. Dunque i mulini accompagnano il moto generale del ghiacciaio e la loro apparente stazionarietà non è, come era stato sostenuto, una dimostrazione della semi-fluidità del ghiacciaio, ma dovuta alla rottura del ghiaccio quando arriva nella zona di sforzo locale.

La periodicità è dunque relativa alla velocità con cui il mulino viene a trovarsi in una nuova struttura tensiva: può essere una volta all'anno, ogni vari anni, ogni settimana.

Desiderando ottenere una stima della profondità del ghiacciaio il signor Hirst intraprese il sondaggio di alcuni mulini sul Glacier de Léchaud, facendo uso di un leggero recipiente pieno di pezzi di piombo e ferro come zavorra.

Il filo si ruppe e lui perse il suo filo a piombo. Per misurare la profondità del Grand Moulin, ci procurammo del cordino nuovo a Chamouni, al quale attaccammo un peso di quattro libbre. Riempimmo di burro una cavità alla base del peso per avere indicazioni sul tipo di fondo su cui il peso si sarebbe fermato. Il peso venne calato nel pozzo e si diede corda sino a che il suo allentamento ci informò che il peso si era fermato; stratonando il filo, tuttavia, e camminando attorno al la sommità del pozzo il peso si liberò e riprese a scendere ancora un po'. La corda si allentò parzialmente una seconda volta, ma la tensione rimase sufficiente a rendere dubbio se ciò fosse dovuto al peso o all'azione di trascinarsi fatta dall'acqua che cadeva. Dunque noi continuammo a calare il filo sino al capo ma quando lo recuperammo scoprimmo che la cascata lo aveva in gran parte ingarbuglia-

to ed annodato.

Lo districammo per ripetere il sondaggio. Alla profondità di 132 piedi il peso arrivò ad una sporgenza o ripiano del ghiaccio e scuotendolo e spostandolo, ne causammo l'ulteriore discesa per altri 31 piedi. La profondità di 163 piedi fu la massima che riuscimmo a raggiungere. Sondammo il vecchio mulino ad una profondità di 90 piedi, mentre un terzo piccolo pozzo, a lato del grande, misurava solo 18 piedi di profondità. Potevamo vedere l'acqua allontanarsi in un canale laterale sul suo fondo e senza dubbio l'acqua del Grand Moulin ha una simile uscita. Non c'erano tracce di sporco sul burro, cosa che avrebbe potuto indicare che aveva raggiunto il letto roccioso.

Ha dunque fatto una verifica seria della profondità, senza cascare nelle infinite trappole che le grotte tendono a chi le sonda con un peso (Agassiz invece c'era caduto: ricordate la stima di 260 metri?) e per buona misura riesce anche a dire che non ha toccato il letto roccioso.

Possiamo dire che gli è andata bene: in moltissime grotte glaciali la base del primo pozzo è piena di sassolini trascinati dalle morene mediane e dunque poteva ben cadere nell'illusione che un sasso agganciato al peso stesse a dimostrare il suo arrivo sul letto di roccia...

Insomma, praticamente Tyndall dice cose vere ancora adesso. Gli manca solo di scendere là dentro, ma all'epoca era proprio difficile.

Il Bel Paese: i mulini glaciali come elementi enigmatici del paesaggio

Ora possiamo passare allo Stoppani, il primo che in Italia si dedica alla glaciologia, realizzando anche un grande sforzo di divulgazione che ora ci pare essere il suo principale merito.

L'interesse dello Stoppani per i pozzi glaciali nasce dal desiderio di spiegare l'origine di quelle che, per primo, denomina «marmitte dei giganti», cavità di forma circolare, in genere di profondità simile al diametro, scavate nella roccia viva in zone abbandonate dai ghiacciai. Nella Serata V del suo libro descrive accuratamente quelle vicino Lucerna, e poi ne discute l'origine. Il fatto che esse non si trovino in paleo-letti di torrenti gli fa escludere che si tratti di semplici conche di cascate.

Si presenteranno se il caso dà, non sul fondo di una valle ma sui lati di essa. (...) Il piano e il pendio, la valle e il monte, ogni posto è buono per una marmitta.

A suo parere il motivo della loro formazione sta nei ghiacciai che coprivano le zone.

La sua superficie, tutta deliquescente, si eleva molte centinaia di metri sul fondo della valle che gli serve da letto.

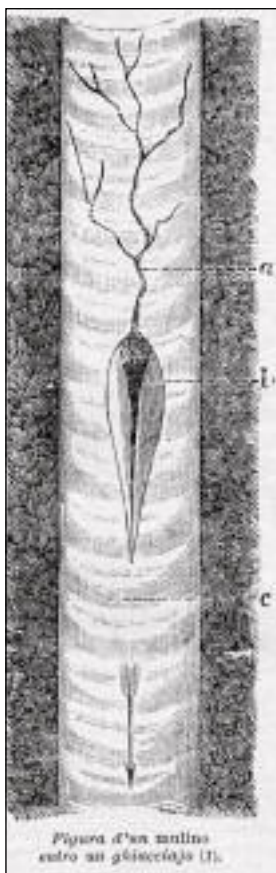


Figura d'un mulino dentro un ghiacciajo (STOPPANI, 1876)

Cento ruscelli nascono sotto il raggio infocato del sole che riscalda il ghiacciajo; scorrono di qua, di là, s'incontrano, confluiscono, formano un torrentello, e da più torrentelli nasce un torrente, talvolta di una certa portata. Questo dopo aver percorso per un certo tratto la china del ghiacciajo, quasi in un letto di smeraldo, finisce a precipitarsi nel primo crepaccio che incontra per via. L'estremità di quel fosso, struggendosi il ghiaccio a contatto con l'acqua, si allarga, si arrotonda, diventa un gorgo, un gran pozzo verticale che traversa tutto il ghiacciajo dalla superficie al fondo. Nelle Alpi, dove si parla francese, quei fossi si chiamano moulins. Noi li chiameremo dunque mulini.

Peccato che non abbia insistito con «pozzi»... La frase che va a seguire è assolutamente arbitraria, ma come abbiamo già detto, ancora adesso molti glaciologi credono che sia così, chissà perché.

Il torrente glaciale precipitando in quei pozzi, forma naturalmente una cascata; la quale saltando di botto da un'altezza talora stragrande, viene a colpire la nuda roccia su cui posa il ghiacciajo. Queste cadute d'acqua così fortuite, e diremo anche, così temporanee, non badano a formarsi in corrispondenza col fondo della valle, piuttosto che coi fianchi di essa; e siccome il ghiacciajo riempie talvolta interamente la valle, e sorpassa rupi, valli e cime di montagne, può la cascata glaciale scendere a colpire la roccia in una situazione qualunque, foss'anche una cima. Dovete sapere che i ghiacciai vantano spesso una profondità di 200 a 400 metri; da 500 a 1000 ed anche di più vantano gli antichi. Immaginatevi quale forza dovevano acquistare le cascate precipitandosi da tali altezze. Un anno, qualche mese, anche pochi giorni possono bastare perché una di tali cadute d'acqua, diremo improvvisate, supplendo con la intensità della forza alla breve durata dell'azione, giovandosi dell'abbondanza di massi e di ciottoli che dalle morene superficiali, o dalle viscere stesse del ghiacciajo cadono entro quel baratro, possa scavare un pozzo, una marmitta larga e profonda quanto si vuole, in seno alla roccia più dura.

Del fatto che i mulini non bucano i ghiacciai abbiamo già detto abbastanza. Ma in realtà l'affermazione è errata in un modo più generale: l'energia che rilascia una cascata cresce con la sua lunghezza solo entro certi limiti, perché velocità molto alte (sopra i 10-20 m/s) in generale causano

la frantumazione del flusso e lo trasformano in un gas di gocce ed aria che cade a velocità costante. In pratica l'energia potenziale iniziale viene ad essere ceduta all'aria e alle pareti, e quindi l'energia che rilascia nell'urto finale non cresce con la lunghezza di caduta oltre qualche decina di metri.

