

Grotte nel ghiaccio

Come si forma una grotta nel ghiaccio

L'acqua di fusione sulla superficie dei ghiacciai si raccoglie in piccoli corsi d'acqua stagionali, che si scavano un letto incassato nel ghiaccio, le cosiddette **bediére** (da un termine francese): il ghiaccio, infatti, è impermeabile, e non consente all'acqua di infiltrarsi in profondità. La parte più superficiale di ogni ghiacciaio, però, è attraversata da numerose fratture: attraverso queste, l'acqua di superficie può infiltrarsi e scorrere all'interno del ghiacciaio.

L'acqua liquida è ovviamente più calda del ghiaccio con cui viene a contatto, e ne determina la fusione, creando un sistema di vuoti, cunicoli, pozzi, gallerie, del tutto simile ai sistemi di grotte in roccia: la differenza è che le grotte in roccia sono create da processi chimici (dissoluzione del calcare), mentre le grotte nel ghiaccio si formano per un processo fisico (fusione del ghiaccio).

Le cavità glaciali si formano in tutti i ghiacciai abbastanza "caldi" perché possa essere presente acqua allo stato liquido. La formazione delle grotte nel ghiaccio è molto rapida, e può essere osservata, per così dire, in "tempo reale": le cavità si formano e si modificano nel corso di poche settimane, o pochi giorni, e questo offre l'opportunità di comprendere forme analoghe sviluppate, in tempi molto più lunghi, in roccia. Perché si formino grotte glaciali, è necessario che il ghiaccio, di per sé impermeabile, sia attraversato da fratture, che permettano all'acqua di scendere in profondità e, fondendo il ghiaccio circostante, di allargarle fino a formare pozzi e gallerie che possono raggiungere parecchi metri di diametro.

In superficie, si osservano pozzi e inghiottitoi, chiamati mulini, poiché l'acqua vi turbinava come in un mulino ad acqua, attraverso i quali l'acqua si inoltra nelle profondità del ghiacciaio. Spinta dalla gravità, l'acqua tende a seguire un percorso il più possibile verticale, scavando grandi pozzi e profonde forre nel ghiaccio, fratturato a causa delle enormi tensioni che si sviluppano all'interno della sua massa, che fluisce lentamente sotto la spinta del suo stesso peso. Oltre una certa profondità (che è di circa 150- 200 m ed è uguale per tutti i ghiacciai, indipendentemente dal loro spessore), il ghiaccio diviene plastico e si comporta come una barriera impermeabile, che impedisce all'acqua di approfondire ulteriormente il suo percorso. Si formano così gallerie orizzontali, completamente allagate, che portano l'acqua dai pozzi fino alla fronte, dove, grazie alla presenza di profondi crepacci, può raggiungere la base del ghiacciaio, per poi uscire nuovamente a giorno attraverso le "porte" del ghiacciaio, con gallerie che possono avere diametri di parecchi metri, da cui si riversano le turbolente acque grigiastre degli scaricatori glaciali. Le "porte del ghiacciaio" assumono spesso l'aspetto di grandi "bocche", simili alla bocca di un forno, da cui vengono i toponimi di alcuni ghiacciai alpini (Ghiacciaio dei Forni, nel Gruppo dell'Ortles-Cevedale, Ghiacciaio del Forno in Val Bregaglia, Svizzera).

I luoghi migliori per osservare gli inghiottitoi glaciali sono i tratti pianeggianti, lontano dalle zone crepacciate, o lungo le morene mediane o ai lati del ghiacciaio: si trovano in tutti i ghiacciai delle Alpi, ma solo in alcuni casi raggiungono dimensioni penetrabili dall'uomo. Grandi inghiottitoi si trovano, per esempio, sul Ghiacciaio del Gorner, sulla Mer de Glace e sul Ghiacciaio dei Forni.

Evoluzione di una grotta

Un mulino si forma in un punto preciso del ghiacciaio, dove la fratturazione è favorevole, e, come tutto ciò che si trova sopra e dentro il ghiacciaio, viene poi lentamente trascinato a valle dal movimento del ghiaccio stesso: la primavera successiva, un nuovo mulino si formerà nel medesimo punto, e il vecchio mulino, privato dell'acqua catturata dal suo compagno più giovane, piano piano si chiuderà, grazie al rigonfiamento plastico del ghiaccio, fino a scomparire nel giro di pochi anni, mentre nuovi mulini continuano a formarsi più a monte. Per questo motivo, i mulini si presentano quasi sempre a gruppi, allineati lungo precise direzioni, e sempre nello stesso punto del ghiacciaio: da monte verso valle, è possibile osservare tutti gli stadi della vita di un mulino, da "embrioni" di mulini, fratture appena allargate dall'acqua, a mulini "bambini", fori cilindrici di pochi centimetri di diametro, ma spesso profondi diversi metri, fino a grandi pozzi, profondi parecchie decine di metri, larghi qualche metro, con forme complesse, per arrivare a vecchi pozzi inattivi, fossili e silenziosi, che, di anno in anno, si fanno inesorabilmente sempre più stretti, fino a scomparire senza lasciare traccia.