L'origine glaciale delle marmitte per Stoppani è provata dal fatto che «non s'incontrarono mai fuorché nei paesi che furono coperti dagli antichi ghiacciai» (questo in realtà non è vero), e che anzi molte di esse si trovano ricoperte di morena e con all'interno ciottoli arrotondati dall'azione erosiva. Anzi, il fatto che di norma una cascata espella i ciottoli dal bacino in cui piomba conferma questa ipotesi perché:

Non così le cascate dei mulini dei ghiacciai. Pensate che la cavità, la quale comincia a formarsi nella roccia, non è che il fondo di un gran tubo di ghiaccio il quale può avere la profondità di un centinaio o anche di un migliaio di metri. Guardate lo schizzo che vi metto sott'occhio, vedete il mulino, ossia la gran gola del pozzo scavato dall'acqua cadente in seno al ghiacciajo. Vedete una porzione della roccia sottostante già scavata in forma di marmitta. Vedete sul fondo di essa un masso che continuerà a sprofondarla. Come volete che quel ciottolone sia sospinto dall'acqua con tal forza, che salga fino alla bocca del pozzo, che avrà forse 100 e forse 1000 metri di profondità? Ci vuol molto meno perché il masso sia costretto starsene entro il pozzo ed abbia di grazia, se vuol muoversi, a girare, a girare, come la palla di una roulette, o come le ale di un'elice, o le palette d'una turbina. Finirà così a rodere la marmitta giro giro, e l'incisione che fa discendendo, acquisterà necessariamente la forma di una spirale, di una chio-ciola.

«Se ho bene inteso», uscì a dire Beppino «il mulino non è altro che un buco alla superficie del ghiacciajo, che discende fino al fondo entro il ghiaccio; per cui l'acqua va giù dritta a batter la roccia sempre in quel posto, finché, a furia di battere, riesce a scavare la marmitta (...) ma non ci hai tu fatto intendere più volte che il ghiacciajo cammina?»

«E dunque?»

«Dunque, se il ghiacciajo va continuamente in giù, il suo buco, cioè il mulino, camminerà con esso. Non potrà mai pertanto rimanere nello stesso punto a battere la roccia».

«Ma bravo! (...) Guarda che cosa ti dico: appunto perché il ghiacciajo si muove, il mulino sta fermo. Se il ghiacciajo si movesse, si moverebbe il mulino. (...) Immagina, che il ghiacciajo stia fermo: starebbe fermo il mulino? Mainò, perché essendo di ghiaccio il tubo entro il quale precipita l'acqua, e possedendo questa una temperatura relativamente alta, l'acqua stessa scioglie continuamente la parete del tubo specialmente dal lato dove l'acqua cade, cioè verso l'insù, ver-

so il monte. Il tubo dunque, invece di rimanere approssimativamente cilindrico, si allungherebbe continuamente verso l'alto, e verso l'alto camminerrebbe il mulino colla sua cascata. Finiremmo così ad avere, in luogo di un tubo cilindrico per cui l'acqua discendeva a battere sempre nello stesso punto la roccia, una fessura, una specie di gran cruna, e lo scavo che si osserva al disotto non potrebbe prendere altra forma che quella di un canale. Facciamo ora che il ghiacciajo si muova, come si muove realmente, verso il basso. La cascata, che cammina verso l'alto per la ragione che abbiamo detto, cammina al tempo stesso verso il basso seguendo il movimento del ghiacciajo. Chi cammina al tempo stesso in su ed in giù, che fa contemporaneamente un passo indietro e un passo avanti, vuol dire che sta fermo». «E' vero!» esclamò Beppino «quindi la cascata, ossia il mulino, batte sempre sullo stesso punto, e scava la marmitta: ma...»

«Così; purché ci sia compensazione esatta tra il movimento all'insù e quello all'ingiù, tra la cascata che si arretra e il ghiacciajo che si avvanza; cosa facile, almeno entro certi termini, a verificarsi. E' un fatto intanto che i mulini si trovano su per giù sempre negli stessi punti. La prima ragione di ciò è che i crepacci, i quali son quelli che si trasformano in mulini, si formano sempre negli stessi punti, cioè dove si verificano sempre le condizioni della loro formazione che consistono principalmente nell'esistenza sul fondo della valle in quei punti di un rilievo o di un forte pendio. (...) La stazione dei mulini fu notata dal Forbes nella sua celebre opera Viaggi nelle Alpi, dietro esatte osservazioni, eseguite per più anni sul ghiacciajo della Mer de Glace».

E qui cita la frase esatta di Forbes, anche in inglese. Ma noi stiamo dalla parte di Beppino, e ci diventa proprio un po' difficile perdonare lo Stoppani. La sua idea di un arretramento dovuto allo scavo che dovrebbe avvenire alla velocità con cui il ghiaccio avanza è indifendibile.

Anche ammettendo che, chissà perché, la velocità media annuale dell'arretramento da scavo sia uguale alla velocità media di avanzata del ghiaccio, avremmo che i mulini si precipiterebbero verso monte quando lo scavo è attivo, d'estate, e verso valle d'inverno. Insomma, l'idea è proprio peregrina. Ma se pubblicarla nel 1881 (la si confronti con le fonti precedenti che abbiamo citato) aveva un qualche senso di ipotesi semplicemente e innocentemente errata, ci riesce impossibile accettare la sua riproposizione decenni dopo, quando lavori come quelli di Tyndall (di vent'anni precedente alla nota di Stoppani) sono ormai stati pubblicati e assimilati.

Codesto della persistenza delle cascate sullo stesso punto ho inteso benissimo (...) ma non intendo poi come i



Antonio Stoppani (Lecco, 1824 - Milano, 1891)

Sacerdote dal 1848. Attivo politicamente come patriota, insegnante di Geologia all'Università di Pavia e poi al Politecnico di Milano. Scrisse una grande mole di lavori scientifici ma è noto per la sua opera più celebre: «Il Bel Paese». Nel libro, diviso in ventinove «serate» il precettore e zio Antonio Stoppani racconta ai suoi nipotini delle bellezze naturalistiche sparse sul territorio italiano. Particolarmente appassionato di glaciologia lo Stoppani studiò i grandi ghiacciai, i loro movimenti nel corso delle ere, e le geomorfologie glaciali. Fu Presidente della Sezione di Milano del CAI, Direttore del locale Museo Civico e Presidente della Società Italiana di Scienze Naturali.

mulini del ghiacciajo possano conservare quella loro forma. (...) Non hai detto che i mulini hanno la forma di un tubo cilindrico che si sprofonda verticalmente fino al fondo del ghiacciajo?

«A un dipresso così».

«Or bene; se la cascata sta ferma, è perché scioglie continuamente da una parte, cioè verso l'insù, la parete di quel tubo che invece essendo inciso dal ghiaccio realmente cammina verso l'ingiù. Quel tubo del mulino deve continuamente allungarsi. (...) La cascata del mulino fa come la sega mentre il ghiacciajo scorre come il tronco» (...)

«E come il tronco», continuai io, «verrà quindi separato sicché, invece di un semplice buco entro il ghiaccio, avremo per ogni mulino un bel taglio lungo quanto è lungo il ghiacciajo dal mulino in giù. Ma bravo! Vo' proprio che tu diventi avvocato... ovvero scienziato. Sentite: Beppino l'ha ragionato come un professorone; non c'è che dire: ma si è dimenticato una cosa di cui poteva ricordarsi, o non ci ha abbastanza ben riflettuto. (...) Il ghiaccio scorre perché è plástico (...) come la cera, come il mièle, come la pece, come la pasta da fare il pane. (...) E' proprietà (...) di scorrere semplicemente per effetto del proprio peso e quindi di riempire più o meno prèsto le cavità che per avventura si formassero entro la loro massa. -Farai un buco nell'acqua:- si dice proverbialmente di chi non potrà in nessun modo ottenere quello che cerca: perché facendo un buco nell'acqua, appena si estraiga lo strumento con cui si voleva farlo, l'acqua scorre e riempie il buco. (...) Allora la plasticità del ghiacciajo piglia il sopravvento; il ghiaccio scorre entro il buco, e questo si restringe, si chiude, si oblitera, finché non ne rimanga più veruna traccia. Soltanto dove la cascata lavora a fondere il ghiaccio, il buco rimarrà apèrto, o più veramente si rifarà».

L'idea della richiusura plastica a valle delle pareti di un pozzo glaciale è ancor più peregrina della precedente, e la discuteremo fra



Monte Cervino da Riffelberg vicino al Monte Rosa (FORBES, 1843).

breve. Ma qui vogliamo far notare che, grazie ad una coppia di ipotesi indifendibili, è forzato ad approfondire e va ad ipotizzare un processo nuovo: l'esistenza di una stabilità strutturale di certe cavità glaciali, dovuta al fatto che in certe condizioni lo scorrere dell'acqua, e la conseguente fusione del ghiaccio, equilibra il collasso plastico del ghiaccio. Lo Stoppani se la immagina per applicarla in un contesto e per un motivo sbagliati, ma l'idea è ottima e difatti crediamo sia proprio questo il processo grazie al quale vengono tenuti attivi i reticoli di drenaggio che corrono 100-150 metri sotto la superficie dei ghiacciai.

Ecco perché il mulino di un ghiacciajo avrà sempre la forma di un pozzo, ossia di un buco verticale, stazionario in quel punto dove precipita la cascata. Tutto questo però non può farsi con quella prestezza con cui si chiude un buco nell'acqua. Il ghiaccio è plastico, è scorrevole, ma soltanto in un certo grado. Il suo muoversi è lentissimo. Ci vorrà quindi un certo tempo, cinque, sei, sette giorni, prima che si chiuda quella parte del foro che cammina in giù col ghiacciajo. (...) Quale sarà pertanto la forma di un mulino? Non quella propriamente di un pozzo cilindrico, ma di un pozzo, dirèi a mandorla, che comincia rotondo verso l'alto, dove, lavora la cascata a tenerlo aperto, e termina acuto verso il basso.

Datemi un lapis e vi farò vedere ad un dipresso la figura dei mulini, come l'ho vista sempre, senza eccezione, in tutti i ghiacciai che ho visitati. ... Lo vedete? come una vasca da bagno, rotondo dalla parte della testa, e acutissimo dalla parte de' piedi, poi un pozzo della stessa l'orma che va giù nero, buio, come in bocca al lupo. A vederlo sul ghiacciajo è un'altra cosa. Prima di diventar nero, è bianco-candido, poi cilestrino, poi cilestro, poi azzurro-chiaro, poi azzurro-oscuro, poi nero. (...) Insomma una, meraviglia, e si sente giù in fondo, lontano lontano, il rumore dell'acqua.

Sulla bellezza dei mulini glaciali concordiamo in pieno, ma Stoppani qui ha preso un granchio. Intanto non è vero che i pozzi glaciali sono a forma di mandorla verso valle: sono tondi o meandriformi. Soprattutto i mulini si formano in un mucchio di posti che rendono vano il modello ipotizzato da Stoppani: a lato delle lingue, ad esempio, dove lo scorrere del ghiaccio è lentissimo (ma non per questo i mulini migrano), dove vengono creati da flussi d'acqua che scorrono in direzione perpendicolare al flusso del ghiaccio. In grandi ghiacciai, ove localmente la superficie può diventare lievemente contro-pendente, può addirittura accadere che i torrenti scorrano verso la zona a monte e dunque in senso opposto al flusso del ghiaccio: la compensazione della velocità di

trascinamento con quella di scavo è un'idea senza nessuna base. Ma soprattutto, la plasticità del ghiaccio dipende dalla pressione e dunque la richiusura del mulino dovrebbe essere rapidissima sul fondo, ma molto lenta in superficie. Forse il ghiacciajo non finirebbe segato come un tronco, ma la sua superficie sicuramente sì, e dunque a valle di ogni pozzo glaciale si formerebbe un canyon, tanto meno profondo quanto più ci si allontana dal pozzo.

Questa stazionarietà dei mulini non va però interpretata così: a rigore, che non sia loro permesso di muoversi nemmeno d'un punto in su o in giù, a destra o a sinistra. Una compensazione perfetta tra l'arretramento della cascata, e l'avanzamento del ghiacciajo non può essere che ipotetica.

Si è accorto del fatto che la sua è un'ipotesi difficile e cerca di aggiustarla chiacchierandoci sopra, ma è strano che non si accorga di cosa succederebbe al passare delle stagioni.

Ma è anche poi vero che le marmitte non sono sempre dei pozzi verticali e cilindrici. Tutt'altro. Ce n'ha di tutte le forme, come abbiám visto; anche di molto allungate: segno certo che la cascata si è mossa in su, o in giù, a destra o a sinistra, e forse si è anche trasportata in diversi punti. Io ho l'idea, per esempio, che il gruppo delle diciotto marmitte del Gletschergarten sia stato fabbricato, chi sa in quale lungo corso di anni, dallo stesso mulino, che si manteneva, e si riproduceva sempre in quel posto, spostandosi però un pochino qua e là.

Il lettore avrà notato che non ci siamo immischiati nelle ipotesi di formazione delle Marmitte dei Giganti, che sicuramente sono capaci di formarsi sotto i ghiacciai con meccanismi che noi personalmente ignoriamo, ma che è ragionevole ipotizzare correlati al fluire del ghiaccio, come gli N- o R-channel.

Abbiamo invece discusso la struttura dei mulini quale viene ipotizzata dallo Stoppani, ed è sbagliata. Le cascate dei mulini possono arrivare sul letto roccioso solo se il ghiacciajo ha localmente uno spessore molto piccolo, dell'ordine dei 30-70 metri. Spessori così minuscoli insieme con pendenze superficiali piccole, che dobbiamo ipotizzare per permettere la formazione di torrenti epiglaciali, danno come risultato che si tratta di ghiaccio che praticamente non scorre. Stoppani ci propone dunque un modello di erosione che difficilmente può funzionare, anche in casi molto speciali.

La speleologia nei mulini glaciali

Pochi anni dopo vengono effettuate le prime discese speleologi-



Joseph Vallot (Lodève, Francia 1854 - Nizza, Francia 1925)

Botanico, meteorologo e geologo francese. Di famiglia molto agiata, poté dedicarsi privatamente a tempo pieno alle sue ricerche. Specialista di botanica, studiò la flora dei Pirenei e quella spontanea nelle vie di Parigi. Successivamente si dedicò a ricerche di tipo montano (geologia, meteorologia e fisiologia) che lo spinsero a fondare un laboratorio d'alta quota di ricerche multidisciplinari a 4358 m d'altitudine sul Monte Bianco. Fra il 1887 e il 1920 vi realizzò 34 ascensioni, finendo per passarvi un totale di oltre un anno; vi condusse ricerche sul mal di montagna, i ghiacciai e la meteorologia d'alta quota, che pubblicò sugli *Annales de l'Observatoire du Mont Blanc* (1893-1917). Fu cofondatore della società di produzione cinematografica Gaumont.

camente «moderne» nelle grotte glaciali. Lo scopo (la scusa) è quello che ci aveva fatto intravedere Tyndall, la determinazione dello spessore del ghiacciaio, ma il posto dove ne troviamo la cronaca cambia in senso moderno, non si tratta più di un libro ma di un articolo in una rivista speleologica: è il [VALLOT, 1898] che appare su *Spelunca*, «Bulletin de la Société de Spéléologie» e narra una «Exploration des Moulins de la Mer de Glace»; esso verrà in parte ripreso dallo stesso Joseph Vallot alcuni anni dopo negli *Annales de l'Observatoire du Mont-Blanc*.

Per quanto so non esistono ghiacciai di cui si sappia lo spessore. Varie volte sono state calate sonde dentro mulini glaciali nella speranza di raggiungere il fondo ma i risultati sono stati contraddittori, e si è ritenuto che il letto roccioso non sia mai stato raggiunto.

Agassiz aveva sperato di arrivare alla soluzione con un sondaggio artificiale ma non ha potuto spingerlo oltre una sessantina di metri. Si fece calare in un mulino ma venne fermato dall'acqua a circa 30 metri. Pare che questi studi non siano mai più stati ripresi dopo quell'epoca.