Abituati a pensare ai fenomeni geologici come processi per lo più lenti, anche se inesorabili, stupisce la rapidità con cui le grotte glaciali si formano, si modificano e scompaiono: tornando, anche solo dopo pochi giorni, ad osservare i

medesimi mulini, si possono facilmente notare profondi cambiamenti di forma, dimensioni, quantità d'acqua che li alimenta, tanto che, a volte, si arriva a dubitare di stare osservando proprio la stessa struttura. Per studiare questo tipo di cavità è perciò necessario contrassegnarle con paline, in modo da riconoscerle di anno in anno, e disegnarne il rilievo topografico, per monitorarne le variazioni di forma e di profondità. In questo modo è stato possibile, per esempio, studiare i mulini del Ghiacciaio dei Forni, e stabilire che i mulini hanno una vita media di almeno 6 anni, di cui i primi tre necessari per raggiungere le dimensioni massime e i successivi di progressivo declino. Su ghiacciai più grandi, come alle isole Svalbard, sono stati osservati mulini vecchi di più di 25 anni. In ogni caso, indipendentemente dallo spessore del ghiaccio, la profondità massima delle grotte glaciali non supera i 200 m (203 m, per la precisione, in Groenlandia): nessuna grotta può infatti esistere al di sotto di questa profondità, considerata il limite del comportamento fragile del ghiaccio.

Due mondi da non confondere

Grotte nel ghiaccio e ghiaccio nelle grotte!

Molte grotte carsiche, scavate in roccia, contengono ghiaccio al loro interno, in quantità che possono essere anche importanti. Non vanno quindi confuse con le grotte nel ghiaccio, interamente formate all'interno di un ghiacciaio. I meccanismi che portano alla formazione di ghiaccio in grotta sono molti e molto complessi. Ghiaccio stagionale si può formare in inverno per congelamento dell'acqua che percola attraverso le fessure, in prossimità degli ingressi, dove le temperature della grotta risentono delle rigide temperature esterne. Quantità di ghiaccio maggiori si possono formare per congelamento di piccoli specchi d'acqua, come è documentato, per esempio, da alcune grotte sulla Grigna Settentrionale, nelle Prealpi Lombarde: qui il ghiaccio risulta essere piuttosto antico, risalendo all'inizio dell'attività industriale. In alcuni casi, la vicinanza di un ghiacciaio può spingere nelle gallerie ghiaccio di ghiacciaio, come nella famosa Casteguard Cave, in Nord America. In altri casi, il ghiaccio si forma per accumulo e trasformazione di neve caduta nei pozzi d'ingresso. Lo studio del ghiaccio in grotta, affrontato in modo analogo allo studio delle carote prelevate sui ghiacciai, può dare preziosissime informazioni sulle variazioni climatiche più recenti.

Speleologia nel ghiaccio

Fin dalle prime esplorazioni sui ghiacciai alpini, alpinisti e studiosi hanno osservato lo spettacolo, insieme affascinante e pauroso, degli inghiottitoi glaciali. I mulini erano visti come bizzarre anomalie naturali, che suscitavano curiosità e timore, per la profondità a volte insondabile e per la violenza con cui le acque sembrano essere risucchiate nel ventre del ghiacciaio: per più di un secolo molti si sono interrogati sull'origine di queste strutture e sull'invisibile percorso dell'acqua all'interno del ghiacciaio (le prime esplorazioni documentate risalgono alla fine del 1800, sulla Mer de Glace, in Francia), tuttavia è solo dagli anni '80 che il progresso tecnico permette l'esplorazione diretta, in sicurezza e con relativa facilità, degli inghiottitoi glaciali.

Nasce così una nuova disciplina, la **speleologia glaciale**, che unisce il lato esplorativo e sportivo alla ricerca scientifica: grazie al lavoro dei glaciopspeleologi, si cominciano ora a capire i meccanismi che originano le grotte glaciali e l'importanza del loro studio per la comprensione del comportamento dei ghiacciai, in particolare della circolazione delle acque al loro interno. Molte esplorazioni hanno per teatro gli immensi e spettacolari **ghiacciai dell'Islanda, delle Svalbard, della Patagonia e della Groenlandia** (e proprio qui nel 1998 è stato raggiunto un lago ghiacciato alla profondità di 203 m sul fondo dello spettacolare mulino di Malik, il più profondo finora mai esplorato), ma da qualche anno anche i più modesti ghiacciai alpini stanno suscitando interesse, soprattutto per la possibilità di effettuare studi ripetuti nell'arco di diversi anni.