Nel 1896 ho fatto un tentativo di chiarire questo punto. Mi recai alla Mer de Glace il 13 agosto e sondai il Grand Moulin in attività; ottenni 27 metri; cinque giorni dopo un nuovo sondaggio diede 34,5 metri, cioè 7,5 metri più del precedente. Si poteva dunque supporre che l'acqua arrivasse in una pozza che si approfondiva di giorno in giorno. Questo risultato era negativo e dimostrava solo che la sonda non arrivava al fondo del ghiacciaio.

A 134 metri a valle di questo mulino si trovava un gruppo di altri tre pozzi di cui due erano in parte chiusi dalla neve mentre quello centrale era ben aperto. Fu esso che mi parve il più adatto alle mie osservazioni. La sua distanza dal mulino attivo era uguale alla velocità di progressione del ghiacciaio in un anno e dunque era verosimile che questo mulino fosse in attività l'anno prima. In ogni caso, esso si era formato da meno di un anno.

Il 28 agosto tornai ai mulini munito del materiale necessario. Una scala di corda fu fissata a un pezzo di legno incastrato nel ghiaccio, permettendo così la discesa nel pozzo. Calata la scala scesi giù e una delle mie guide scese dopo di me.

Le tecniche sono finalmente moderne e in realtà sarebbero durate simili per un oltre mezzo secolo.

Il fondo era orizzontale e formato da un suolo di ghiaccioli agglutinati, sufficientemente solido per permetterci di rimanervi con tranquillità per tutto il tempo che fosse necessario. Ecco le osservazioni che ho potuto fare. Il pozzo aveva una profondità di 24 metri. La sua bocca era circolare e misurava 4 metri di diametro. Le pareti erano verticali da tutti i lati e le loro

dimensioni le stesse in basso, ma la parete del lato a valle era scavata verticalmente da un profondo solco di forma parabolica, visibilmente scavato dal torrente quando vi si precipitava. Questo solco terminava d'improvviso a 2 metri al di sopra del pavimento di ghiaccioli, formando una vasca poco profonda che permetteva di capire come mai la sonda si era fermata ad una così piccola profondità nel mulino attivo, dato che anch'esso possedeva verosimilmente una vaschetta analoga. Un rivolo d'acqua cadeva dall'imbocco, a monte, e si perdeva attraverso il pavimento senza apparenti aperture.

Desiderosi di vedere se era possibile penetrare più in basso nel pozzo sondai il pavimento con un grosso filo di ferro che vi entrò con facilità e, sentendo il vuoto ad una piccola profondità, feci scavare nel punto dove pareva meno spesso. Dopo aver scavato ad un metro di profondità la guida che lavorava, che avevo avuto la precauzione di attaccare alla scala di corda, incontrò di colpo il vuoto e si trovò sospeso al di sopra di una cavità. Vi lanciai la scala e scendemmo, alla luce di una lanterna.

La descrizione appare molto precisa. Erano probabilmente finiti nel deposito nivale che pian piano, aiutato dal collasso delle pareti, andava facendo sparire il pozzo fossile che, dalla descrizione, ci sembra vecchio di più di un solo anno. Possono scendere in un piano inferiore:

Ci venimmo a trovare in una camera inferiore, d'una altezza di 4 o 5 metri nel punto più alto, col pavimento diseguale della stessa natura del soffitto. Tutto ciò che riempiva il pozzo era costituito di una sorta di nevatò piuttosto friabile, composto di ghiaccioli agglutinati a grani di mezzo centimetro di spessore. Il soffitto era abbastanza piano ma meno regolare che in superficie. Al di sotto di esso si trovavano porzioni di soffitti simili, piani nella parte superiore e meno regolari al di sotto che si tenevano in posto solo grazie alla loro aderenza alla parete. Dal lato ove eravamo discesi le masse erano crollate e formavano una scarpata.

Scesi nel posto più basso, che si trovava a 30 metri sotto la superficie e sondai il suolo con il filo di ferro su una profondità di 5 metri.

Trovai alternativamente dei vuoti e del nevatò, cosa che indicava una struttura simile a quella che mi vedevo intorno. Riconobbi l'impossibilità di scendere più basso perché si sarebbe dovuto scavare un vero pozzo in questi strati successivi che si succedevano senza dubbio sino al fondo del mulino e interruppi le ricerche che non pareva avrebbero potuto dare altri risultati a meno di realizzare lavori lunghi e difficili.

E ben ha fatto a lasciar perdere. Passa poi a discutere la presenza di tappi di ghiaie nel pozzo e li interpreta come dovuti a fasi stagionali di restringimento inver-

nale «par suite du mouvement du glacier» (niente note sulla plasticità del ghiaccio, che invece era già comparsa in Stoppani) che raccolgono in punti stretti le masse di ghiaie portate dagli acquazzoni primaverili. Le zone vengono successivamente allargate e gli accumuli di ghiaia rimangono sospesi. La cosa a noi pare marginale ma a Vallot non lo pare affatto e dal suo punto di vista ha perfettamente ragione: lui sta cercando di arrivare al letto roccioso, ma se i pozzi fossili tendono rapidamente a catturare ghiaie che finiscono per tapparli, non sono i posti giusti dove andare in profondità: bisogna scendere nei mulini attivi...

L'esistenza di riempimenti nei mulini vecchi di un anno mostra che non è in questa direzione che bisogna cercare la soluzione del problema. Bisognerebbe scendere in un mulino nel momento stesso in cui viene abbandonato dall'acqua o ancora meglio deviare il torrente che si precipita nel pozzo principale per scenderci.

Ma quest'ultima operazione presenterebbe una difficoltà abbastanza grande perché questo torrente occupa il thalweg del ghiacciaio e corre in genere in fondo ad un canale di 2 o 3 metri di profondità.

Essendo difettosa la sonda di cui mi ero servito nel 1896, formata di una palla di legno, ne avevo fabbricata un'altra di piombo il cui peso (6 kg) era abbastanza grande perché si fosse sicuri che fosse arrivata al fondo malgrado il torrente che tirava molto fortemente sulla cordicella. Avevo pure aumentato il materiale di scale di corda, perché contavo di continuare le esplorazioni nel 1897.

La ricerca continua su questa linea, ma con le osservazioni fatte nel 1897 da M. Fontaine, di cui sappiamo solo ciò che ce ne dice Vallot, praticamente nulla:

Ma la stagione era stata molto cattiva e tutto il mio tempo era stato dedicato ad altri lavori e mi vedevo costretto a rinviare queste ricerche all'anno successivo quando ebbi la fortuna di incontrare un abile alpinista, il Signor Fontaine, che mi offrì di continuarle. Nonostante le mie sollecitazioni pressanti il Signor Fontaine s'è rifiutato di pubblicare lui stesso i risultati del suo lavoro ma ha voluto darmi le sue note autorizzandomi ad utilizzarle. E' dunque a suo nome che pubblico le seguenti osservazioni.

La discesa di Fontaine

E' questo schivo alpinista il primo che si va a cacciare in un pozzo glaciale, quasi attivo, con tecniche individuali.

Il signor Fontaine ha per prima cosa sondato la maggior parte dei mulini del ghiacciaio di Leschaux. Questo, essendo uno dei cinque grandi ghiacciai che formano la Mer de Glace, è all'incirca della sua stessa larghezza e deve dunque essere cinque volte me-



Umberto Monterin (Gressoney, 1887 - Torino, 1940) Glaciologo, meteorologo ed alpinista, si occupò soprattutto del Monte Rosa, riorganizzandone i tre Osservatori. Fu segretario del Comitato Glaciologico Italiano e redattore del Bollettino dello stesso ente. Realizzò una spedizione nel Tibet (Sahara).

no spesso e si avevano più possibilità di arrivare al letto roccioso. I mulini in attività erano chiusi da neve a una profondità di 10 o 15 metri. L'esplorete ha sondato anche un mulino piuttosto grande, in attività presso la morena della riva destra, un mulino attivo presso la morena della riva sinistra e tre mulini in mezzo al ghiacciaio. Il mulino che ha dato il sondaggio maggiore è sull'asse del ghiacciaio; la profondità era di 39 metri e il colpo della sonda ha mostrato che il fondo non è il sottosuolo roccioso. Il signor Fontaine ha poi sondato il grande mulino in attività della Mer de Glace. La sonda ha incontrato delle tasche ma muovendola abilmente in vari modi ha potuto raggiungere una profondità di 86 metri. Egli non pensa si tratti del fondo del ghiacciaio.