Ogni anno, in una breve stagione che va dalla tarda primavera alle prime neviccate autunnali, i principali mulini vengono discesi, fotografati, misurati, contrassegnati con paline, allo scopo di cogliere, nelle variazioni che vi si osservano, qualche indizio che permetta di capirne la formazione e l'evoluzione futura. Al di là della ricerca scientifica, che, ancora agli albori, rende questa disciplina particolarmente stimolante per chi vi si dedica, la discesa in un mulino è una delle cose più emozionanti che la montagna possa offrire e rappresenta sicuramente una delle ultime frontiere dell'esplorazione. A causa dell'acqua, solo i mulini e una piccola parte delle cavità alla fronte sono percorribili, mentre il

resto del sistema resta inaccessibile all'esplorazione diretta: sulla sua struttura si possono solo fare ipotesi, aiutandosi con metodi particolari, come, per esempio, l'immissione di traccianti colorati. La visita alle cavità orizzontali che si aprono alla fronte del ghiacciaio, apparentemente priva di rischi, sembrerebbe non richiedere **particolari accorgimenti e attrezzature**: si tratta spesso, infatti, di ampi ambienti dove è possibile camminare sul substrato roccioso. In realtà non è consigliabile addentrarsi in questi ambienti, in quanto si tratta di strutture che, sottoposte all'enorme spinta della massa del ghiacciaio, possono essere molto instabili.

Crolli di blocchi di ghiaccio e sassi che cadono dalla superficie sovrastante sono frequenti, specialmente nelle ore più calde, pertanto, in mancanza di indicazioni precise o di una guida del posto, è meglio ammirare queste cavità da una certa distanza. Invece, nonostante le apparenze, l'esplorazione dei pozzi glaciali è meno pericolosa, a patto, naturalmente, di possedere un'adeguata attrezzatura e un minimo di conoscenze tecniche. In questo caso, non vengono adottate le usuali tecniche di progressione su ghiaccio verticale (tipo piolet traction), ma si ricorre ad un connubio tra alpinismo e speleologia. Si sale e scende, infatti, appesi a corde di tipo speleologico, con attrezzi tipici della progressione in grotta, mentre dall'alpinismo derivano i chiodi da ghiaccio tubolari e i ramponi e le piccozze corte, che facilitano sia la progressione verticale sia gli spostamenti una volta toccato il fondo. I rischi sono legati all'acqua, che si riversa dall'esterno con notevole portata nei pozzi attivi, e ai sassi che a volte incombono sul bordo. Per questi motivi è opportuno scegliere con cura il periodo dell'anno e l'orario della giornata nei quali scendere, al fine di minimizzare i rischi e rendere più sicura possibile un'attività tanto spettacolare.

Studio delle grotte nel ghiaccio

Tutto il corpo di un ghiacciaio è in continuo movimento verso valle e trascina in questo suo movimento tutto ciò che vi si trova in superficie e all'interno. Anche i sistemi di grotte glaciali si muovono quindi verso valle insieme al ghiacciaio che le ospita. Studiando i meccanismi di formazione di queste cavità è stato possibile osservare che un nuovo inghiottitoio si forma ogni anno nello stesso punto del ghiacciaio, al di sopra di un punto fisso rispetto al substrato. E' come se in quel punto esistessero particolari condizioni, dovute, per esempio, alle caratteristiche del substrato, che determinano la formazione di un mulino nel ghiaccio che in quel momento viene a trovarvisi. Lo stesso accade per i gorgi e i mulinelli formati dalla corrente di un corso d'acqua: la forma del gorgo è sempre la stessa, così come il punto in cui si forma, ma l'acqua che lo costituisce viene continuamente sostituita. Per questo, pur variando continuamente, le grotte glaciali sono delle strutture stabili, all'interno del ghiacciaio. La distanza che separa un nuovo inghiottitoio da quello formatosi l'anno precedente è giocoforza pari alla velocità di spostamento verso valle del ghiacciaio: la misura della distanza tra mulini allineati è quindi un ottimo e veloce sistema per valutare la velocità di un ghiacciaio. Proprio l'osservazione di mulini allineati da monte verso valle ha permesso di osservare che la velocità non è uguale per tutto il ghiacciaio, ma è come se all'interno del corpo di ghiaccio esistessero zone con flusso differente, più o meno rapido: le distanze tra mulini appartenenti al medesimo allineamento permettono di valutare "a occhio", senza bisogno di complesse misure, le zone più veloci, dove i mulini saranno più distanti tra loro e le zone più lente, dove i mulini sono più ravvicinati.