La discussione di Vallot sugli spessori, che assume implicitamente una costanza della velocità media dei ghiacciai, è assai rustica, ma dal testo emerge che questo Fontaine, quanto a capacità di osservazione, coraggio e livello tecnico, era decisamente un fuoriclasse.

Infine l'esplorete ha trovato, a circa 200 metri a monte del Grand Moulin e accanto alla morena della riva destra un mulino di una profondità di 60,5 metri, recentemente abbandonato dall'acqua e nel quale ha potuto scendere e fare le sue osservazioni il 9 settembre 1897. I disegni allegati mostrano la forma di questo mulino. Si vede che la sezione è abbastanza complicata. Si nota un notevole numero di vasche sospese formate dalla caduta del torrente. Una di esse è a 36 metri di profondità ed è piena d'acqua. La più bassa è a circa 50 metri di

profondità. Al di là la cavità continua sino a 60,5 m con una fessura stretta, a forma di crepaccio, la cui forma arcuata impedisce di vedere l'estremità. La scala di corda aveva una lunghezza di soli 55 metri e dunque non è stato possibile vedere cosa diveniva quella cavità che, d'altra parte, era piena d'acqua in basso.

A distanza di un secolo i disegni che gli speleologi realizzano per illustrare le grotte sono migliorati di pochissimo.

La profondità precisa al decimetro è un dato non credibile, ma trattandosi di un bravo alpinista, poco letterato, lo perdoniamo volentieri, mentre malvolentieri perdoniamo le interpretazioni di Vallot che fanno seguito:

Questa esplorazione è molto istruttiva. Essa dimostra in modo certo che il mulino si forma grazie ad un crepaccio nel quale si può spostare grazie a piccole variazioni accidentali, cosa che causa la formazione di vasche successive e l'abbandono della cavità per un'altra situata in un posto divenuto più favorevole.

Il crepaccio che origina il mulino non arriva alla base del ghiacciaio e l'acqua, arrivata ad una profondità variabile, scorre orizzontalmente sino a che incontra un'altra fessura verticale che le permette di scendere più in basso. E' un peccato che il materiale non abbia permesso al signor Fontaine di arrivare sino al fondo perché sarebbe stato interessante sapere se il corso d'acqua continuava orizzontalmente o se si trovava un nuovo pozzo che avrebbe permesso di scendere ancora.

Ipotizza dunque una sequenza di pozzi impostati su crepacci, l'uno collegato all'altro... Interpretazione totalmente speleologica e di fantasia: Tyndall e Forbes avevano scritto ben di meglio, ma Vallot, molto speleologicamente, non pare averli letti.

Per inciso, Fontaine ha fatto bene a lasciar perdere: avrebbe superato un laghetto e si sarebbe infilato in ambienti via via più ridotti e bagnati sino ad una pozza d'acqua dove spariva il torrente.

In ogni caso si vede che non bisogna perdere la speranza di scendere più profondamente scegliendo un mulino recentemente abbandonato, e lo si deve sapere grazie al signor Fontaine che ha spinto così avanti le sue esplorazioni e che ha intenzione di riprenderle l'estate prossima, malgrado il rischio di queste ricerche.

Ma non ne hanno fatto più nulla, se non forse argomento di racconti a nipotini (che ora saranno in tarda età), in sere invernali. Ci rimane il desiderio di sapere qualcosa di più su questo Monsieur Fontaine.

Le ultime osservazioni di Vallot sono invece precise e finalmente, al di là della speranza di soluzione, destinata ad essere delusa, ci

dicono quale sia il risultato vero di queste ricerche: si è ottenuta la descrizione dell'interno dei pozzi glaciali e di vari fenomeni che vi occorrono.

Queste varie esplorazioni non sono riuscite a risolvere il problema dello spessore dei ghiacciai, ma fanno intravedere la possibilità di una soluzione. In più esse ci hanno dato informazioni sulla struttura interna dei mulini, che sino ad ora ci si rappresentava troppo come semplici pozzi verticali e ci indicano il modo di riempimento di queste cavità che ci si stupiva di non trovare mai più a valle.

In queste righe i pozzi glaciali sono delineati come luoghi geografici con certe caratteristiche peculiari riprese dall'ambito delle grotte (terrazzi sospesi, ghiaie, modi di dissolvimento e così via). Ma emerge pure il fatto che appaiono ormai poco interessanti. La storia delle loro esplorazioni è finita. Per riuscire ad arrivare al fondo dei pozzi glaciali attivi occorrerà prima entrare in possesso di tecniche adatte, poi riscoprire l'esistenza dei pozzi glaciali (riscrivendo, per inciso, quanto ne avevano scritto 150 anni prima), poi scenderci... Occorrerà dunque quasi un secolo, mentre questo tempo ancora non è bastato a far accettare questa attività a molti speleologi e glaciologi. Per questo ne abbiamo ricostruito la storia.

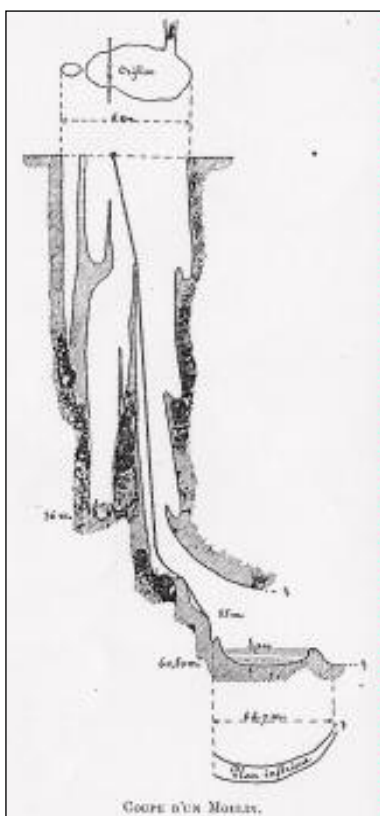
Monterin sulle orme di Stoppani

Ritorniamo in Italia, e allo Stoppani. Le sue note contribuiscono a formare nuove generazioni di ricercatori e dunque diventano un riferimento per i lavori successivi, almeno in Italia. La sua formidabile impostazione divulgativa ascende a paradigma scientifico e la questione della posizione, struttura e fenomenologia dei pozzi glaciali si trova mescolata con l'origine delle Marmitte dei Giganti. Umberto Monterin con Carlo Somigliana propone un lavoro sui pozzi glaciali [MONTERIN 1930], con misure fatte su un ghiacciaio del Monte Rosa, il Lys.

Durante questa operazione un fatto singolare ebbe a richiamare la nostra attenzione, non perché fosse del tutto nuovo, ma soprattutto per la grande regolarità con la quale si manifestava: la costante presenza nei medesimi punti di molini o pozzi glaciali nelle vicinanze del predetto allineamento e particolarmente ai due bordi delle morene mediane sulle cui parti più rialzate erano poste di consueto le due stazioni principali.

I lati delle morene mediane, dove la velocità di scorrimento varia notevolmente entro pochi metri, sono davvero punti privilegiati di formazione dei pozzi glaciali.

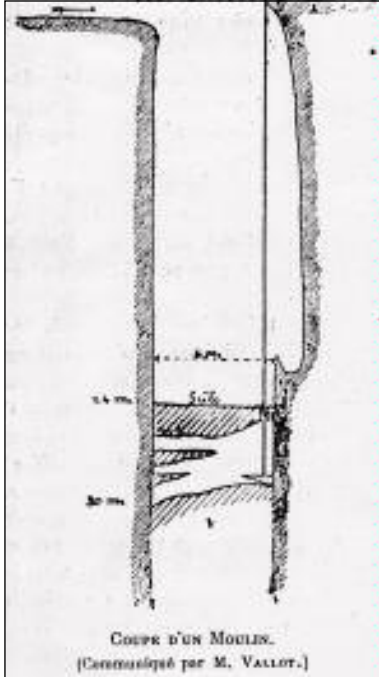
Il rilievo di un pozzo glaciale della Mer de Glace fatto da M. Fontaine (VALLOT, 1898)





Ubaldo Valbusa (Torino, 1872 - Torino, 1939) Botanico, glaciologo ed alpinista. Insegnante nelle scuole superiori, fu assistente presso l'Orto Botanico dell'Università di Torino, dove è conservato il suo erbario. Le sue principali ricerche vertono sulla botanica (flogistica) dell'arco alpino.

Schema del primo mulino, fossile, disceso sulla Mer de Glace (VALLOT, 1898)



E non solo nei medesimi punti dell'estate precedente si ripresentava la serie dei molini attivi, ma per di più in corrispondenza di ciascuno di questi verso valle si potevano ritrovare nelle rispettive direzioni i vari pozzi, ormai resi inattivi, degli anni precedenti, anche di 3 o 4 anni prima, sebbene in modo meno distinto quanto più erano vecchi, ossia di data anteriore, ma fra di loro a regolare distanza. Tali distanze, dalle misure eseguite, risultarono corrispondere pressapoco a quella del movimento annuale della massa glaciale. E, come questo, era maggiore per i pozzi della parte mediana, un po' minore per quelli posti verso i due bordi. Tutto ciò invero non presentava di per sé nulla di veramente nuovo, essendo già stato intuito dai maggiori glaciologi del secolo scorso quali Forbes, Agassiz e Tyndall e successivamente confermato da Heim e Hess nei loro classici trattati di glaciologia.

La lista delle priorità non è in ordine alfabetico, e privilegia Forbes. Ben fatto.

Però è d'uopo far rilevare che, per quanto è a nostra conoscenza, la relativa stabilità topografica dei pozzi attivi nelle medesime posizioni era stata soltanto intuita ma da nessuno controllata con misure dirette di qualche precisione, avendo i pozzi per lo più attirata l'attenzione degli studiosi allo scopo di determinare la profondità delle masse glaciali.

Indica con chiarezza un limite delle osservazioni che sono state fatte in passato sui pozzi glaciali: fatte ai più diversi, e bizzarri, scopi avevano trascurato l'annotazione oggettiva della cosa, indipendentemente dalla teoria che volevano verificare.

E' stato sempre creduto, perché così ritennero i primi illustratori dei ghiacciai del secolo scorso, che l'origine dei

pozzi fosse in diretta dipendenza di altrettanti crepacci preesistenti. Ciò non sembra sempre perfettamente esatto, inquantoché noi troviamo di frequente dei pozzi in località dove la massa glaciale si presenta compatta senza alcun indizio di precedenti fessure. In una nostra visita al Plateau verso la fine di maggio 1924 constatammo che nessun vero pozzo esisteva e che le acque di fusione rimanevano quasi stagnanti sotto forma di una numerosa serie di laghetti più o meno ampi e talora profondi oltre un metro. (...)

Solo in seguito le acque si sono scavate i rispettivi pozzi nelle consuete località, probabilmente allargando sempre più una fessura che in precedenza forse era appena percettibile. Questo nostro modo di vedere trova una sicura conferma nel fatto, da noi più volte osservato, che un pozzo era situato anche a pochi metri di distanza ed a monte di un grande crepaccio.

Monterin e Somigliana vedono dunque che non è il crepaccio che fa il mulino, ma piuttosto la tensione del ghiaccio che appresta situazioni favorevoli alla sua formazione.

Le conclusioni che noi crediamo si possano in ultima analisi dedurre dalle nostre osservazioni sono le seguenti:

- 1) La formazione dei pozzi glaciali non è accidentale, cioè dovuta a condizioni locali favorevoli inerenti alla struttura particolare della massa glaciale, ma si deve ritenere dovuta alle condizioni generali morfologiche della superficie.
- 2) Queste condizioni morfologiche si ripetono ogni anno pressoché identiche, quando la massa generale del ghiacciaio non subisca cambiamenti notevoli, e danno luogo a correnti superficiali pressapoco le stesse, lungo le quali si formano i pozzi.
- 3) La maggiore variabilità osservata nel senso longitudinale può essere effettivamente dovuta alla variabilità delle condizioni favorevoli alla formazione del pozzo, cioè a quelle accidentali circostanze della massa glaciale per cui può iniziarsi la apertura della cavità entro la quale penetra la corrente superficiale che poi scava ed allarga il canale costituente il pozzo. Da queste considerazioni riteniamo che risulti abbastanza chiarita la relativa costanza di posizione dei pozzi glaciali.

A questo punto ci sono le «Deduzioni» firmate dal solo Monterin, forse perché Somigliana non condivideva l'entusiasmo per lo Stoppani. Vediamo.

Da quanto precede possiamo ritenere generalizzando:

- 1) che i limiti entro cui i pozzi glaciali si riformano di consueto non sono mai superati finché non vengono radicalmente mutate le potenze delle rispettive masse glaciali;
- 2) che col succedersi degli anni dovrà indubbiamente verificarsi assai di frequente che ciascun pozzo si ripro-

duca esattamente nella medesima posizione già avuta altre volte in precedenza.

Ci pare che non ci sia nulla da aggiungere a queste osservazioni, ancora attuali.

Ma ora che ha descritto i pozzi glaciali non meglio di quanto sappiamo fare noi, che ne abbiamo osservati decine, Monterin si accorge che la loro bellezza è poco importante e che essi appariranno irrilevanti al colto lettore (succede ancora adesso, del resto), e allora cerca di riportarli ad un contesto conoscitivo di una qualche importanza. Dunque va a riferirsi al testo «Il Bel Paese» che doveva essere un riferimento culturale davvero serio per i naturalisti dei primi decenni del secolo scorso:

Un simile fatto se di per sé non presenta nulla di molto notevole, assume d'altra parte una singolare importanza per gli effetti che può provocare sul fondo roccioso il lavoro millenario delle cascate d'acqua di questi molini e dei materiali delle più disparate dimensioni, fino al minuto tritume, da esse trasportati nel loro vorticoso moto e che, per il proprio peso e la propria durezza, concorrono in sommo grado ad aumentarne il potere erosivo. Intendo alludere alla formazione delle cosiddette marmitte o caldaie dei giganti la cui origine, specialmente di quelle raggruppate in numerose serie nelle zone piane e già sede di antichi ghiacciai, ben difficilmente si potrebbe spiegare se non facendo intervenire l'azione diretta dei mulini.

Già fin dal secolo scorso lo Stoppani, con quel suo profondo intuito che gli era particolare, giustamente aveva prospettato tale legame, che però venne aspramente criticato (...) Si faceva osservare che una simile connessione non era possibile perché, movendosi il pozzo insieme alla massa glaciale, l'azione erosiva delle sue acque, su un determinato punto dell'alveo roccioso, era di troppo breve durata per originare anche il più lieve incavo. Ora è bensì vero che il pozzo è soggetto al medesimo movimento della massa glaciale che lo ricetta, ma tale progressione è assai lenta e di breve durata in rapporto alla effettiva attività del pozzo, corrispondendo al periodo di pochi mesi estivi, per cui, in ultima analisi, il suo valore è molto piccolo.

Frase ermetica. Pare intendere che muova a valle solo durante l'estate.

In quanto poi alla tesi che le caldaie dei giganti, che si trovano nelle zone già sede di ghiacciai, siano opera unicamente dei torrenti sottoglaciali, la ritengo completamente errata (...) Azioni così potenti potevano esser date soltanto dalle turbinose cascate dei molini.

La constatazione che negli attuali ghiacciai i pozzi hanno posizioni relativamente costanti, cioè variabili entro determinati limiti abbastanza ristretti, e che si trovano quasi esclusivamente in regioni pianeggianti (...) ed

a seconda dell'ampiezza di queste in serie più o meno numerose, ben giustificano l'idea espressa dal nostro grande geologo lombardo sull'origine delle marmitte dei giganti.

Già: non fosse che le cascate dei pozzi glaciali non si sognano neanche di arrivare al letto roccioso...

Se ancora oggidi in alcuni dei ghiacciai maggiori, come ad esempio nel Gornergletscher sul versante settentrionale del Monte Rosa, si trovano dei pozzi che per le loro dimensioni sono degli spaventosi baratri di oltre 200 metri di profondità, mentre i corrispondenti torrenti superficiali sono di una enorme portata e violenza, e se inoltre pensiamo quanto maggiore doveva essere l'azione erosiva delle vorticoso acque dei pozzi dei grandi ghiacciai quaternari, logicamente siamo condotti a vedere nelle marmitte dei giganti (...) i naturali testimoni del millenario lavoro di quei fantastici pozzi dell'epoca glaciale.

I pozzi glaciali diventano irrilevanti

L'ultimo personaggio della nostra storia è Ubaldo Valbusa [VALBUSA, 1937], forse l'ultimo glaciologo italiano che scrive osservazioni relative ai «moulin». Questi fenomeni paiono infatti essere divenuti progressivamente meno interessanti e infatti egli non scrive su una rivista scientifica ma sul bollettino della sezione di Torino del CAI.

Chi mi leggerà, ignaro affatto di queste faccende; come chi abbia già sentito parlare di pozzi glaciali e non ne abbia mai visti bene; come chiunque si rechi sul sito a vedere di fatto la nuova curiosità naturale, son sicuro che non avrà dubbio alcuno sulla giustezza del nome «Pozzo Glaciale», sia come perfettamente e intuitivamente rispondente al vero. Ed, infatti, quale altro nome potrebbe spettare e potrebbe applicarsi ad un buco verticale e tipicamente cilindrico, apertosi naturalmente attraverso lo spessore di un ghiacciaio, per l'attività stessa del ghiacciaio, e che inghiotte l'acqua dello stesso ghiacciaio?

Finalmente uno con le idee chiare!

Ma si troverà ad avere qualche confusione di idee, e sarà indotto a porsi qualche interrogativo, chi per avventura avesse letto e ricordasse un articolo apparso sulla Rivista Mensile del C.A.I. del maggio 1935, pag. 249, intitolato: «Le Marmitte dei Giganti». Se, in seguito a quella lettura, vi fu chi ha fatto qualche confusione, stabilito rapporti tra le due cose, le ha unite e confuse con lo stesso nome... si tranquillizzi subito: non confonda anch'egli, sono due cose totalmente diverse e assolutamente indipendenti. Io però penso francamente che quell'articolo (...) sarebbe molto meglio che non fosse stato scritto. Non illustra infatti il fenomeno generale delle «marmitte»

(...) in fondo esso articolo si riduce, a proposito di queste, a fare una questione generale di nomi, sostenendo il nome di «pozzo glaciale» a luogo di «marmitta dei giganti», per le escavazioni in roccia. Tutto l'articolo, che non saprei se sia letterario (scientifico no, sebbene dia una sentenza scientifica), andrebbe pizzicato punto per punto. (...)

Ma al pozzo glaciale vero e proprio, indiscutibile, qui descritto nella sua formazione ed illustrato, come si è potuto nella sua apertura, sopra imbutoforme e sotto cilindrica (...) quale nome egli intende di dare? Se ne trovi uno più proprio ed efficace di «pozzo glaciale»! Mulino no eh, non è adatto, perché questo pozzo non mulina proprio niente. Né tutti gli altri mulinano alcuna cosa!

Abbiamo preso a citare Valbusa proprio per queste sue frasi immortali... Poi difende sensatamente il lavoro di Stoppani, divulgatore e precursore prima che la geologia e la geofisica giungessero a maturità.

Di tale questione della erosione vorticoso chi scrive, che si sente inesorabilmente assai più che bibliotecario da poltrona, osservatore diretto dei siti e dei fatti e sperimentatore, si è occupato da molti anni, cercando sempre dei casi nelle condizioni più diverse, trovandone molti, osservando ripetutamente, fotografando, misurando, confrontando, e provando soprattutto. (...) Desumendo di là, specifico alcuni punti per chi, facendo escursioni, volesse osservare in questo campo:

1) I pozzi glaciali si spostano sempre avanti finché si estinguono e quindi non indietreggiano mai; la fusione sulla faccia verticale, a pozzo evoluto, è quasi nulla in tutti i sensi; l'indietreggiamento per fusione che mantiene costante la posizione assoluta del pozzo rispetto all'esterno, mentre il ghiacciaio avanza, è una vera illusione, per mancanza di misure adeguate, una trovata del buon Stoppani, ma invero un puerile arzigogolo verbale, che inganna, mentre presume di essere arguto, ed è fondato sull'errore smentito dal punto terzo.

2) Invece la soglia del pozzo, ed in tutti i tratti in cui sopra vi scorre l'acqua, si abbassa notevolmente, poiché solo sulla soglia l'acqua più calda tocca il ghiaccio, e poi si getta al largo stramazando nel pozzo senza toccare la parete, toccando talora la parete opposta, se il pozzo è stretto e il rigagnolo vi entra con velocità.

3) L'acqua di cascata, nel pozzo glaciale o fuori, non può scavare nella roccia sottostante «marmitta» ben definite e caratteristiche; ma può solo scavare (...) delle cavità irregolari, anche perché, dopo breve caduta verticale, giunge ad esso bacino incapace a dare vortice, e, suddivisa in gocce che flagellano la superficie senza turbare il fondo, sempre sommerge enorme quantità di aria, che, tornando a galla, annulla la corrente acqua che tende al fondo. Provate!

4) Sono solo le correnti tangenziali, la-

terali per dire più comunemente, e di qualunque obliquità, quelle che animano il vortice acqueo che travolge in giro e sabbia e ciottoli imprigionati ad erodere le «marmitte».

5) Non v'è che da ripetere il titolo della seconda nota, citata, il quale è ben chiara affermazione senza bisogno di altre specificazioni.

Adunque, e finalmente a conclusione, i pozzi glaciali (...) sono in modo assoluto incapaci di scavare «marmitte» ossia cavità in roccia, scavate solo dal torrente o fiume in alto o in basso del suo corso, fuori o sotto il ghiacciaio, e dovunque in una cavità primordiale entri una corrente come detto al numero terzo.

Nessuno cerchi «marmitta» quando sarà scomparso il pozzo nuovo per il ritiro del ghiacciaio, e la roccia sarà scoperta. Oppure cerchi, cerchi... e dica quello che avrà trovato.

Lasciamo dunque Valbusa e le sue osservazioni, alcune delle quali veramente acute, e andiamo a tirare le conclusioni.

Conclusioni

Qui finisce questa nostra prima ricostruzione di come il fenomeno carsico glaciale si è inserito fra le cose «percettibili» ed interessanti per la scienza, per poi uscirne.

I contributi dei primi naturalisti ci paiono svettare: nei loro testi questi fenomeni sono osservati e descritti con cura. Pur nella loro litigiosità, questi autori sono apparsi dotati di una capacità di riflessione e descrizione, di un entusiasmo e di una comunicatività con esterni, da farci apparire le ricerche successive più il frutto di sviluppi tecnici che di crescita culturale.

Avanzavano nell'ignoto portando con sé condizionamenti e insicurezze che li spingevano a quello che ora ci appare un buffo protagonismo: ma la disciplina che questa avanzata pare aver loro imposto ha fatto sì che producessero annotazioni sulle quali per oltre mezzo secolo si è vissuto di rendita, a tratti vaneggiando, per poi dimenticarle. E per poi ritrovarle, ora, dopo un altro secolo, ancora attuali. Complimenti a loro...

Tyndall è sulla stessa linea di costoro, con il vantaggio enorme di essere un abile fisico, dotato quindi della capacità di maneggiare con sicurezza misure e modellamenti: a lui si devono le pagine più intelligenti e lucide scritte su questo tema, ma bisogna sottolineare che quando egli scrive l'argomento è ormai sulla via di passare di moda.

I motivi sono comprensibili: lo studio dei ghiacciai era iniziato dalle zone a bassa quota, di ablazione, dove si concentrano i fenomeni carsici che erano stati accuratamente descritti. Col passare dei decenni le tecniche e le conoscenze migliorano e le ricerche si interessano delle parti

di accumulazione e dei fenomeni complessivi dei ghiacciai, mentre in parallelo i ricercatori si accorgono che le vaghe scuse che avevano spinto i loro predecessori ad interessarsi dei mulini glaciali non sono più sostenibili. In realtà si tratta di posti estremamente pericolosi e avari di dati scientificamente rilevanti: i pozzi glaciali andarono cessando pian piano di essere interessanti.

La cesura è evidente proprio con Vallot: il suo lavoro si sposta su una rivista di nicchia, il taglio è decisamente speleologico, il suo entusiasmo ridotto, tanto che descrive un paio di operazioni che, a quel punto, avrebbero potuto essere ripetute con facilità, ma che evidentemente erano giudicate non più interessanti dalla glaciologia e, di riflesso, da lui stesso. Forse questo autore paga proprio la sua modernità, cerca uditori fra chi studia le grotte, la sua comunicazione non è più rivolta ai glaciologi, ma soprattutto agli speleologi con argomenti glaciologici. E questo, per inciso si può ancora dire della speleologia glaciale attuale, ne è il limite fondamentale.

Vallot illustra una linea di sviluppo, quella speleologica, che a suo tempo abortì per poi essere ripresa solo ottant'anni dopo. Per illustrare l'allontanamento dai mulini dell'altra linea, quella glaciologica, abbiamo osservato gli italiani Stoppani, Monterin e Valbusa, che ci pare ben rappresentino quella che all'inizio abbiamo chiamato «entrata nel mito» dei pozzi glaciali, anche se in realtà sarà interessante fare delle ricerche sulla percezione dei pozzi glaciali fuori dell'Italia.

Nei loro lavori i pozzi glaciali vengono considerati forme esterne del ghiacciaio, atteggiamento comprensibile dato che essi non avevano le conoscenze tecniche necessarie per scenderci dentro. Ma ci interessa sottolineare che il taglio con cui li descrivono è fantasioso, un po' magico: nei mulini spariscono enormi quantità d'acqua e questo evoca il Mistero delle Grotte e di conseguenza tutti i condizionamenti culturali connessi all'idea di «grotta».

Avevamo già visto che era bastata una calata di meno di trenta metri per aver fatto parlare di «discesa nell'Inferno» ai compagni di Agassiz, frase che lui riportava con evidente fiera, sostenendo pure, in altro testo, di essersi disceso più volte (mentendo). E così pure abbiamo visto il mito dell'Abisso affiorare in Tyndall, che affermava, arbitrariamente, che vi erano morte parecchie persone, chissà perché... Il fatto è che l'evocazione di «abisso», «grotta», «sotterraneo» e concetti analoghi va a stimolare qualcosa di profondo che è in noi, un software di aspettative e timori che è installato nelle nostre

profondità, fatto di «iniziazione», «pericolo», «separazione dal mondo». Succede in tutta la letteratura dedicata alle Grotte: in questo caso è stato divertente vederlo affiorare per «grotte» speciali come sono quelle glaciali, ed è stato interessante notare come chi se ne è incuriosito abbia sentito la necessità di dare una spiegazione razionale di questo desiderio di inoltrarsi, con spiegazioni cangianti da un autore all'altro. Erano scuse, naturalmente, e quando esse hanno perso spessore, l'interno dei pozzi glaciali è sparito dal paesaggio. Sono esemplari i casi di Stoppani e successori per i quali l'interno dei pozzi glaciali è pericoloso ma perde concretezza, diviene insondabile, vago, capace di cose meravigliose e strane. Diventa un vero «non-luogo geografico» da associare ad altre cose meravigliose e incomprensibili, come lo dovevano apparire le Marmitte dei Giganti.

E' da sottolineare comunque la differenza epocale fra i punti di vista dei primi glaciologi, che con mezzi da essi stessi giudicati ridicoli avevano cercato di scendere in queste strutture o almeno di sondarle, di misurarle, e quello dei successivi ricercatori, che rinunciano completamente a farlo. Possiamo dire che i primi, in generale, collocavano i pozzi glaciali nello spazio fisico, mentre nei decenni seguenti essi ne escono e ridiventano «non-luoghi» come era il Monte Bianco secoli fa [JOUTARD, 1986], benché dai primi anni del '900 il fondo dei mulini glaciali fosse ormai tecnicamente accessibile ai più forti Gruppi Speleologici.

Ma oramai chi si aggirava sui ghiacciai aveva ben poche idee sulle grotte, se non quelle mitiche che ciascun essere umano porta nel suo cervello. E dunque, bizzarramente, i pozzi glaciali divennero forme esterne in cui non si poteva scendere, e tali rimasero.

Ancora adesso questa idea continua a dominare: si rilegga la frase di apertura, tratta da un recente bellissimo testo di glaciologia, [BENN, 1998] in cui le discese, e dunque le ricerche, nei mulini sono definite una «questionable practice»...

Lo studio di come il carsismo glaciale si è inserito nella percezione umana ci ha dunque mostrato alcune delle patologie della ricerca scientifica. La scienza, ben lungi dall'essere un edificio in perenne crescita, anche in questa sua minuscola diramazione ha mostrato di essere soggetta a mode, crolli e oblii immotivati, come è accaduto tante volte in altre sue più vaste parti [KUHN, 1962] [RUSSO, 1999]. La tendenza a lavorare per specializzazioni ha poi aggravato ulteriormente i processi di selezione percettiva di evidenti fenomeni naturali.

Nei libri da collezionismo su cui abbiamo lavorato, in genere, si cercano ed apprezzano le litografie ma non i «troppo datati» punti di vista di chi li ha scritti: è un errore, danno ancora molti spunti di riflessione.

Bibliografia

- AGASSIZ L., 1840 - *Etudes et Expériences sur les Glaciers Actuels*, Jent et Gassmann, Neuchatel
 AGASSIZ L., 1847 - *Nouvelles Etudes et Expériences sur les Glaciers Actuels*, Masson, Parigi
 BADINO G., 1999 - *Il Carsismo Glaciale*, Le Scienze, 372
 BENN D., EVANS D., 1998 - *Glaciers and Glaciation*, Arnold
 BOURRIT M. A., 1785 - *Nouvelle Description des Glaciers de Savoie*, Barde, Ginevra
 DE CHARPENTIER J., 1841 - *Essai sur les Glaciers*, Losanna
 CUNNINGHAM F.F., 1990 - *James David Forbes: Pioneer Scottish Glaciologist*, Scottish Academic Press, Edinburgh
 DÉSOS E., 1844 - *Excursions et Séjour dans les Glaciers et les Hautes Régions des Alpes*, Kissling, Neuchatel
 DÉSOS E., 1845 - *Nouvelle Excursions et Séjour dans les Glaciers et les Hautes Régions des Alpes*, Kissling, Neuchatel
 FORBES J., 1843 - *Travels through the Alps and Savoy*, Adam and Charles Black, Edinburgh
 FORBES J., 1851 - *Norway and Its Glaciers*, Adam and Charles Black, Edinburgh
 FORBES J., 1855 - *The Tour of Mont Blanc*, Adam and Charles Black, Edinburgh
 FORBES J., 1859 - *Occasional Papers on the Theory of Glaciers*, Adam and Charles Black, Edinburgh
 JOUTARD P., 1986 - *L'invention du Mont Blanc*, Gallimard
 KUHN T., 1962 - *The Structure of Scientific Revolutions*, Univ. Chicago
 MONTERIN U., SOMIGLIANA C., 1930 - *Sulla Costanza di posizione dei Pozzi Glaciali*, Boll. Com. Glac. It., 10, 210
 RUSSO L., 1999 - *La Rivoluzione Dimenticata*, Feltrinelli, Milano
 STOPPANI A., 1876 - *Il Bel Paese*, Agnelli, Milano
 TYNDALL J., 1877 - *Le Forme dell'Acqua*, F.lli Dumolard, Milano
 TYNDALL J., 1896 - *Glaciers of the Alps*, Longmans, London
 VALLOT J., 1898 - *Exploration des Moulins de la Mer de Glace*, Spelunca, IV, 16
 VALBUSA U., 1937 - *Il Nuovo e il Vecchio Pozzo Glaciale del Rutor*, Alpinismo 8-10